

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

“MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTES CIRCULARES DE AGUAS LLUVIAS”

---

**AUTOR:** MILTON ARMANDO BUSTAMANTE MATEHU

**TUTOR:** ING. MEng. LENIN MALDONADO

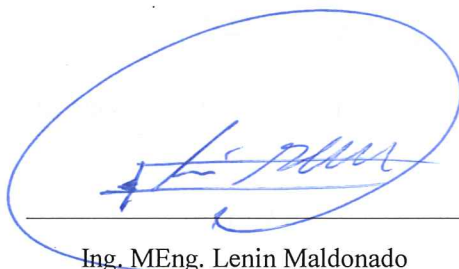
**AMBATO – ECUADOR**

2020

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema **“MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTES LONGITUDINALES DE AGUAS LLUVIAS”**, realizado por el Sr. Milton Armando Bustamante Matehu, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención del título de Ingeniería Civil, se desarrolló bajo mi tutoría, el cual se ha concluido de manera satisfactoria.

Ambato, diciembre del 2019



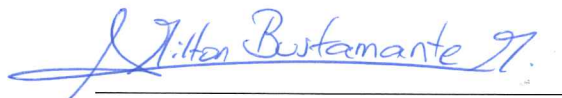
Ing. MEng. Lenin Maldonado

TUTOR DE TESIS

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El contenido del presente Trabajo Experimental bajo el tema “**MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTES CIRCULARES DE AGUAS LLUVIAS**”, son de exclusiva responsabilidad de autor.

Ambato, diciembre del 2019



Egdo. Milton Armando Bustamante Matehu

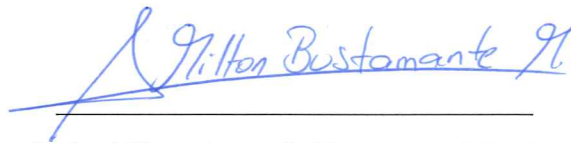
CI: 1803630415

AUTOR

## DERECHO DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.



Egdo. Milton Armando Bustamante Matehu

CI: 1803630415

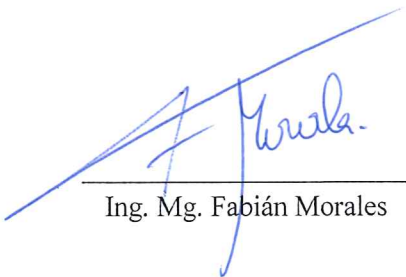
AUTOR

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

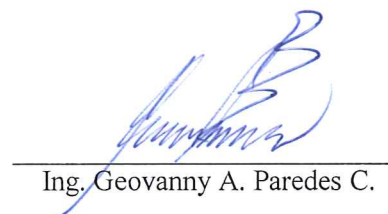
Los miembros del tribunal examinador aprueban el Informe de Investigación, bajo el tema: **“MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTOS CIRCULARES DE AGUAS LLUVIAS”**, de Milton Armando Bustamante Matehu, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, diciembre 2019

Por constancia firman:



Ing. Mg. Fabián Morales



Ing. Geovanny A. Paredes C.

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiar mi camino durante todos estos años de carrera, por hacer de mí vida universitaria unos años de grandes enseñanzas y luchas ganadas.

A mis padres por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y lucha constante, por creer en mí y darme las fuerzas de seguir durante los momentos difíciles. A ustedes por toda su entrega y dedicación, por permanecer al pendiente de mi vida y jamás dejar que me falte nada, sin ustedes nada de esto hubiese sido posible.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado y creer en mí. Confío en ustedes como en nadie y son mis mejores amigos.

A mi futura esposa Paola por ser la persona que siempre está a mi lado, ese apoyo incondicional durante mi camino y la fuerza para no rendirme ante momentos difíciles.

## **AGRADECIMIENTO**

Estas palabras están dirigidas para todas las personas que conocí y tuve el gusto de conocer durante este hermoso trayecto.

A mis amigos, personas con las que compartí mi vida superando las mismas luchas, momentos de estrés, frustración y sobre todo momentos felices.

A mi compañera de tesis Mariela, por vivir este proceso de trabajo final juntos y compartir la emoción de haber iniciado y culminado nuestros estudios universitarios por igual.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHO DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xxiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xxv
ABSTRACT SUMMARY.....	xxvi

### B. CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación.....	4
1.1.3. Fundamentación teórica.....	6
1.1.3.1. Análisis de la normativa para el diseño vial.....	6
1.1.3.2. Criterios de alineación.....	7
1.1.3.3. Análisis hidrológico.....	10
1.1.3.4. Método racional.....	11
1.1.3.5. Coeficiente de escorrentía superficial.....	15
1.1.3.6. Área de drenaje.....	16
1.1.3.7. Período de retorno.....	16
1.1.3.8. Tiempo de concentración.....	17
1.1.3.9. Caudal de diseño.....	18
1.1.3.10. Duración de lluvia.....	18
1.1.3.11. Intensidad.....	19



1.1.3.12.	Valor de la intensidad.....	19
1.1.3.13.	Curvas de intensidad.....	20
1.1.3.14.	Análisis hidráulico.....	22
1.1.3.15.	Hidráulica de canales abiertos.....	22
1.1.3.16.	Elemento geométrico.....	23
1.1.3.17.	Tipo de flujo.....	23
1.1.3.18.	Flujo permanente.....	23
1.1.3.19.	Flujo no permanente.....	23
1.1.3.20.	Flujo variado.....	24
1.1.3.21.	Estado de flujo.....	24
1.1.3.22.	Número de Reynold.....	24
1.1.3.23.	Efecto de viscosidad.....	25
1.1.3.24.	Flujo laminar.....	26
1.1.3.25.	Flujo turbulento.....	26
1.1.3.26.	Número de Froude.....	26
1.1.3.27.	Régimen de flujo.....	27
1.1.3.28.	Ecuación de Chezy.....	28
1.1.3.29.	Ecuación de Manning.....	29
1.1.3.30.	Análisis dimensional.....	29
1.1.3.31.	Modelo.....	31
1.1.3.32.	Principios de similitud de un modelo físico.....	32
1.1.3.33.	Semejanza.....	33
1.1.3.34.	Similitud geométrica.....	33
1.1.3.35.	Similitud cinemática.....	35
1.1.3.36.	Similitud dinámica.....	36
1.1.3.37.	Aplicación de las leyes de semejanza al diseño de modelos físicos.....	40
1.1.3.38.	Efecto de escala.....	40
1.1.3.39.	Calibración.....	41
1.1.3.40.	Análisis teórico de similitud.....	42
1.1.3.41.	Número de Reynold.....	42
1.1.3.42.	Número de Froude.....	42
1.1.3.43.	Número de Euler.....	43

1.1.3.44. Número de Mach.....	43
1.1.3.45. Número de Weber.....	43
1.1.4. Hipótesis.....	44
1.1.4.2. Hipótesis alternativa.....	45
1.2. Objetivos.....	45
1.2.1. Objetivo general.....	45
1.2.2. Objetivos específicos.....	45
CAPÍTULO II.....	46
METODOLOGÍA.....	46
2.1. Materiales y equipos.....	46
2.1.1. Zonas de ingreso tanque disipador de energía.....	46
2.1.2. Modelo físico.....	47
2.1.3. Canal hidráulico.....	48
2.1.4. Detector de velocidad de líquidos por sensor térmico.....	51
2.1.5. Estructura de captación.....	52
2.1.6. Limnómetro.....	53
2.1.7. Escala del modelo hidráulico.....	54
2.1.8. Transmisor de caudal DMM-4000/LFE.....	54
2.1.9. Estructura metálica.....	55
2.2. Métodos.....	57
2.2.1. Nivel o tipo de investigación.....	57
2.2.2. Población y muestra.....	59
2.2.3. Plan de recolección de datos.....	67
2.2.4. Plan de procesamiento y análisis de información.....	68
CAPÍTULO III.....	69
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	69
3.1. Fase de recolección de datos.....	69
3.1.1. Curva de calibración y calibración del canal hidráulico.....	69
3.1.2. Caudal captado en relación con el Caudal de la vía de cada escenario.....	71
3.1.2.1. Sumideros con Nivel 0+00.....	71
3.1.2.2. Sumideros con elevación.....	81
3.1.3. Caudal captado en relación con el Caudal de ingreso con sumideros variables.....	91

3.1.3.1.	Sumideros con Nivel 0+00 .....	92
3.1.3.2.	Sumideros con elevación .....	96
3.2.	Análisis y procesamiento de resultados .....	102
3.2.1.	Eficiencia en relación con el Caudal de la vía de cada escenario .....	102
3.2.1.1.	Sumideros con Nivel 0+00 .....	102
3.2.1.2.	Sumideros con elevación .....	121
3.2.2.	Eficiencia en relación con el Caudal de ingreso .....	139
3.2.2.1.	Sumideros con Nivel 0+00 .....	139
3.2.2.2.	Sumideros con elevación .....	144
3.4.	Coefficientes de ajuste alfa, beta y R <sup>2</sup> .....	149
3.4.1.	Escenario en nivel 0+00 .....	150
3.4.2.	Escenario con elevación .....	152
3.5.	Respuesta a la Hipótesis. ....	154
3.5.1.	Escenario de comparación con un sumidero. ....	156
3.5.2.	Escenario de comparación con dos sumideros. ....	159
3.5.3.	Escenario de comparación con cuatro sumideros. ....	162
CAPÍTULO IV .....		166
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		166
4.1.	CONCLUSIONES .....	166
4.2.	RECOMENDACIONES .....	168
<b>C. MATERIAL BIBLIOGRÁFICO</b>		
	Referencias bibliográficas .....	169
	Anexos Fotográficos .....	171
	Anexos Digitales .....	182
	Anexo Autocad .....	183

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Ancho de la Vía.....	8
<b>Tabla 2.-</b> Tipo de pendiente transversal.....	9
<b>Tabla 3.-</b> Tipo de pendiente longitudinal.....	10
<b>Tabla 4.-</b> Coeficiente de escurrimiento "C" de acuerdo con la topografía U.S.S.S.C.S.....	12
<b>Tabla 5.-</b> Factor de escurrimiento para el método racional, drenaje en cuenca según topografía, suelos, cobertura.....	13
<b>Tabla 6.-</b> Factor de escurrimiento, drenaje urbano según zona .....	13
<b>Tabla 7.-</b> Rugosidad de vidrio de laboratorio (acrílico) .....	15
<b>Tabla 8.-</b> Período de retorno para diferentes obras.....	17
<b>Tabla 9.-</b> Datos de Intensidad Máxima.....	20
<b>Tabla 10.-</b> Ecuación de Intensidad Duración Frecuencia, estación de Ambato .....	20
<b>Tabla 11.-</b> Período de Retorno M0066 .....	21
<b>Tabla 12.-</b> Canal Hidráulico .....	49
<b>Tabla 13.-</b> Generador de Ondas .....	50
<b>Tabla 14.-</b> Detector de Velocidad de Líquidos por sensor Térmico.....	52
<b>Tabla 15.-</b> Nomenclatura. ....	58
<b>Tabla 16.-</b> Todas las combinaciones de calzadas .....	59
<b>Tabla 17.-</b> Combinaciones empleadas en la investigación – Nivel 0+00.....	60
<b>Tabla 18.-</b> Combinaciones empleadas en la investigación – Elevación .....	61
<b>Tabla 19.-</b> Escenarios propuestos según el número de sumideros.....	62
<b>Tabla 20.-</b> Total de combinaciones para el proyecto.....	63
<b>Tabla 21.-</b> Parámetros $\alpha$ , $\beta$ y $R^2$ .....	66
<b>Tabla 22.-</b> Datos para curva de calibración .....	70
<b>Tabla 23.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS1 .....	103
<b>Tabla 24.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS1 .....	104
<b>Tabla 25.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS1 .....	105

<b>Tabla 26.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS1 .....	106
<b>Tabla 27.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS2 .....	108
<b>Tabla 28.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS2.....	108
<b>Tabla 29.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS2.....	109
<b>Tabla 30.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS2 .....	110
<b>Tabla 31.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS3 .....	112
<b>Tabla 32.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS3.....	113
<b>Tabla 33.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS3.....	114
<b>Tabla 34.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS3 .....	115
<b>Tabla 35.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS4 .....	117
<b>Tabla 36.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS4.....	118
<b>Tabla 37.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS4.....	119
<b>Tabla 38.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS4 .....	120
<b>Tabla 39.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES1 .....	121
<b>Tabla 40.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES1 .....	122

<b>Tabla 41.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES1 .....	123
<b>Tabla 42.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES1 .....	124
<b>Tabla 43.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES2.....	126
<b>Tabla 44.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES2 .....	127
<b>Tabla 45.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES2 .....	128
<b>Tabla 46.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES2.....	129
<b>Tabla 47.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES3.....	130
<b>Tabla 48.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES3 .....	131
<b>Tabla 49.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES3 .....	132
<b>Tabla 50.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES3 .....	133
<b>Tabla 51.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES4.....	135
<b>Tabla 52.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES4 .....	136
<b>Tabla 53.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES4 .....	137
<b>Tabla 54.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES4.....	138
<b>Tabla 55.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - NS1 .....	150

<b>Tabla 56.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - NS2 .....	150
<b>Tabla 57.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - NS3 .....	151
<b>Tabla 58.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - NS4 .....	151
<b>Tabla 59.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - ES1 .....	152
<b>Tabla 60.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - ES2 .....	152
<b>Tabla 61.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - ES3 .....	153
<b>Tabla 62.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste $\alpha$ , $\beta$ y el coeficiente de determinación $R^2$ - ES4 .....	153
<b>Tabla 63.-</b> Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando un sumidero.....	156
<b>Tabla 64.-</b> Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando un sumidero.....	159
<b>Tabla 65.-</b> Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando un sumidero.....	162

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Intensidad Duración Frecuencia-Estación de Ambato .....	21
<b>Figura 2.-</b> Canal Abierto.....	22
<b>Figura 3.-</b> Tipos de escalas de modelos hidráulicos .....	32
<b>Figura 4.-</b> Similitud Geométrica.....	34
<b>Figura 5.-</b> Similitud Dinámica.....	35
<b>Figura 6.-</b> Similitud Dinámica.....	36
<b>Figura 7.-</b> Tanque disipador .....	47
<b>Figura 8.-</b> Modelo hidráulico.....	48
<b>Figura 9.-</b> Tanque hidráulico .....	51
<b>Figura 10.-</b> Limnómetro .....	53
<b>Figura 11.-</b> Medidor de caudal .....	55
<b>Figura 12.-</b> Estructura Metálica-Lateral .....	56
<b>Figura 13.-</b> Estructura del Modelo Físico.....	57
<b>Figura 14.-</b> Escenario al nivel del suelo. ....	60
<b>Figura 15.-</b> Escenario en elevación. ....	61
<b>Figura 16.-</b> Dimensiones en centímetros del sumidero T45 con barrotos circulares.....	64
<b>Figura 17.-</b> Curvas de Calibración.....	65
<b>Figura 18.-</b> Ejemplo de curva de descarga .....	66
<b>Figura 19.-</b> Curva de calibración - Ecuación Potencial y $R^2$ .....	71
<b>Figura 20.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS1 .....	72
<b>Figura 21.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS1 .....	72
<b>Figura 22.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS1 .....	73
<b>Figura 23.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS1 .....	73
<b>Figura 24.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS2.....	74



<b>Figura 25.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS2.....	75
<b>Figura 26.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS2.....	75
<b>Figura 27.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS2.....	76
<b>Figura 28.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS3.....	77
<b>Figura 29.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS3.....	77
<b>Figura 30.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS3.....	78
<b>Figura 31.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS3.....	78
<b>Figura 32.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS4.....	79
<b>Figura 33.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS4.....	80
<b>Figura 34.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS4.....	80
<b>Figura 35.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS4.....	81
<b>Figura 36.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES1 .....	82
<b>Figura 37.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES1 .....	82
<b>Figura 38.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES1 .....	83
<b>Figura 39.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES1 .....	83

<b>Figura 40.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES2 .....	84
<b>Figura 41.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES2 .....	85
<b>Figura 42.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES2 .....	85
<b>Figura 43.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES2 .....	86
<b>Figura 44.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES3 .....	87
<b>Figura 45.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES3 .....	87
<b>Figura 46.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES3 .....	88
<b>Figura 47.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES3 .....	88
<b>Figura 48.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES4 .....	89
<b>Figura 49.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES4 .....	90
<b>Figura 50.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES4 .....	90
<b>Figura 51.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES4 .....	91
<b>Figura 52.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso – Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - NTS .....	92
<b>Figura 53.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - NTS .....	93
<b>Figura 54.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - NTS .....	93

<b>Figura 55.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - NTS .....	94
<b>Figura 56.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - NTS .....	94
<b>Figura 57.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - NTS .....	95
<b>Figura 58.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - NTS .....	95
<b>Figura 59.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - NTS .....	96
<b>Figura 60.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - ETS.....	97
<b>Figura 61.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - ETS.....	97
<b>Figura 62.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - ETS.....	98
<b>Figura 63.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - ETS.....	99
<b>Figura 64.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - ETS.....	99
<b>Figura 65.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - ETS.....	100
<b>Figura 66.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - ETS.....	101
<b>Figura 67.-</b> Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - ETS.....	101
<b>Figura 68.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS1 .....	104
<b>Figura 69.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS1 .....	105

<b>Figura 70.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS1 .....	106
<b>Figura 71.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS1 .....	107
<b>Figura 72.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS2 .....	108
<b>Figura 73.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS2 .....	109
<b>Figura 74.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS2 .....	110
<b>Figura 75.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS2 .....	111
<b>Figura 76.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS3 .....	113
<b>Figura 77.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS3 .....	114
<b>Figura 78.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS3 .....	115
<b>Figura 79.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS3 .....	116
<b>Figura 80.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS4 .....	117
<b>Figura 81.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS4.....	118
<b>Figura 82.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS4 .....	119
<b>Figura 83.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS4 .....	120
<b>Figura 84.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES1 .....	122

<b>Figura 85.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES1 .....	123
<b>Figura 86.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES1 .....	124
<b>Figura 87.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES1 .....	125
<b>Figura 88.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES2.....	126
<b>Figura 89.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES2.....	127
<b>Figura 90.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES2.....	128
<b>Figura 91.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES2.....	129
<b>Figura 92.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES3.....	131
<b>Figura 93.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES3.....	132
<b>Figura 94.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES3.....	133
<b>Figura 95.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES3.....	134
<b>Figura 96.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES4.....	135
<b>Figura 97.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES4.....	136
<b>Figura 98.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES4.....	137
<b>Figura 99.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES4.....	138

<b>Figura 100.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - NTS.....	140
<b>Figura 101.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - NTS.....	140
<b>Figura 102.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - NTS.....	141
<b>Figura 103.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - NTS.....	141
<b>Figura 104.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - NTS.....	142
<b>Figura 105.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - NTS.....	142
<b>Figura 106.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - NTS.....	143
<b>Figura 107.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - NTS.....	143
<b>Figura 108.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - ETS .....	144
<b>Figura 109.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - ETS .....	145
<b>Figura 110.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - ETS .....	145
<b>Figura 111.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - ETST.....	146
<b>Figura 112.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - ETS .....	146
<b>Figura 113.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - ETS .....	147
<b>Figura 114.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - ETS .....	147

<b>Figura 115.-</b> Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - ETS .....	148
<b>Figura 116.-</b> Modelo anterior. ....	154
<b>Figura 117.-</b> Modelo modificado.....	154
<b>Figura 118.-</b> Curva de distribución normal. ....	158
<b>Figura 119.-</b> Curva de distribución normal. ....	161
<b>Figura 120.-</b> Curva de distribución normal. ....	164
<b>Figura 121.-</b> Programa para el cálculo del caudal captado y su eficiencia con sumideros T45 con barrotes circulares.....	165

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.-</b> Ensamblaje de la estructura metálica para la base de acrílico.....	172
<b>Fotografía 2.-</b> Construcción del tanque de captación.....	172
<b>Fotografía 3.-</b> Colocación del modelo hidráulico.....	173
<b>Fotografía 4.-</b> Modelo hidráulico – Vista en planta. ....	173
<b>Fotografía 5.-</b> Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% .....	174
<b>Fotografía 6.-</b> Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% .....	174
<b>Fotografía 7.-</b> Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% .....	175
<b>Fotografía 8.-</b> Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% .....	175
<b>Fotografía 9.-</b> Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% .....	176
<b>Fotografía 10.-</b> Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% .....	176
<b>Fotografía 11.-</b> Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% .....	177
<b>Fotografía 12.-</b> Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% .....	177
<b>Fotografía 13.-</b> Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% .....	178
<b>Fotografía 14.-</b> Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% .....	178
<b>Fotografía 15.-</b> Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% .....	179
<b>Fotografía 16.-</b> Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% .....	179
<b>Fotografía 17.-</b> Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% .....	180
<b>Fotografía 18.-</b> Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% .....	180
<b>Fotografía 19.-</b> Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% .....	181
<b>Fotografía 20.-</b> Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% .....	181



## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** “MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTES CIRCULARES DE AGUAS LLUVIA”

**AUTOR:** Milton Armando Bustamante Matehu.

**TUTOR:** Ing. MEng. Lenin Rafael Maldonado Narváez.

En este proyecto el objetivo principal es determinar el escenario de captación más eficiente dentro de las vías de la urbe, se utilizó una geometría diferente a la utilizada en la normativa del Ecuador respetando los parámetros que ésta impone.

Se establece la utilización de sumideros T45 con barrotes circulares acatando las normas del país, los cuales fueron modelados a escala 1:4 en fibra de carbono, ubicados sobre una plataforma de acrílico que simula una media vía, y alternando el número de estos; sobre la plataforma presentamos dos escenarios, el primero al nivel del suelo y el segundo ubicado a 1.75 centímetros sobre la calzada, medida que se encuentra a escala 1:4. La recolección de datos se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, este modelo presenta similitud dinámica, geométrica y cinemática.

Se establecen treinta y seis combinaciones de pendiente longitudinal y pendiente transversal, y ocho combinaciones de análisis en base a investigaciones previas. Teniendo como pendientes longitudinales dos y cuatro por ciento y como pendientes transversales 0.5 por ciento, 4 y 8 por ciento.

La geometría y las pendientes determinan la eficiencia hidráulica; los resultados encontrados establecen que los escenarios de elevación incrementan o decrementan la eficiencia según la combinación de la pendiente en donde se los ubique, siendo el escenario en elevación más eficiente el que presenta cuatro sumideros con pendiente longitudinal 0.5% y pendiente transversal de 4% con una eficiencia del 91%.

## ABSTRACT SUMMARY

In this project, the main objective is to determine the most efficient collection scenario within the city roads, a different geometry was used than the one used in the regulations of Ecuador respecting the parameters that it imposes.

The use of T45 sinks with circular bars is established in compliance with the country's standards, which were modeled on a 1: 4 scale in carbon fiber, located on an acrylic platform that simulates a half way, and alternating the number of these; On the platform we present two scenarios, the first one at ground level and the second one located at 1.75 centimeters above the road, as it is at a 1: 4 scale. Data collection was carried out in the laboratory of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering, this model presents dynamic, geometric and kinematic similarity.

Thirty-six combinations of longitudinal slope and transverse slope are established, and eight combinations of analysis based on previous research. Having as longitudinal slopes two and four percent and as cross slopes 0.5 percent, 4 and 8 percent.

Outstanding geometry and determine the hydraulic efficiency; the results found establish that the elevation scenarios increase or decrease the efficiency according to the combination of the slope where they are located, the most efficient elevation being the one that presents four sinks with 0.5% longitudinal slope and 4% transverse slope with an efficiency of 91%.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos.

#### 1.1.1 Antecedentes.

Dentro de la mayoría de las ciudades del mundo se tiene la necesidad de desalojar el agua de las precipitaciones atmosféricas para así evitar inundaciones de viviendas, de industrias y otras áreas de interés. [1]

El ser humano ha desarrollado diseños hidráulicos para el transporte y desalojo del agua de lluvia. Cuando la precipitación atmosférica toca la calzada recorre pendiente abajo a lo largo de la superficie, una incorrecta estructura vial acarrea problemas de inundación, disgregación del material que conforma la calzada, socavaciones. Las inundaciones en las vías por un ineficiente drenaje pueden causar costos económicos elevados, por otra parte, al mejorar la propiedad de drenaje de la vía se pueden evitar este tipo de problemas, brindando seguridad a vehículos, peatones y construcciones aledañas. [2]

Por las características topográficas que se presentan en varias regiones del Ecuador, las condiciones viales, en los últimos años han requerido mayor atención, es por esta razón fue necesario desarrollar una normativa vial que precautele la seguridad y buen desempeño del drenaje. [3]

A nivel mundial el comportamiento de la precipitación atmosférica es indeterminable a ciencia cierta, es decir, en algunos países por la zona en la que se encuentran y el cambio de temporadas puede ocasionar un aumento indeterminado de caudal en las vías. Los sistemas de captación de lluvia no son capaces de receptor el cien por ciento del líquido que circula por la vía debido al diseño y área de drenaje de rejilla, al área de captación, mantenimiento inadecuado o inexistente, y los residuos arrastrados por la misma precipitación. Por esta razón es recomendable revisar las normativas para el transporte y desalojo del líquido que circula por las vías dependiendo el país donde habitemos, ya que cada nación tiene sus propias normas.

En España, (Conesa y García 2010) se han propuesto nuevos criterios que buscan mejorar la eficiencia de las obras de drenaje pequeñas, como los sumideros. Se propone ubicar el sumidero a desnivel y en elevación. En Portugal, (Martins 2014) proponen nuevos coeficientes de descarga para la caracterización del comportamiento hidráulico de un sumidero ubicado en depresión o elevación. [3]

En Chile, (Cortez y Kaliski 2008) se concluyen que, para que los sumideros sean más eficientes se los debe colocar a lo largo de la vía en zonas de influencia y, dirigiendo el caudal de lluvia hacia el sumidero brindó mejores resultados que los sumideros ubicados en los sitios donde la normativa del país dispone. Nuevos estudios en Chile también aseveran que los sumideros colocados fuera de la calle llegan a ser más eficientes. [4]

En Venezuela, (Rincón y Muñoz 2013) han propuesto cambios importantes para los sistemas de recolección y de transporte de la precipitación atmosférica considerando los modelos matemáticos, donde además de la geometría de los sumideros, se toma en cuenta los períodos de lluvia y como éstos van variando en el transcurso del año y con el cambio de las temporadas. Estos cambios permiten predecir con mayor precisión el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje. [3]

En Argentina, (Sánchez y Martínez 2014) consideran como factor importante en la eficiencia de captación del agua de lluvia, las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, el material de arrastre que puede existir en la vía, y el caudal de ingreso, demostrando que no es posible que la eficiencia llegue al cien por ciento. En la realidad estos datos han llegado a un máximo de eficiencia del 70%. [3]

En el Ecuador, se han presenciado colapsos de los sistemas de alcantarillado debido al paso de basuras por las rejillas y sustancias que evitan el paso del agua por las tuberías; a su vez se han evidenciado también diseños excesivos, es decir, sistemas de alcantarillado que funcionan por debajo de su capacidad real, esto ocurre debido a que en el país se usa como consideración hidráulica que un sumidero es capaz de captar el cien por ciento de la precipitación atmosférica que circula por la vía, aseveración que influye directamente en los costos de construcción. [2]

La normativa usada en el Ecuador está establecida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI) y el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), entre otros.

En el Ecuador se han desarrollado varias técnicas para determinar la eficiencia de los sumideros, mediante el estudio de modelos físicos que se refiere al campo práctico y modelos escala y modelos matemáticos con la utilización del software FLOW3D, siendo este un proceso más preciso que entrega resultados más exactos.

Para este tipo de estudios se utilizarán modelos físicos en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica mediante un modelo a escala con barros circulares, variando los escenarios y con una calibración apropiada.

### **1.1.2. Justificación.**

Según datos recolectados a nivel mundial, “las inundaciones son una de las catástrofes naturales que mayor número de víctimas producen en el mundo. Se ha calculado que en el siglo XX unas 3.2 millones de personas han muerto por este motivo, lo que es más de la mitad de los fallecidos por desastres naturales en el mundo” [5]. Los criterios de riesgo por inundaciones pluviales en su mayoría han sido desarrollados y considerados para las cuencas rurales, siendo útiles únicamente para los poblados rurales. Estos criterios no aplican para la realidad de la urbe. “A diferencia de la gestión de inundaciones de origen fluvial (por desbordamiento de ríos), la gestión del drenaje pluvial urbano requiere del conocimiento exhaustivo de evolución de caudales y profundidades de flujo en las calles y avenidas de la zona urbana” así también del diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas encargados para evitar inundaciones y desastres similares [6].

El agua de las precipitaciones atmosféricas es transportada por las zanjas, cunetas y por la calzada hacia lugares de desfogue natural o hacia sistemas de drenaje pluvial en donde son captadas por los sumideros. El Centro de Investigaciones de Acueductos y Alcantarillados (CIACUA) de la Universidad de los Andes de Colombia, menciona que “los sumideros son las estructuras encargadas de recolectar la escorrentía producida en la superficie de las áreas de drenaje y conducirla al sistema de tuberías de alcantarillado dentro de unas condiciones seguras para los vehículos, las edificaciones y los peatones” [7]. Si las estructuras encargadas del desalojo de la escorrentía pluvial no son capaces de cumplir con su propósito de funcionamiento por un mal diseño, se encuentran en mal estado o presentan falta de mantenimiento en alcantarillas y cunetas u ocurren bloqueos, pueden causar inundaciones no deseadas transformando a las carreteras en zonas intransitables. Además de ello, las afectaciones se vuelven visibles en las estructuras aledañas y sobre las vías son arrastrados materiales que bloquean el paso del agua hacia los sistemas de alcantarillado [8].

El cantón de Ambato, en el presente año, es el cantón más afectado por la etapa invernal en Tungurahua según la Unidad de Monitoreo de Eventos Adversos (UMEVA) de la Coordinación Zonal de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR). Se han registrado 5 aluviones, 3.743 metros de vía afectada por el material que arrastró el agua de lluvia y dentro de la provincia se registraron 2 deslizamientos, 1 hundimiento y 1 inundación por la misma causa [9].

Es de suma importancia el rediseño de los sumideros encargados de receptor el agua superficial que circula por la calzada, este rediseño busca la mejora de la eficiencia y de la capacidad de captación del líquido, evitando inundaciones y reduciendo el agua superficial de manera inmediata.

Este trabajo tiene por objeto estudiar el comportamiento de un sumidero tipo T45 con barrotes circulares y encontrar la capacidad de descarga del agua pluvial, el estudio se realizará en los laboratorios de Hidráulica de la Universidad Técnica de Ambato, utilizando una plataforma experimental construida a escala 1:4 que simulará una media vía con diferentes pendientes tanto longitudinal como transversal según las normas viales utilizadas en el país [3]. Dicha plataforma será instalada y acoplada al canal hidrodinámico que es parte del laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, será construido en acrílico. Este material presenta el mismo coeficiente de rugosidad que el cemento asfáltico por este motivo y su manejabilidad se lo ha seleccionado para conformar el modelo.

Este proyecto aumentará la seguridad de la población, evitando futuras inundaciones y daños en las calzadas por asentamientos puesto que “después de una lluvia intensa, el agua puede elevar el nivel del manto freático e infiltrar las tuberías del drenaje hasta por un periodo de 20 días” [10].

### **1.1.3. Fundamentación teórica.**

Los sumideros son estructuras complementarias dentro de los sistemas de recolección y evacuación de las aguas pluviales, residuales y combinadas. Son los encargados de recaudar la esorrentía superficial de las zonas de drenaje, conducirla al sistema de recolección y evacuación de alcantarillado brindando condiciones seguras para peatones, vehículos y edificaciones; la utilización de un sistema de sumideros concede el control de inundaciones y problemas asociados en las zonas urbanas en propiedades públicas y privadas.

#### **1.1.3.1. Análisis de la normativa para el diseño vial.**

En el Ecuador, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) es la entidad rectora del Sistema Nacional del Transporte Multimodal, expandiendo su campo de acción, implementando y evaluando políticas, regulaciones, planes, programas y proyectos que garantizan una red de transporte seguro y competitivo, minimizando el impacto ambiental y contribuyendo al desarrollo social y económico del país [11]. El MTO establece la construcción de proyectos viales y estructuras complementarias.

La norma NEVI-12 es la encargada del desarrollo y control de la red vial, este genera un desarrollo que garantiza el derecho de los ciudadanos respecto a su seguridad, en la Norma Ecuatoriana Vial se establece la ejecución de criterios fundamentales y el diseño para presentar un soporte tecnológico necesario cumpliendo siempre con la política establecida. Cuenta con seis volúmenes que son ejecutados para la construcción vial [12].

El Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, tiene como objetivo contribuir con las necesidades locales y ayudar con el comercio nacional e internacional, lo criterios utilizados deben estar libres de defectos de fábrica.



Para el proyecto técnico que se ejecutará se utiliza la norma NTE INEN 2499 para el material, empleando un grado de fundición de 65-45-12 [13].

En cuanto la rejilla de los sumideros se seleccionó la norma NTE INEN 2496 clase C400, existirán ensayos previos antes de su ejecución [14].

### **1.1.3.2. Criterios de alineación.**

Debe cumplir con todos los parámetros de dimensionamiento vial para el cual está diseñado, estos criterios estarán basados bajo la aprobación del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador del cual toma como criterio las norma (AASHTO).

Los aspectos de mayor importancia en el estudio de sumideros son las pendientes que presentan, estas son transversales y longitudinales, cada una de ellas presenta condiciones deferentes [15].

Se presentan elementos que son generales para el diseño de vial son se manifiesta a continuación:

La velocidad de diseño es la velocidad máxima con la que el usuario llega a un determinado lugar en condiciones necesarias y sin presencia de ningún accidente. El ancho de la vía depende de la capacidad del volumen de tráfico y clase de vía que se diseñará, esta puede ser de varios tipos:

- Para autopistas: Con velocidades altas (RI-RII).

- Carreras arteriales: Circulación en ambos sentidos (I-II)
- Vías colectoras: Vías que acogen el tráfico de caminos vecinales (I-II-III-IV)
- Caminos vecinales: Caminos rurales (IV-V)

El ancho de la vía se especifica en la tabla 1 según la clase de carretera y el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) el cual indica el número promedio de vehículos que circulan por dicha calzada diariamente en el transcurso de un año.

**Tabla 1.- Ancho de la Vía**

<b>Anchos de la calzada</b>	
<b>Clase de carretera</b>	<b>Ancho de la calzada Valor recomendado- Valor absoluto</b>
R-I o R-II > 8000TPDA	7.30
I 3000 a 8000 TPDA	7.30
I 1000 a 3000 TPDA	7.30 - 6.50
III 300 a 1000 TPDA	6.70 - 6.00
IV 100 a 300 TPDA	6.00
V < de 100 TPDA	4.00

**Fuente:** Normas de Diseño Geométrico de Carreteras

**Realizado por:** Milton Bustamante

### **Pendiente transversal**

La inclinación que presenta la vía a partir de su eje hacia los bordes de la carretera se lo conoce como pendiente transversal, debe ser considerada adecuadamente evitando inundaciones, se encuentra en un rango de 1.5% a 4% [15].

Su objetivo primordial es contribuir con un adecuado escurrimiento del agua en la calzada. El Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador sugiere que se considere la clasificación de la gradiente transversal para cada tipo de carretera mostrada en la tabla 2.

**Tabla 2.-** Tipo de pendiente transversal

<b>Clasificación de pendientes transversales</b>	
<b>Clase de carretera</b>	<b>Gradiente transversal (%)</b>
R-I o R-II > 8000 TPDA	1.5 – 2
I 3000 a 8000 TPDA	1.5 – 2
II 1000 a 3000 TPDA	2
III 300 a 1000 TPDA	2
IV 100 a 300 TPDA	2.5 – 4
V < de 100 TPDA	4

**Fuente:** Norma de Diseño Geométrico de Carreteras

**Realizado por:** Milton Bustamante

### **Pendiente longitudinal**

La sección de la pendiente longitudinal depende del lugar en que se vaya a diseñar la vía y el tipo de vehículo que va a circular por aquella zona, es decir que cuando se ocupe una pendiente elevada de 12% es recomendable que la vía solo sea de bajada.

La pendiente transversal mínima que debe tener una vía es de 0.5%, no puede ser menor, porque podría ocasionar inundaciones por falta de inclinación, porque la pendiente tiene íntima relación con el drenaje de la vía [15].

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas señala que la pendiente máxima debe encontrarse dentro de un terreno plano (L), terreno ondulado (O) o terreno montañoso (M). En la tabla 3 se muestran los valores de diseño de pendientes longitudinales máximas para el diseño de la vía.

**Tabla 3.-** Tipo de pendiente longitudinal

<b>Valores de diseño de pendientes longitudinales máximas</b>						
<b>Clase de carretera</b>	<b>Valor recomendado %</b>			<b>Valor absoluto %</b>		
	<b>L</b>	<b>O</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>O</b>	<b>M</b>
R-I o R-II > 8000 TPDA	2	3	4	3	4	6
I 3000 a 8000 TPDA	3	4	6	3	5	7
II 1000 a 3000 TPDA	3	4	7	4	6	8
III 300 a 1000 TPDA	4	6	7	6	7	9
IV 100 a 300 TPDA	5	6	8	6	8	12
V < de 100 TPDA	5	6	8	6	8	14

**Fuente:** Norma de Diseño Geométrico de Carreteras

**Realizado por:** Milton Bustamante

### 1.1.3.3. Análisis hidrológico.

Para toda nueva infraestructura o proceso de construcción es necesario realizar un análisis o estudio hidrológico ya que si estos procesos mencionados se encuentran ubicados en la proximidad de una masa de agua de propiedad pública se podrían ver afectados. En consecuencia, es necesario realizar el análisis hidrológico, este hace referencia a un documento que expresa cuales son las consecuencias hidráulicas que una obra puede llegar a afectar sobre la cuenca hidrológica que lo corresponde [15].

#### 1.1.3.4. Método racional.

El método racional se define como el máximo caudal de la precipitación, que abarca los embebecimientos en un único coeficiente, el coeficiente de escorrentía “C” estimado sobre las características básicas de la cuenca, comúnmente utilizado en cuencas que superan los 10 Km<sup>2</sup> [16]. En las tablas 4-5-6 se encuentran especificados los valores del coeficiente de escorrentía según el tipo de cobertura vegetal, la topografía del terreno, la pendiente, el tipo de suelo y el tipo de área drenada, respectivamente.

El caudal máximo de diseño, a partir de estos conceptos, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q = 0,278 C * i * A$$

Donde:

Q = Caudal máximo de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

C = Coeficiente de escorrentía

i = Intensidad de precipitación ( $\frac{mm}{h}$ )

A = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

**Tabla 4.-** Coeficiente de escurrimiento "C" de acuerdo con la topografía U.S.S.S.C.S

<b>Topografía</b>	<b>Descripción de suelos o tipo de SCS</b>	<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Coeficiente de escurrimiento C</b>
Llana	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo	0.50
		Bosque	0.40
	Arcilla - arenoso firme (C y B)	Cultivo	0.40
		Bosque	0.30
	Arcilla - arenoso abierto (A)	Cultivo	0.20
		Bosque	0.10
Ondulada	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo	0.60
		Bosque	0.50
	Arcilla - arenoso firme (C y B)	Cultivo	0.50
		Bosque	0.40
	Arcilla - arenoso abierto (A)	Cultivo	0.30
		Bosque	0.20
Accidentada	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo	0.70
		Bosque	0.60
	Arcilla - arenoso firme (C y B)	Cultivo	0.60
		Bosque	0.50
	Arcilla - arenoso abierto (A)	Cultivo	0.20
		Bosque	0.30

**Fuente:** G. Pérez, J. Rodríguez, Apuntes de Hidrología Superficial, 2009

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 5.-** Factor de escurrimiento para el método racional, drenaje en cuenca según topografía, suelos, cobertura

<b>Factores de clasificación</b>		<b>Valores de C' (*)</b>
Topografía	Terreno plano, con pendiente de 0.15%	0.30
	Terreno ondulado, con pendiente de 0.35%	0.20
	Terreno accidentado, con pendiente de 4.00%	0.10
Suelos	Arcilloso - Firme	0.10
	Arcilloso - Arenoso	0.20
	Arcilloso - arenoso suelto	0.40
Cobertura	Terrenos cultivados	0.10
	Bosques	0.20

**Fuente:** G. Pérez, J. Rodríguez, Apuntes de Hidrología Superficial, 2009

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 6.-** Factor de escurrimiento, drenaje urbano según zona

<b>Tipo de área drenada</b>	<b>Coficiente de escurrimiento</b>	
	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Zonas comerciales:		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
Zonas residenciales:		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares espaciados	0.40	0.60

Continua Tabla 6.- Factor de escurrimiento, drenaje urbano según zona

Tipo de área drenada	Coeficiente de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
Multifamiliares compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casa habitación	0.50	0.70
Zonas industriales:		
Espaciados	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
Cementerios, parques	0.10	0.25
Campos de juego	0.20	0.35
Patios de ferrocarril	0.20	0.40
Zonas suburbanas	0.10	0.30
Calles:		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.70	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
Estacionamientos	0.75	0.85
Techados	0.75	0.95
Praderas:		
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02 o menores)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 o menores)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

Fuente: G. Pérez, J. Rodríguez, Apuntes de Hidrología Superficial, 2009

Realizado por: Milton Bustamante



En la tabla 7 se especifican los coeficientes de Manning, Hazen-Williams y de rugosidad absoluta según el tipo de material. El valor del coeficiente es más alto cuanto más rugosidad presenta la superficie de contacto de la corriente de agua.

**Tabla 7.-** Rugosidad de vidrio de laboratorio (acrílico)

<b>Material</b>	<b>Coficiente de Manning</b>	<b>Coef. Hazen-Williams CH</b>	<b>Coef. Rugosidad absoluta (mm)</b>
Asbesto Cemento	0.011	140	0.0015
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico PVC (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duales)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

**Fuente:** Computer Applications in Hydraulic Enginnerings, 5<sup>th</sup> Rdition, Haestttad Methods

**Realizado por:** Milton Bustamante

#### **1.1.3.5. Coeficiente de escorrentía superficial.**

El coeficiente de escorrentía no posee unidades definidas, es decir, es un valor adimensional. Es la relación entre la precipitación que no se infiltra en el terreno y la precipitación total, se entiende que la precipitación disminuye debido a los fenómenos de infiltración, evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, entre otros. Este coeficiente dependerá de varios factores como la duración de la lluvia, el tipo de zona, los materiales con los que esté construida la superficie, por lo que podremos calcular el coeficiente de escorrentía superficial teórico con la siguiente ecuación: [17].

$$Q_t = S * i$$

Donde:

S = El área de la cuenca.

i = La intensidad de la lluvia.

#### **1.1.3.6. Área de drenaje.**

Es un área de tierra que también recibe el nombre de cuenca colectora, área de captación o cuenca de drenaje, su estudio nos ayuda a comprender los sistemas de drenaje, características del relieve, suelos, etc. Dicha área de tierra está delimitada por la topografía del terreno por medio de una línea imaginaria llamada divisoria de la cuenca, incluirá todo el terreno que transporte la escorrentía superficial hacia el cauce.

Para iniciar un estudio del área de drenaje se debe determinar el punto de partida del cauce, a este punto se lo conoce como punto de análisis o punto de concentración, mayoritariamente este punto se lo sitúa donde esté construida una estructura hidráulica [18].

#### **1.1.3.7. Período de retorno.**

Es el promedio del tiempo medido en años en donde el valor pico de escorrentía pluvial de una crecida específica es igualado o superado una vez cada “T” años. Es posible determinar la probabilidad de falla en una obra si se supone los eventos anuales de las crecidas.

También se lo conoce como intervalo de recurrencia “T”, utiliza conceptos de probabilidad en los que eventos extremos de la naturaleza puedan ocurrir. En la tabla 8 se encuentran los valores, medidos en años, de diferentes obras civiles. Para prohiar un período de retorno en una obra hidráulica es necesario tener en cuenta la relación entre la vida útil de la estructura, el riesgo de falla admisible y la probabilidad de excedencia de una catástrofe natural. En hidrología el período de retorno es más utilizado que la probabilidad [16].

**Tabla 8.-** Período de retorno para diferentes obras.

<b>Tipo de obra</b>	<b>Período de retorno (años)</b>
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

**Fuente:** Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, Manual de drenaje para carreteras,2009

**Realizado por:** Milton Bustamante

### **1.1.3.8. Tiempo de concentración.**

Es el valor de tiempo requerido para que el caudal fluya desde el punto más alto de la cuenca hasta el punto más bajo o punto de análisis. Para establecer el tiempo de concentración ubicamos el punto más remoto en el área de captación, este punto es aquel donde el caudal tarda más en fluir hacia el punto de análisis, puede ser un punto cercano o lejano, la distancia, el terreno, la vegetación y la pendiente influirá en su ubicación [18].

El recorrido que atraviesa el cauce hasta la estructura hidráulica se denomina trayectoria hidráulica. En una misma cuenca pueden existir diferentes tipos de flujo, por lo tanto, el tiempo de concentración se lo determina por la siguiente ecuación:

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

Donde:

$t_1 \dots t_n$  = Tiempo de viaje de todo flujo encontrado.

#### **1.1.3.9. Caudal de diseño.**

Es el volumen de agua que llegará a las obras de drenaje, dependerá del período de retorno, de la información hidrológica a disposición, del servicio para el cual esté dispuesta la obra y la importancia de esta estructura. Es importante señalar que se deben considerar los eventos de mayor crecida para así poder tomar en cuenta la probabilidad de reincidencia.

#### **1.1.3.10. Duración de lluvia.**

La duración de lluvia es el tiempo contabilizado desde que inicia la precipitación hasta el fin de esta. Su definición se estima equivalente al tiempo de concentración, pues este se define como el valor total de tiempo en el que el escurrimiento de una precipitación recorre desde el punto más alejado del área de captación hasta la salida de esta [19].

### **1.1.3.11. Intensidad.**

La intensidad se define como la cuantía de agua de lluvia que descienden sobre un punto determinado y por una unidad de tiempo. Esta es inversamente proporcional al tiempo de duración de la precipitación. Comúnmente se mide a la intensidad en milímetros sobre una unidad de tiempo, puede ser instantánea o promedio, siendo la segunda la más utilizada que se expresa de la siguiente manera: [20].

$$i = \frac{P}{t}$$

Donde:

i = Intensidad (mm/h)

P = Precipitación (mm)

t = Duración (h)

### **1.1.3.12. Valor de la intensidad.**

El INAMHI presenta valores de intensidades máximas registradas por distintos lugares del país como se muestra a continuación en la tabla 9. [20] Y en la tabla 10 se encuentran ecuaciones de intensidad de duración de frecuencia presentadas por el INAMHI en la estación M0066 de Ambato aeropuerto.

**Tabla 9.-** Datos de Intensidad Máxima

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Serie de datos	N años	Institución
M0066	Ambato aeropuerto	770553	9866876	2515	1962-1984	23	DGAC

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 10.-** Ecuación de Intensidad Duración Frecuencia, estación de Ambato

Estación		Intervalos de tiempo	Ecuaciones	R	R <sup>2</sup>
Código	Nombre	(minutos)			
M0066	Ambato aeropuerto	5 < 30	$i = 95.7035 * T^{0.2644} * t^{-0.5192}$	0.9737	0.948
		30 < 120	$i = 226.883 * T^{0.2204} * t^{-0.7568}$		
		120 < 1440	$i = 438.0411 * T^{0.1712} * t^{-0.8664}$		
				0.9837	0.9794
				0.9983	0.9966

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

**Realizado por:** Milton Bustamante

### 1.1.3.13. Curvas de intensidad.

Las curvas que se van a mostrar a continuación en la tabla 11 son obtenidas mediante el INAMHI y son de la estación M0066 Ambato aeropuerto. Y en la figura 1 se observan las curvas de intensidad, duración y frecuencia de la misma estación.

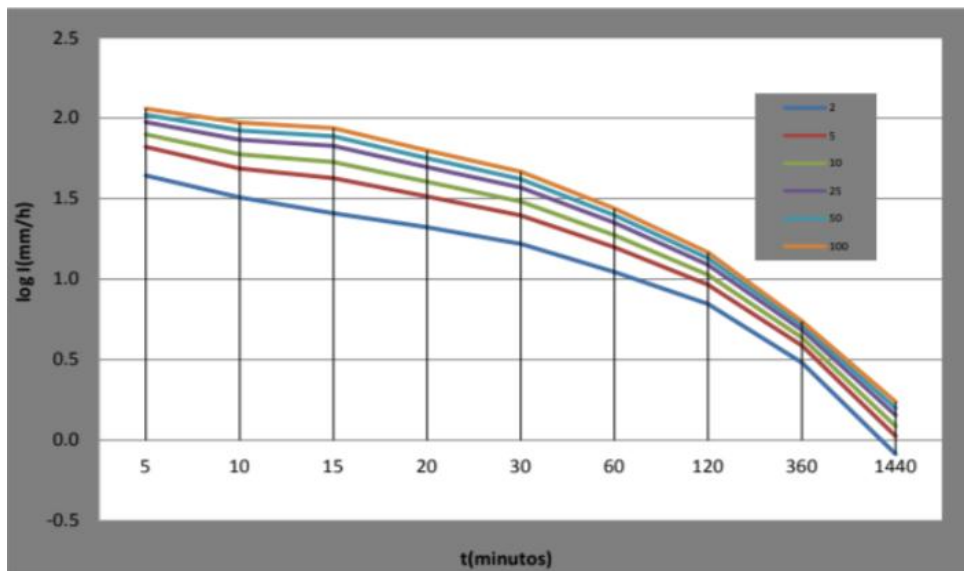
Tabla 11.- Período de Retorno M0066

Período de retorno T (años)						
T (min)	2	5	10	25	50	100
5	49.8	63.5	76.3	97.2	116.7	140.2
10	34.8	44.3	53.2	67.8	81.5	97.8
15	28.2	35.9	43.1	54.9	66	79.3
20	24.3	30.9	37.1	47.3	56.8	68.3
30	20.1	24.7	28.7	35.2	41	47.7
60	11.9	14.6	17	20.8	24.2	28.2
120	7.8	9.1	10.3	12	13.5	15.2
360	3	3.5	4	4.6	5.2	5.9
1440	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Milton Bustamante

Figura 1.- Intensidad Duración Frecuencia-Estación de Ambato



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Milton Bustamante

#### **1.1.3.14. Análisis hidráulico.**

También se lo conoce como modelación hidráulica, existen varios parámetros que determinen el funcionamiento del agua, con ayuda de ecuaciones podemos identificar el tipo de flujo que tienen, la velocidad que presenta durante su recorrido entre otros factores de importancia, que se los va a explicar a continuación.

#### **1.1.3.15. Hidráulica de canales abiertos.**

Se presentan dos tipos de flujos que son flujo en canales abiertos y en tuberías. En la investigación de la eficiencia de sumideros T45 con barrotos circulares se va a estudiar el comportamiento de canales abiertos, por presentar en su mayor parte una superficie libre tal como se observa en la figura 2.

**Figura 2.- Canal Abierto**



**Fuente:** Hidráulica de Canales Abiertos

Los canales abiertos se ven representados en ríos canales, zanjas de drenaje, cunetas acuáticas en parques de atracción. En la mayor parte del tiempo este tipo de canales presenta pocos



perfiles geométricos, como son semicirculares, rectangulares, trapezoidales y sus combinaciones [21].

#### **1.1.3.16. Elemento geométrico.**

Los elementos geométricos son valiosos para el cálculo de flujo, son propiedades de cada sección de canal y están definidos por su geometría y profundidad. Estos elementos geométricos pueden expresarse en términos de sus dimensiones si son secciones regulares y simples, para secciones más complejas, como es el caso de los canales naturales, no se puede definir por medio de ecuaciones sencillas, pero se pueden preparar curvas que expresen la relación de estas secciones de canal y la profundidad de flujo que poseen [22].

#### **1.1.3.17. Tipo de flujo.**

El flujo es un estudio que involucra las leyes de movimiento de la física y principios ambientales. La circulación de los fluidos puede dividirse de muchas maneras, dependiendo las características que cada una de ellas presenta y criterios de velocidad, tiempo y espacio.

#### **1.1.3.18. Flujo permanente.**

Se considera flujo permanente si la profundidad del flujo es constante durante un intervalo de tiempo considerado [22].

#### **1.1.3.19. Flujo no permanente**

Se considera flujo no permanente si la profundidad del flujo se altera con el tiempo [22].

#### **1.1.3.20. Flujo variado.**

Conocido también como flujo discontinuo el flujo variado es cuando el flujo no es uniforme a lo largo del canal, es decir, cuando una ración del agua sale o ingresa a lo largo del curso del flujo. Este tipo de flujos se presenta en cunetas al borde de las carreteras en toda su longitud, en canales de riego, entre otros [22].

#### **1.1.3.21. Estado de flujo.**

Se lo conoce también como comportamiento de flujo, es el encargado de gobernar los efectos de viscosidad y gravedad de los líquidos, ya que tienen mayor relevancia en los canales abiertos

#### **1.1.3.22. Número de Reynold.**

El ingeniero británico Osborne Reynolds descubrió en los años de 1880 que el régimen de flujo depende esencialmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Es decir, la transición de flujo laminar a flujo turbulento está sujeta a la rugosidad y temperatura de la superficie, el tipo de fluido y la velocidad con la que fluye el líquido, entre otros factores.

El número de Reynolds es un valor adimensional, se representa con la ecuación mostrada a continuación: [23]

$$Re = \frac{V_{prom} * D}{\nu}$$

Dónde:

$V_{prom}$  = Velocidad de flujo promedio (m/s)

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido (m<sup>2</sup>/s)

D = Longitud característica de la geometría (m)

#### **1.1.3.23. Efecto de viscosidad.**

Cuando dos cuerpos en contacto, un líquido y un sólido, se mueven existe una propiedad opuesta al movimiento generada por el cuerpo líquido, esa propiedad representa la resistencia interna de un fluido al movimiento y es la viscosidad. Basándonos en el efecto de esta propiedad en relación con la inercia los flujos se dividen en laminar, turbulento o transicional [23].

$Re < 2000$  Flujo laminar

$2000 < Re < 4000$  Flujo transicional

$Re > 4000$  Flujo Turbulento

#### **1.1.3.24. Flujo laminar.**

Flujo donde el movimiento de sus partículas de agua es suave y ordenado, estas se desplazan siguiendo trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente delimitadas, creando la impresión de ser láminas paralelas entre sí. Este tipo de flujo se presenta cuando: [23]

$$Re < 2000$$

#### **1.1.3.25. Flujo turbulento.**

Flujo en donde las partículas se mueven en trayectorias erráticas y experimenta de fluctuaciones de velocidad. Este tipo de flujo se presenta cuando: [23]

$$Re > 4000$$

#### **1.1.3.26. Número de Froude.**

El número de Froude es la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales, es decir, el efecto de la gravedad sobre el estado de flujo en los canales abiertos. Esta relación divide a los flujos en 3 grupos, subcríticos o tranquilo, crítico, y supercrítico o rápido. El valor del número de Froude es adimensional y dependerá de este para su clasificación, el número de Froude se define como: [23]

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Dónde:

V = Velocidad media del flujo.

g = Aceleración gravitacional.

L = Longitud característica.

Basándonos en esta ecuación el flujo se clasifica como:

$Fr < 1$  Flujo subcrítico o tranquilo

$Fr = 1$  Flujo crítico

$Fr > 1$  Flujo supercrítico o rápido

#### 1.1.3.27. Régimen de flujo.

El régimen de flujo en canales abiertos se puede dividir de cuatro maneras, esto sucede por el efecto de la viscosidad y de la gravedad combinadas [21]. Estos son:

1) Subcrítico – laminar

Cuando  $Fr < 1$  y  $Re < 2000$

2) Supercrítico – laminar

Cuando  $Fr > 1$  y  $Re < 2000$

3) Supercrítico – turbulento

Cuando  $Fr > 1$  y  $Re > 4000$

4) Subcrítico – turbulento

Cuando  $Fr < 1$  y  $Re > 4000$

### 1.1.3.28. Ecuación de Chezy.

Antoine de Chézy en 1775 desarrolló una fórmula hidráulica básica para establecer el caudal de agua en canales. Esta fórmula es uno de los primeros intentos por expresar algebraicamente las pérdidas de energía y es de gran aplicación en canales, gracias a Chézy y su análisis dimensional se obtiene que las fuerzas de arrastre sobre un cuerpo inmerso en un fluido están dadas por “La fórmula de Chézy” presentada en 1769 y que permite obtener la velocidad media en la sección de un canal con la siguiente expresión: [24]

Fórmula general de la resistencia al flujo:

- Para canales

$$hf = \frac{1}{C_{CH}^2} * \frac{L}{R_h} * V^2 = \frac{4}{C_{CH}^2} * \frac{L}{Di} * V^2$$

- Para tuberías

$$C_{CH} = \sqrt{\frac{2g}{C_R}}$$

### **1.1.3.29. Ecuación de Manning.**

En canales abiertos se utiliza la fórmula de Manning, es la ecuación más empleada de todas las fórmulas de flujo uniforme. Fue creada en 1889 por el irlandés Robert Manning, se encuentra en función del radio hidráulico y la rugosidad con la que está construida el caudal, se considerará ciertos criterios [24].

Se la expresa de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

DONDE:

V= Velocidad media (m/s)

R= Radio hidráulico (m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

S= Pendiente de la línea de energía (mm/mm)

### **1.1.3.30. Análisis dimensional.**

Permite disminuir el número de ensayos, creando prototipos a escala para llegar con mayor facilidad al objetivo de estudio, en el caso de la investigación se trabajará con una escala de

1:4. En este análisis se encuentran el sistema absoluto que contiene Longitud, Masa y Tiempo, también está el sistema gravitacional con Longitud, Fuerza y Tiempo.

El análisis dimensional presenta grupos adimensionales, teniendo como objetivo disminuir el número de variables y a la vez disminución de costos, con una combinación adecuada obteniendo criterios de diseño óptimos. No siempre los modelos hidráulicos tendrán menor escala que el prototipo, el tamaño que presente depende directamente con lo que se vaya a investigar, en el caso del estudio de turbinas la escala del modelo tendrá un tamaño mayor que el real, lo que no ocurre con representaciones de vías, bocatomas entre otras, ya que sus dimensiones son reducidas.

Siempre que exista semejanza entre el fenómeno real y el prototipo, se pueden aplicar el uso de escalas, por lo cual se emplean ecuaciones dimensionales que tienen unidades fundamentales y derivadas. Para mecánica de fluidos existen grupos adimensionales importantes, estas parten de la sumatoria de fuerzas, estas pueden ser máscas (gravedad) y superficiales (presión, fricción por viscosidad, tensión superficial, compresibilidad).

Las ecuaciones con las cuales se trabajará deben tener las mismas dimensiones, estas deben ser homogéneas, las dimensiones que más se usan en mecánica de fluidos son la M (masa), L (longitud), T (tiempo) y  $\theta$  (temperatura) [25].

Homogeneidad dimensional:

- Longitud  $[L] = L$
- Área  $[A] = L^2$
- Volumen  $[V] = L^3$



- Momento de inercia  $[I] = L^4$
- Velocidad  $[v] = L * T^{-1}$
- Aceleración  $[a] = L * T^{-2}$
- Densidad  $[\rho] = M * L^{-3}$
- Fuerza  $[F] = M * L * T^{-2}$
- Presión  $[p] = M * L^{-1} * T^{-2}$
- Viscosidad absoluta  $[\mu] = M * L^{-1} * T^{-1}$
- Viscosidad cinemática  $[v] = L^2 * L^{-1}$
- Tensión superficial  $[\sigma] = M * T^{-2}$

### 1.1.3.31. Modelo.

Para realizar el estudio del funcionamiento hidráulico se realizan modelos a escala que son geoméricamente semejantes, porque no siempre se pueden hacer estudios con el prototipo real, por el tamaño que presenta y los inconvenientes que esto acarrea. Los modelos hidráulicos ayudan a obtener información a partir de condiciones de flujo y magnitudes del prototipo en base de todos los experimentos del modelo realizados en laboratorio.

Son versiones reducidas, como ejemplo de modelos hidráulicos podemos hablar de aliviaderos, presas, sifones, disipadores de energía, entre otros.

Existen dos tipos modelos de estudio:

- Modelos físicos: Mediante la elaboración de maquetas, prototipos y modelos.
- Modelos matemáticos: Mediante programación y uso de ecuaciones.

En el análisis de la eficiencia de sumideros T45 con barrotes circulares, se va a trabajar con modelos físicos, entre ellos existen tres tipos, modelos geoméricamente similares (todas las

dimensiones del modelo tienen la misma escala, es decir tiene relación homóloga del prototipo), nos encontramos con el falso (presenta diferentes tipos de escala, las dimensiones en el sentido en X será diferentes al sentido Y) y finalmente encontramos los modelos disimiles (no se encuentra semejanza físico entre el prototipo y modelo) [25].

### 1.1.3.32. Principios de similitud de un modelo físico.

Para que los modelos presenten los mismos resultados que el prototipo, es importante que mantengan un sistema hidráulicamente similar, es por esta razón que exige que cumpla con las condiciones de similitud geométrica, cinemática y dinámica. En la figura 3 se pueden observar las diferentes escalas y sus fórmulas respectivas para los modelos hidráulicos.

Figura 3.- Tipos de escalas de modelos hidráulicos

Escala de masas	$m_e = \rho_e V_e = \rho_e L_e^3 = \frac{\rho_e L_e^3}{g_e}$
	$m_e = \rho_e (L_e)^3$
Escala de fuerzas	$F_e = m_e a_e = \rho_e L_e^3 (1)$ $F_e = \rho_e (L_e)^3$
Escala de presiones	$p_e = \frac{F_e}{A_e} = \frac{\rho_e L_e^3}{L_e^2}$ $p_e = \rho_e L_e$
Escala de trabajo	$W_e = F_e L_e = \rho_e L_e^3 L_e$ $W_e = \rho_e (L_e)^4$
Escala de potencia	$P_e = \frac{W_e}{T_e} = \frac{\rho_e L_e^4}{L_e^{1/2}}$ $P_e = \left[ \frac{(\rho_e)^3 (L_e)^7}{\rho_e} \right]^{1/2}$
Escala de pendientes	$S_e = \frac{L_{ve}}{L_{he}} = \frac{L_e}{L_e} = 1$
Escala de perímetro mo- jado.	$P_{me} = L_e$
Escala de radio hidráu- lico.	$R_{he} = \frac{A_e}{P_{me}} = \frac{L_e^2}{L_e} = L_e$
Escala de coeficientes de rugosidad de Manning	$n_e = \frac{R_{he}^{2/3} (S)^{1/2}}{V_e}$ $n_e = \frac{L_e^{2/3} (1)}{(g_e L_e)^{1/2}} = \frac{L_e^{1/6}}{(g_e)^{1/2}}$

Fuente: A. Rocha Felices, Modelos hidráulicos, Lima, 2003

#### **1.1.3.33. Semejanza.**

Debe existir una similitud mecánica similar adecuada entre el modelo y el prototipo, por lo cual ponemos analizar tres tipos de semejanzas que cumplen papeles relevantes en la investigación estos son geométricos, cinemáticos y dinámicos, como se van explicando a continuación:

#### **1.1.3.34. Similitud geométrica.**

Se establece una constante tanto en el modelo físico y prototipo que es la longitud ( $L$ ), mantienen similitud entre todas las variables geométricas, lo único que cambia en esta clasificación es la reducción o ampliación del objeto dependiendo de la necesidad del investigador.

Los ángulos entre los dos objetos siempre van a mantener el mismo valor. Si cumplen todas las condiciones anteriormente mencionados se consideran modelos geoméricamente similares, sin embargo, en el campo de los modelos físicos nos encontramos con modelos distorsionales, que mantiene una semejanza, pero los factores de reducción y ampliación son distintos, este modelo es utilizado cuando la escala vertical no presenta concordancia con la horizontal [25].

A continuación, se presentan varias ecuaciones empleadas en los modelos físicos:

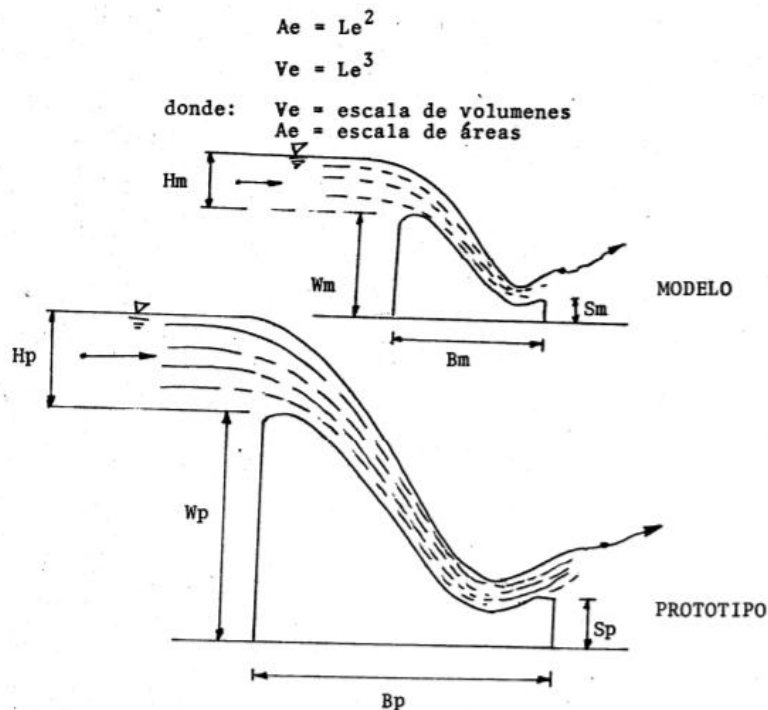
$$Nl = \frac{\text{Longitud característica del modelo}}{\text{Longitud característica del prototipo}}$$

$$(Nl)^2 = \frac{\text{Área característica del modelo}}{\text{Área característica del prototipo}}$$

$$(Nl)^3 = \frac{\text{Volumen característica del modelo}}{\text{Volumen característica del prototipo}}$$

En la figura 4 podemos observar la similitud geométrica entre las dimensiones del modelo y las del prototipo.

**Figura 4.-** Similitud Geométrica



**Fuente:** A. Rocha Felices, Modelos hidráulicos, Lima, 2003

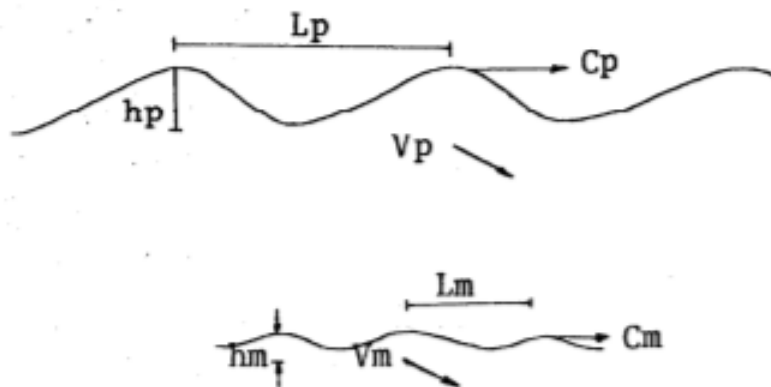
En el caso que se quiera realizar una simulación con flujo turbulento, se toma en cuenta la rugosidad en el tramo, el tamaño de las protuberancias, estas deberán encontrarse relacionadas por la escala de longitud.

### 1.1.3.35. Similitud cinemática.

Es la similitud de movimiento que presentan los dos objetos, presenta una similitud de longitud y similitud entre intervalos de tiempo. Si se presenta similitud cinemática la corriente del flujo es geoméricamente similar con tiempos correspondientes.

Las líneas de corriente que forman el modelo y prototipo deben ser similares, como se manifiesta en la figura 5. [25]

Figura 5.- Similitud Dinámica



Fuente: A. Rocha Felices, Modelos hidráulicos, Lima, 2003

Las ecuaciones que dominan este sistema son:

El factor de escala de velocidad

$$Nv = \frac{\text{Velocidad característica del modelo}}{\text{Velocidad característica del prototipo}}$$

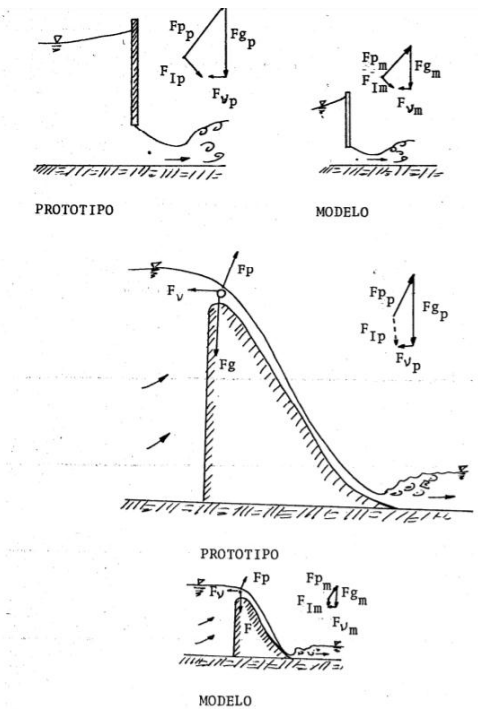
### El factor de escala de tiempo

$$N_t = \frac{\text{Tiempo característico del flujo en el modelo}}{\text{Tiempo característico del flujo en el prototipo}}$$

#### **1.1.3.36. Similitud dinámica.**

Esta similitud se cumple cuando las fuerzas ejercidas del fluido se encuentran relacionadas entre sí, por esta razón se presenta la escala de fuerzas ( $f_e$ ), para ello debe existir una similitud geométrica y cinemática, como se muestra en la figura 6. Las principales fuerzas que actúan sobre las partículas del fluido son la gravedad, la presión, la tensión superficial y la viscosidad [25].

**Figura 6.-** Similitud Dinámica



Fuente: A. Rocha Felices, Modelos hidráulicos, Lima, 2003

Las fuerzas que pueden aparecer en la interacción de un fluido pueden ser:

- Fuerza de inercia: Se encuentran definido por la variación temporal de la cantidad de movimiento.

$$Fi = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{\rho L^3 L/T}{T} = \rho L^2 (L/T^2) = \rho L^2 v^2$$

- Fuerza de viscosidad: Definida por el campo de tensión, y una determinación de la viscosidad y velocidad.

$$F\mu = \mu v L$$

- Fuerza de gravedad: Definida en el campo de la gravedad.

$$F_g = mg = \rho g L^3$$

- Fuerza de gravedad: Definida en el campo de presión.

$$F_p = \rho L^3$$

- Fuerza de presión: Definida en el campo de presiones.

$$F_p = \rho L^2$$

- Fuerza de elasticidad: Definida en el campo de presiones.

$$F_e = K L^2$$

- Fuerza de tensión superficial: Definida en el campo de presiones.

$$F_\sigma = \sigma L$$

Sin embargo, para que el modelo cumpla una completa similitud, es necesario que mantenga la siguiente expresión:



$$Nf = \frac{(Fi)_{modelo}}{(Fi)_{prototipo}} = \frac{(F\mu)_{modelo}}{(F\mu)_{prototipo}} = \frac{(Fg)_{modelo}}{(Fg)_{prototipo}} = \frac{(Fp)_{modelo}}{(Fp)_{prototipo}} = \frac{(F\sigma)_{modelo}}{(F\sigma)_{prototipo}}$$

Donde:

Fi= Fuerza de inercia

L= Longitud

T= Tiempo

P= Presión

V= Velocidad

$\mu$  = Viscosidad

F $\mu$  = Fuerza de viscosidad

Fg= Fuerza gravitacional

m=masa

g= Gravedad

Fe = Fuerza elástica

F $\sigma$ = Fuerza de tensión

K= coeficiente elástico

### **1.1.3.37. Aplicación de las leyes de semejanza al diseño de modelos físicos.**

La mecánica de fluidos utiliza principios de análisis dimensional, esto emplea condiciones adimensionales, para esto se emplean de las ecuaciones de movimiento con su respectivo comportamiento, la utilización de la teoría de similitud fue establecida por Kline.

Kline, establece “Si dos sistemas obedecen al mismo grupo de ecuaciones y condiciones gobernantes, y si los valores de todos los parámetros y las condiciones se hacen idénticas, los dos sistemas- deben exhibir comportamientos similares con tal de que exista solución única para el grupo de ecuaciones y condiciones”

Dentro de la similitud dinámica, los puntos homólogos deben ser semejantes, existen 4 similitudes que se deben considerar con mucha dedicación al momento de construir los modelos hidráulicos:

- Cuando presenta la gravedad como fuerza predominante, nos encontramos con una semejanza de Froude.  $F_{rp} = F_{rm}$ .
- Cuando la fuerza que domina el sistema es la viscosidad, estamos en presencia de la semejanza de Reynolds.  $Re_p = Re_m$ .
- La fuerza predominante es la compresibilidad, y se encuentra sumergido en un flujo supersónico, semejanza de Mach.  $Ma_p = Ma_m$ .
- Con presencia de láminas delgadas y tensión superficial, tenemos la presencia de una semejanza de Weber.  $We_p = We_m$

### **1.1.3.38. Efecto de escala.**

El efecto de escala da condiciones de semejanza mecánica, es la relación directa que existe entre el modelo y prototipo, se lo puede expresar como escala de tiempo, velocidad, aceleración, presión, trabajo, entre otros. Para la selección de la escala que se empleará es importante conocer la información teórica sobre modelos hidráulicos y la zona en la cual se va a ejecutar la obra.

#### **1.1.3.39. Calibración.**

Debe alcanzar una similitud dinámica, el Ing. Marcelo Hidalgo, del libro Introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas, menciona “En función del coeficiente del prototipo y la escala geométrica se define el coeficiente de resistencia del modelo, que debe tener y que permite seleccionar el material de construcción del modelo para que su acabado responda al coeficiente de resistencia calculado” [25].

Se presentan dos condiciones que se van a mantener constantes:

- El modelo es más rugoso que el prototipo.
  - Velocidad del modelo menor que la velocidad del prototipo.
  - Calados del modelo mayores que los calados prototipo calculado.
  
- El modelo es más liso que el prototipo.
  - Velocidad del modelo mayor que la velocidad del prototipo.
  - Calados del modelo menor que los calados prototipo calculado.

#### **1.1.3.40. Análisis teórico de similitud.**

El parámetro de similitud va más allá del aspecto que presenta ( semejanza geométrica), es conocida como el comportamiento del flujo estudiado en el modelo y el flujo real, presente o no similitud geométrica, es importante reconocer que rara vez va a existir una similitud perfecta por el hecho de cumplir con todas las condiciones requeridas [26].

Dentro del análisis de similitud dinámico nos encontramos, con parámetros de ecuaciones que definen los parámetros adimensionales, esto define las condiciones en la hidráulica.

#### **1.1.3.41. Número de Reynold.**

Es la relación de las fuerzas de inercia con las fuerzas viscosas.

$$R = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza viscosa}} = \frac{VL}{\mu}$$

#### **1.1.3.42. Número de Froude.**

Es la relación de las fuerzas de inercia con las fuerzas gravitatorias.

$$R = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza gravitatorias}} = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

#### 1.1.3.43. Número de Euler.

Es la relación de las fuerzas de inercia con las fuerzas de presión.

$$E = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza presión}} = \frac{v}{\sqrt{2\Delta p/\rho}}$$

#### 1.1.3.44. Número de Mach.

Es la relación de las fuerzas de inercia con las fuerzas elásticas.

$$M = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza elásticas}} = \frac{v}{\sqrt{E/\rho}}$$

#### 1.1.3.45. Número de Weber.

Es la relación de las fuerzas de inercia con las fuerzas de tensión superficial.

$$W = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de tensión superficial}} = \frac{v}{\sqrt{\sigma/\rho\rho}}$$

Donde:

R= Reynolds

V=Velocidad

L=Longitud

$\mu$ =Viscosidad

F=Número de Froude

g=Gravedad

E=Euler

M=Número de Mach

W= Número de Weber

P=Presión

#### **1.1.4. Hipótesis.**

##### **1.1.4.1. Hipótesis nula.**

No influye la pendiente longitudinal, transversal de la vía, caudal de escorrentía superficial y geometría de sumidero en la eficiencia de captación de agua lluvia de los sumideros T45 modificado con barrotes circulares para aguas lluvia.

#### **1.1.4.2. Hipótesis alternativa.**

Influye la pendiente longitudinal, transversal de la vía, caudal de escorrentía superficial y geometría de sumidero en la eficiencia de captación de agua lluvia de los sumideros T45 modificado con barrotes circulares para aguas lluvia.

### **1.2. Objetivos.**

#### **1.2.1. Objetivo general.**

Determinar la eficiencia hidráulica en la captación de agua lluvia en sumideros T45 modificado con barrotes circulares implantados en vías urbanas.

#### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Determinar la geometría del modelo hidráulico en base al análisis de similitud geométrica y dinámica.
- Seleccionar uno o varios modelos más eficientes que el modelo prototipo actual.
- Validar la investigación insertando recomendaciones a parámetros en la normativa de diseño de drenaje pluvial en vías urbanas.
- Crear un programa de aplicación para el diseño de sumideros con la geometría propuesta.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Materiales y equipos.**

##### **2.1.1. Zonas de ingreso tanque dissipador de energía.**

Se construyó un modelo dissipador de energía cuyo objetivo es estabilizar el agua que cae desde el canal hidráulico. La estructura está compuesta por una estructura metálica y recubierta por plástico.

Las dimensiones que este tanque presenta son 1.20\*0.60m y una altura de 0.80m, con una abertura en la parte posterior que conecta directamente a la canal hidráulica y una abertura mayor en la parte delantera que permite que el agua almacenada en el tanque circule libremente a lo largo del acrílico hasta llegar a los sumideros que pasar al tanque de captación, como se observa en la figura 7.

Para que el flujo del agua se estabilice dentro del tanque se coloca una estructura interna con una profundidad de 0.60 m, 1.00 m de ancho y un espesor de 0.12 m, el marco de la estructura es de varilla de 14mm y recubierta de malla para poder rellenar de ripio toda la estructura. La base de la estructura es de 0.60\*1.20m y una altura de 0.20. (Estructura hueca)



**Figura 7.-** Tanque disipador



**Realizado por:** Milton Bustamante

### **2.1.2. Modelo físico.**

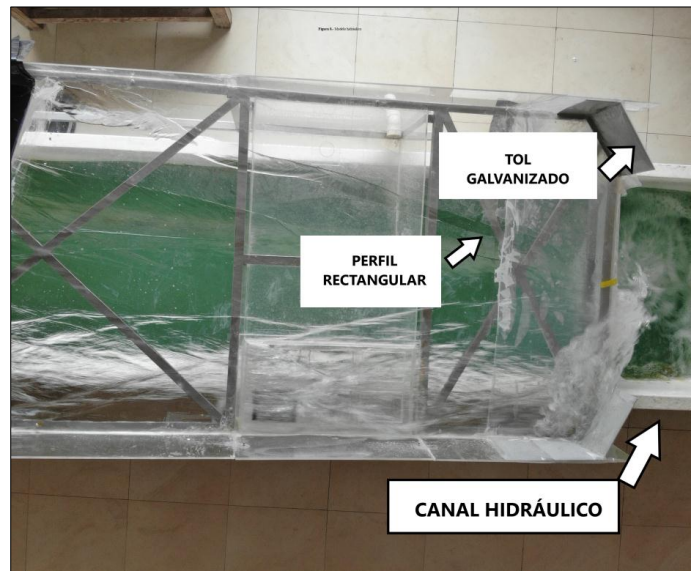
El modelo físico fue ensamblado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, cumpliendo todos los parámetros de diseño propuestos en las Normas de Diseño Vial, NEVI, INEN entre otras.

El material con el cual se construyó el modelo fue acrílico (vidrio de laboratorio), que cumple un coeficiente de rugosidad similar al del asfalto y cemento. Presenta una dimensión de 2.25\*1.00m que representa la mitad de la vía en escala 1:4, para evitar el escurrimiento del agua sobre la estructura se ha implementado paredes del mismo material con el propósito que no altere los resultados esperados.

En la parte final de la estructura para que el agua retome nuevamente en el tanque hidráulico, se han ubicado unas desviaciones, con un ángulo de  $135^\circ$ , recubiertas con plástico y selladas con silicón.

La estructura cuenta con un tanque de captación ubicado bajo el acrílico con una abertura rectangular de salida del agua para la toma de datos, además para la determinación de la eficiencia de sumideros de agua lluvia T45 con barrotes circulares de agua lluvia presenta una pequeña plataforma con adaptación de cuatro sumideros, como se observa en la figura 8, que han sido impresos por una impresora en 3D, que permitirán la determinación de la eficiencia de estos.

**Figura 8.-** Modelo hidráulico



**Realizado por:** Milton Bustamante

### **2.1.3. Canal hidráulico.**

En los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se encuentra el canal hidráulico, ubicado en la parte central, está compuesto por dos partes, en la parte principal se encuentra la bomba que permite la circulación del agua hacia el canal, mientras que en la segunda sección está el tanque que sirve de depósito del agua.

El canal hidráulico puede adquirir cualquier pendiente, dependiendo la investigación que se vaya a realizar [28]. Para el manejo de este equipo se manifiesta un manual que se muestra a continuación en la tabla 12 y 13.

**Tabla 12.- Canal Hidráulico**

<b>Canal hidráulico</b>		
Característica	Descripción	
Suministro eléctrico	220 volt, 3 Ph 60Hz	
Datos técnicos (dimensiones)	Longitud: 4m	
	Ancho: 20 cm	
	Profundidad: 30 cm	
	Diam. De medición: 7.494 cm	
	Diam. Tubería de suministro: 12.7 cm	
	Coef. De descarga: 0.963	
Característica	Descripción	
Suministro eléctrico	220 volt, 3 Ph 60Hz	
Manómetro de mercurio	$Q = 7.710 (H)^{1/2} \text{ lt/sg}$	Q: caudal
		H: altura
Manómetro de agua	$Q = 2.008 (H)^{1/2} \text{ lt/sg}$	Q: caudal
		H: altura
Inclinación del canal	Distancia de muñón al punto de apoyo	2m
	Inclinación de conexión de la rosca	6 mm
	Relación de transmisión del eje operativo / tornillo	6
	Vuelta por grado	35

**Fuente:** Centro de Investigación del Recurso Agua de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CIERAC.

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 13.-** Generador de Ondas

<b>Generador de ondas</b>		
Característica	Descripción	
Adaptación del canal	20cm	
	40cm	
	4m	
Suministro de electricidad	220 volt	
	3 Ph	
	60 Hz	
Motor Elaborado por BROOK COMPTON PARKINSON	Número de serie	658713 R
	Número de armazón	D71AD
	Potencia	0.25 Kw
	Velocidad	1650 rev/min
Motor de arranque Elaborado por BROOK CONTROL GEAR	Tipo	S12/NLI
	Sobrecarga	1.8/2.7 amps
Caja de engranaje Elaborado por ALLSPEEDS LTD	Tamaño	G1
	Radio	15.91:1
Variador Elaborado por ALLSPEEDS LTD	Número de serie	3120072883
Variador KOPP 300	Esquema general	50700 issue

**Fuente:** Centro de Investigación del Recurso Agua de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CIERAC.

**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 9 podemos observar el canal hidráulico y el tanque hidráulico ubicados en los laboratorios de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

**Figura 9.-** Tanque hidráulico



**Fuente:** Centro de Investigación del Recurso Agua de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CIERAC  
**Realizado por:** Milton Bustamante

#### **2.1.4. Detector de velocidad de líquidos por sensor térmico.**

Son medidores y detectores compactos de flujo basados en un sensor térmico omnidireccional de alta sensibilidad y baja resistencia al fluido dando una salida 4.20 mA proporcional a la velocidad.

Apropiados para medida de caudal en conductos cerrados, supervisión de bombas o/y válvulas con caudales críticos en procesos industriales [29]. En la tabla 14 podemos encontrar las especificaciones técnicas del detector de velocidad.

**Tabla 14.-** Detector de Velocidad de Líquidos por sensor Térmico

<b>Detector de velocidad de líquidos por sensor térmico</b>	
Características	Descripción
Rango de velocidad	0.01 ... 4.00 m/seg
Exactitud de velocidad	2%
Máximos defluidos	150 C
	100 Bar
Alimentación	12 ... 32 Vdc
Sonda de varilla	Ø 6 mm
Conexión por racor ajustable	1/2" GAS
Caja estanca	IP68

**Fuente:** Centro de Investigación del Recurso Agua de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CIERAC  
**Realizado por:** Milton Bustamante

### 2.1.5. Estructura de captación.

La estructura de captación está colocada bajo los sumideros, está construida de acrílico en todo el sentido transversal de esa zona, la estructura presenta una dimensión de 35cm de altura en un extremo y 30cm en el otro causando una pequeña pendiente que permitirá que el agua no se mantenga empozada.

Para que el agua concentrada en el tanque se libere y se pueda realizar los cálculos de la pendiente se realizó un corte de manera rectangular en la base del tanque justo a la mitad.

### 2.1.6. Limnómetro.

El limnómetro es un material de precisión empleado para la determinación de alturas en los caudales, el equipo será colocado de acuerdo con la investigación que se desee realizar. Presenta una exactitud muy minuciosa en los resultados con una apreciación de 1mm.

La parte inferior del limnómetro siempre se encuentra rozando el agua, se los encuentra de diversos tamaños y generalmente ante la presencia de vertederos, con ayuda de este instrumento se puede realizar curvas de descargas y determinar el caudal que transcurre por la zona al conocer su altura [30]. En la figura 10 podemos observar el limnómetro que fue utilizado en este proyecto de investigación.

**Figura 10.-** Limnómetro



**Fuente:** Centro de Investigación del Recurso Agua de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CIERAC

**Realizado por:** Milton Bustamante

### **2.1.7. Escala del modelo hidráulico.**

Con ayuda de investigaciones anteriormente realizadas, se consideró realizar un modelo hidráulico con una escala 1:4, tomando como consideración el área de trabajo del laboratorio.

Es primordial mantener una geometría similar en toda la estructura, teniendo como finalidad datos coherentes que no alteren los resultados y muestren valores que lleven a la confusión.

El objetivo más importante de la selección de escala es manifestar lo más similar posible el fenómeno hidráulico que ocurre durante la precipitación en la vía.

### **2.1.8. Transmisor de caudal DMM-4000/LFE.**

Según el manual de usuario transmisor de caudal DMM/LFE-... “menciona que junto con la sonda de inserción LFE- es un transmisor para medida de caudal de líquidos en conductos cerrados, basado en la medida de la velocidad del fluido y la sección del conducto por donde fluye” [31]. En la figura 11 podemos observar el medidor de caudal ubicado en el canal hidráulico de los laboratorios de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

El manual presenta varias condiciones como se muestra a continuación:

- Descripción del display: línea superior (caudal instantáneo) y Línea inferior (acumulado parcial).
- Presenta un teclado en donde se digitaliza los valores de caudal.
- Para el uso del equipo se necesita una instalación y montaje de la sonda de caudal.



- Se requiere una instalación de la sonda LFE- en el conducto.
- Se debe considerar las normas de instalación de la sonda LFE- en el conducto.
- Para el uso del equipo se debe considerar precauciones de conexión del DMM-4000/LFE.
- Antes de la ejecución del equipo se deben hacer una calibración del punto de trabajo.

**Figura 11.-** Medidor de caudal



**Fuente:** Centro de Investigación del Recurso Agua de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CIERAC  
**Realizado por:** Milton Bustamante

### 2.1.9. Estructura metálica.

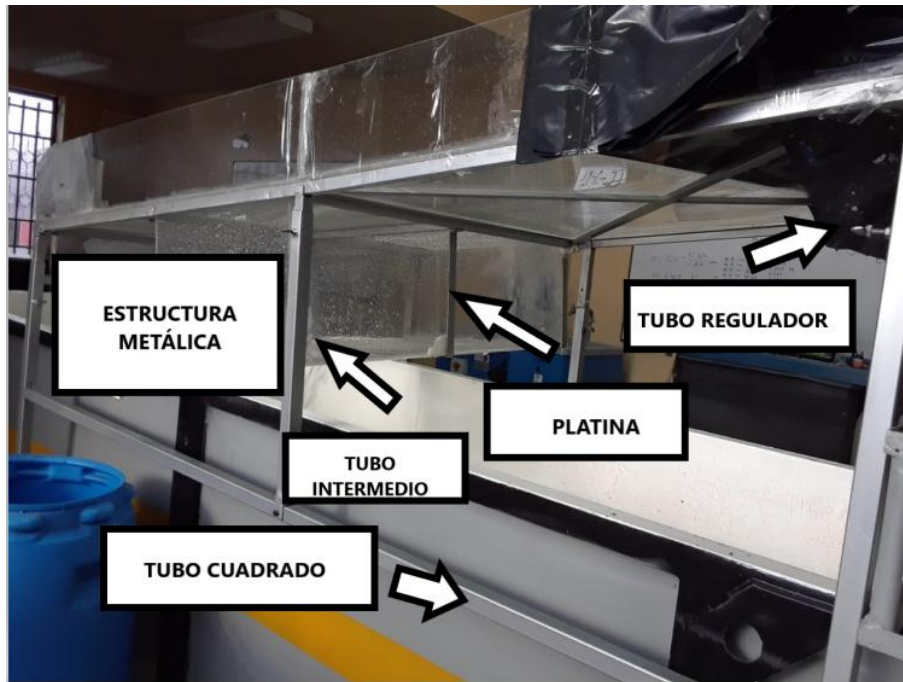
Para que las condiciones propuestas se cumplan se construirá una estructura metálica que será acoplada para la determinación de diferentes tipos de pendientes, transversal y longitudinal.

La estructura metálica está compuesta por dos partes:

- La primera parte consta de una plataforma que está recubierta al acrílico, el material con el que está hecha es de perfil metálico rectangular, la estructura tiene una dimensión de

2.25\*1.00m, en la parte central donde se ubica la caja de captación están ubicadas dos perfiles transversales, para que soporte. De igual manera para ayudar a su flexibilidad en los extremos de la plataforma se colocan dos cruces del mismo perfil metálico como se observa en la figura 12.

**Figura 12.-** Estructura Metálica-Lateral



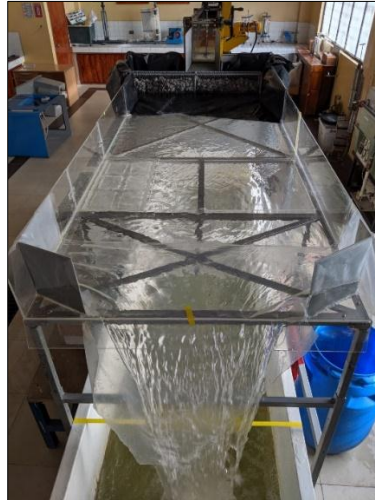
**Realizado por:** Milton Bustamante

- La segunda parte es la estructura que permite controlar los niveles de altura, está compuesta por dos tubos rectangulares de varias medidas, las patas fijas tienen una mayor dimensión y estas parten desde el suelo, mientras que las internas son menores para permitir se suban o bajen de acuerdo con la altura de estudio.

Para que la estructura funcione de una manera monolítica en la parte superior de la segunda estructura se colocará cuatro platinas en cada esquina que permiten unirse a la primera estructura mediante tornillos, para que las pendientes cumplan correctamente en las esquinas se

colocó un resorte. En la figura 13 podemos observar la estructura utilizada para soportar el modelo.

**Figura 13.-** Estructura del Modelo Físico



**Realizado por:** Milton Bustamante

## **2.2. Métodos.**

Para el presente trabajo se describirá los siguientes tipos de investigación:

### **2.2.1. Nivel o tipo de investigación.**

- **Investigación exploratoria**

Mediante las normas establecidas en el Ecuador por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas permitirá examinar modelos de sumideros T45 mediante parámetros geométricos en la construcción de modelos físicos que serán utilizados en la elaboración de sumideros en zonas urbanas.

- **Investigación correlacional**

Mediante estudios de investigaciones anteriores se detectará datos de eficiencia para los caudales de sumideros de aguas lluvias, alineamiento en relación con la vía y velocidad del flujo que presenta.

- **Investigación descriptiva**

Con apoyo de las investigaciones anteriores se procederá a la determinación de eficiencia de sumideros de aguas lluvias t45 con barrotes circulares, estos modelos cumplirán con una escala apropiada.

- **Investigación explicativa**

Analizar el comportamiento que presenta el modelo juntamente con el prototipo.

Para este proyecto se detalla la nomenclatura a utilizar y su significado en la tabla 15.

**Tabla 15.- Nomenclatura.**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Significado</b>
NS1	Nivel 0+00 - 1 sumideros
NS2	Nivel 0+00 - 2 sumideros
NS3	Nivel 0+00 - 3 sumideros
NS4	Nivel 0+00 - 4 sumideros
NTS	Nivel 0+00 - Todos los sumideros
ES1	Elevación - 1 sumideros
ES2	Elevación - 2 sumideros
ES3	Elevación - 3 sumideros
ES4	Elevación - 4 sumideros
ETS	Elevación - Todos los sumideros
S	Sumidero
Q	Caudal
i	Pendiente transversal
j	Pendiente longitudinal

**Realizado por:** Milton Bustamante

### 2.2.2. Población y muestra.

La población son seis combinaciones, que se expresan con una pendiente longitudinal y transversal explicadas en la tabla 16.

**Tabla 16.-** Todas las combinaciones de calzadas

<b>Combinaciones totales</b>		
<b>Pendiente Transversal (%)</b>	<b>Pendiente Longitudinal (%)</b>	<b>Combinaciones Propuestas (%)</b>
1.5	3	(1.5,2,2.5,4) - (3)
	4	(1.5,2,2.5,4)- (4)
2	5	(1.5,2,2.5,4) - (5)
	6	(1.5,2,2.5,4) - (6)
2.5	7	(1.5,2,2.5,4) - (7)
	8	(1.5,2,2.5,4) - (8)
4	9	(1.5,2,2.5,4) - (9)
	10	(1.5,2,2.5,4) - (10)
	12	(1.5,2,2.5,4) - (12)
Total, de combinaciones		36

**Realizado por:** Milton Bustamante

Para el presente proyecto de investigación se tomarán ocho combinaciones de los treinta y seis totales, y estas estas serán propuestas en dos escenarios.

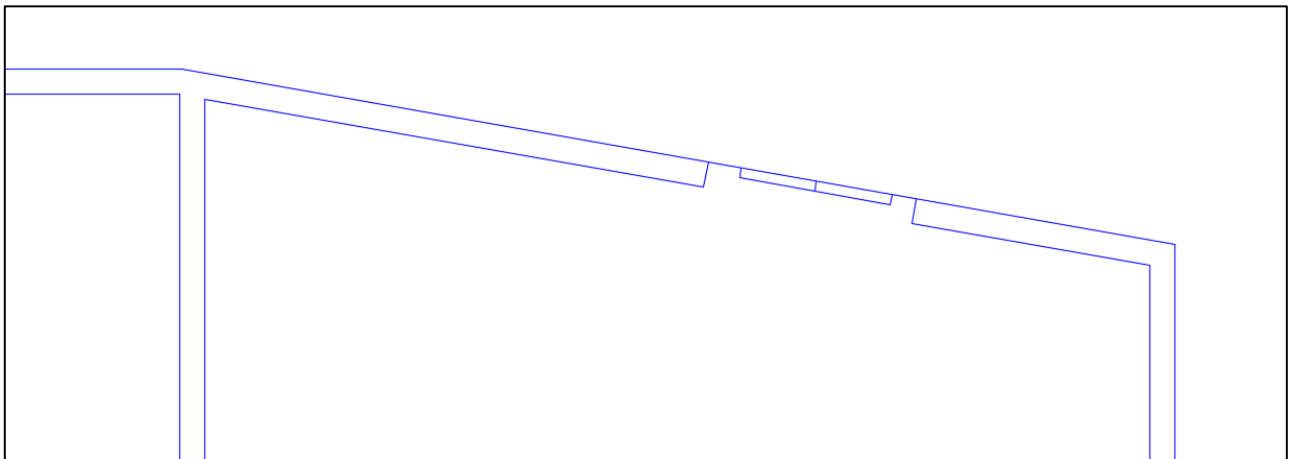
El primero se ubica al ras del suelo o en el nivel 0+00 como se observa en la figura 14 y sus combinaciones se detallan en la tabla 17.

**Tabla 17.-** Combinaciones empleadas en la investigación – Nivel 0+00

	<b>Combinaciones de investigación</b>		
	Pendiente Transversal (%)	Pendiente Longitudinal (%)	Combinaciones (%)
<b>Nivel 0+00</b>	2	0.5	2 - 0.5
		4	2 - 4
		8	2 - 8
		12	2 - 12
	4	0.5	4 - 0.5
		4	4 - 4
		8	4 - 8
		12	4 - 12
Combinaciones totales			8

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 14.-** Escenario al nivel del suelo.



**Realizado por:** Milton Bustamante

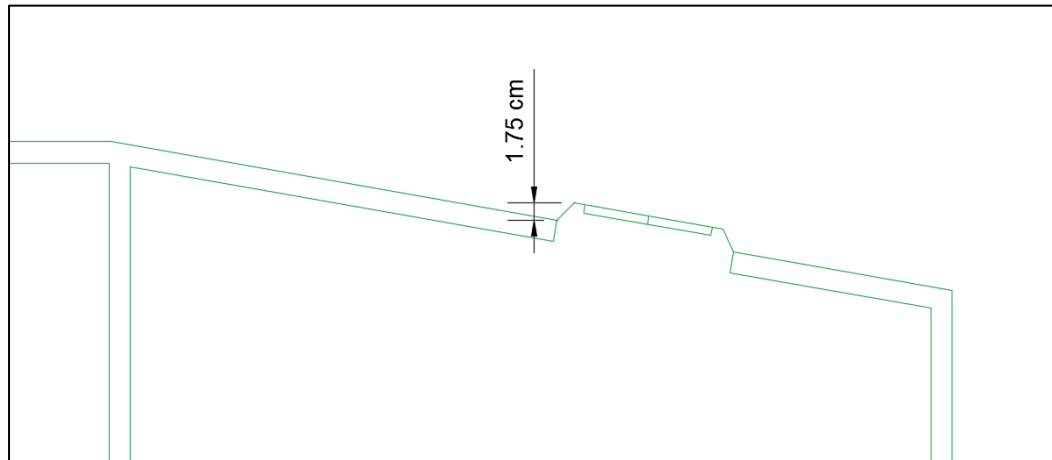
El segundo escenario es en elevación, estará separado de la vía 1.75 centímetros como se observa en la figura 15 y sus combinaciones se detallan en la tabla 18.

**Tabla 18.-** Combinaciones empleadas en la investigación – Elevación

Elevación	Combinaciones de investigación		
	Pendiente Transversal (%)	Pendiente Longitudinal (%)	Combinaciones (%)
2		0.5	2 - 0.5
		4	2 - 4
		8	2 - 8
		12	2 - 12
4		0.5	4 - 0.5
		4	4 - 4
		8	4 - 8
		12	4 - 12
Combinaciones totales			8

**Realizado por:** Milton Bustamante

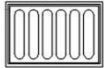
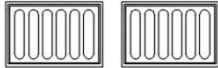
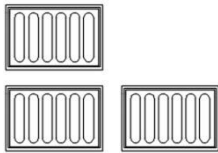
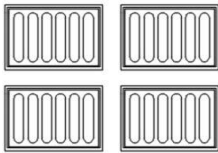
**Figura 15.-** Escenario en elevación.



**Realizado por:** Milton Bustamante

Se propone cuatro diferentes escenarios según el número de sumideros, utilizando los sumideros T45 de barrotes circulares. En la tabla 19 podemos observar los 4 escenarios propuestos para este proyecto de investigación. Así como en la tabla 20 se establece el total de combinaciones empleadas en el presente proyecto.

**Tabla 19.-** Escenarios propuestos según el número de sumideros.

<p style="text-align: center;"><b>Escenario 1 – S1</b></p>  <p style="text-align: center;">Sumidero T45 – Barrotes circulares</p>	<p style="text-align: center;"><b>Escenario 2 – S2</b></p>  <p style="text-align: center;">Sumidero T45 – Barrotes circulares</p>
<p style="text-align: center;"><b>Escenario 3 – S3</b></p>  <p style="text-align: center;">Sumidero T45 – Barrotes circulares</p>	<p style="text-align: center;"><b>Escenario 4 – S4</b></p>  <p style="text-align: center;">Sumidero T45 – Barrotes circulares</p>

**Realizado por:** Milton Bustamante



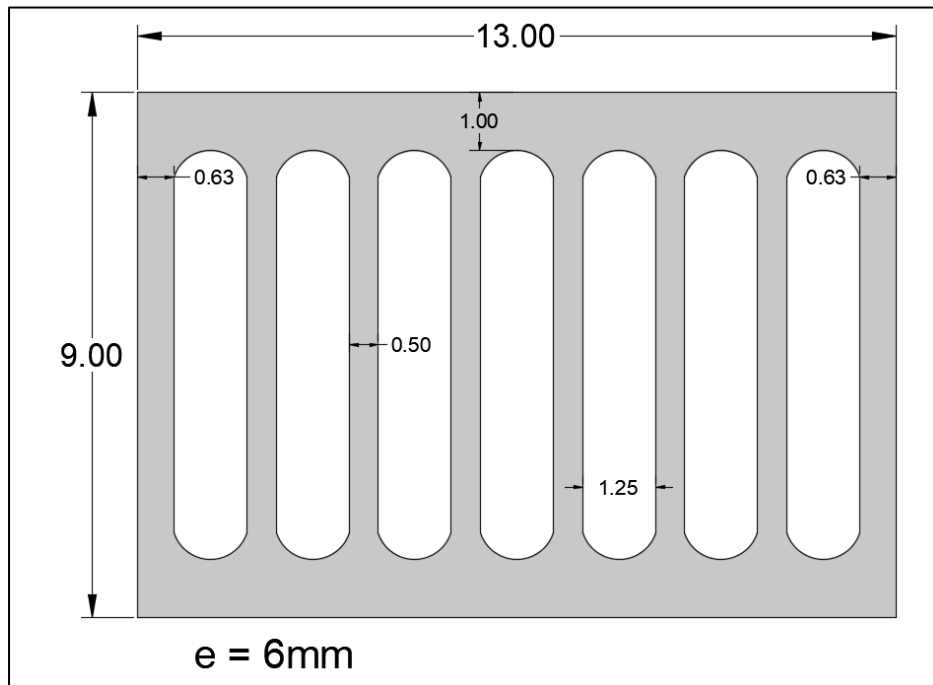
**Tabla 20.-** Total de combinaciones para el proyecto.

<b>Caudal (lt/seg)</b>	<b>N° Sumideros</b>	<b>Pendiente Longitudinal</b>	<b>Pendiente Transversal</b>
Q1	S1	0.5%	2%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	
	S1	0.5%	4%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	
Q2	S1	0.5%	2%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	
	S1	0.5%	4%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	
Q3	S1	0.5%	2%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	
	S1	0.5%	4%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	
Q4	S1	0.5%	2%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	
	S1	0.5%	4%
	S2	4%	
	S3	8%	
	S4	12%	

**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 16 se observa las dimensiones a escala en centímetros utilizadas en el sumidero T45 con barrotos circulares para el modelo utilizado en este proyecto.

**Figura 16.-** Dimensiones en centímetros del sumidero T45 con barrotos circulares.



**Realizado por:** Milton Bustamante

## Curvas de Calibración

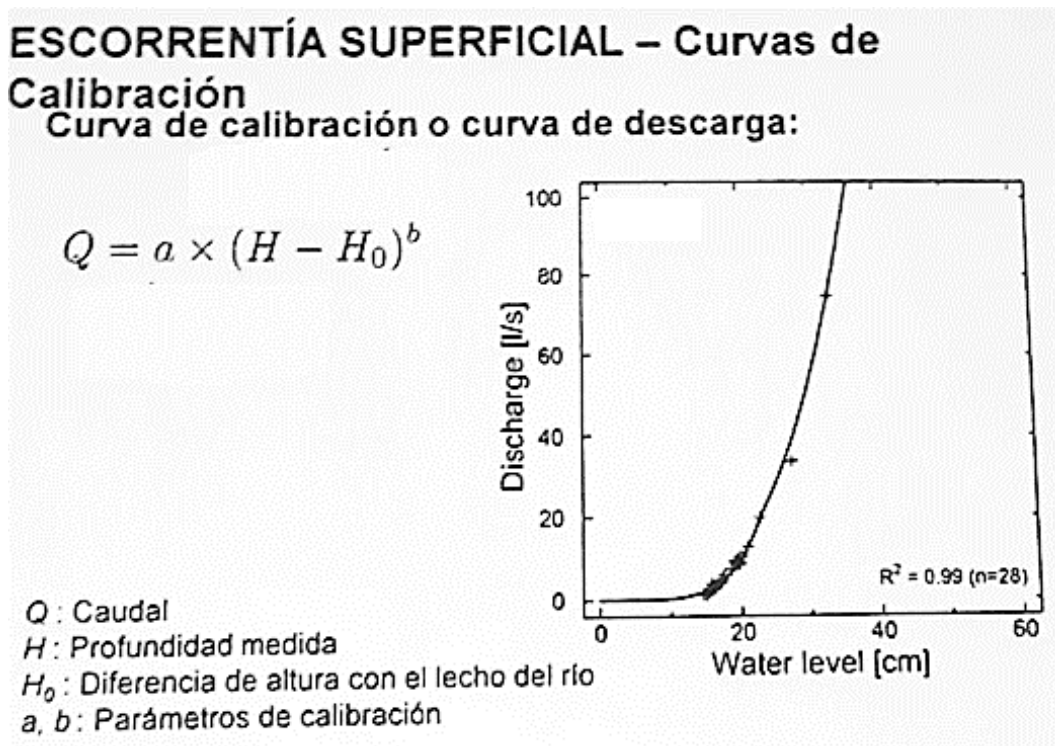
Aforar la corriente es buscar una forma de determinar el caudal que pasa en una determinada sección, existen varias formas de determinar el gasto, esto depende de las características que muestra el fluido.

El criterio que se usará para la ejecución del presente trabajo es la aforación mediante la relación sección-velocidad, este es el más usual y es utilizable en cualquier tipo de corriente. Dentro de la sección de velocidad se encuentran subdivisiones, de estas trabajaremos con la medición de elevaciones.

La elevación de la superficie del agua en una corriente es la altura de dicha superficie referida a una cota arbitraria. Existen aparatos manuales y artificiales para la determinación de altura, los manuales son lo limnómetros que son regletas graduadas que determinan la altura del agua, las lecturas los realizan personas capacitadas.

Al determinar varias alturas con su respectivo caudal se puede proceder a la ejecución de la gráfica caudal-gasto, como se observa en la figura 17. Esto es de gran utilidad para la determinación de caudales grandes, ya que al tener una serie de puntos se puede extrapolar con la gráfica generando una ecuación con tendencia potencial [27].

Figura 17.- Curvas de Calibración



Fuente: Springall, Hidrología primera parte – Facultad de Ingeniería - UNAM

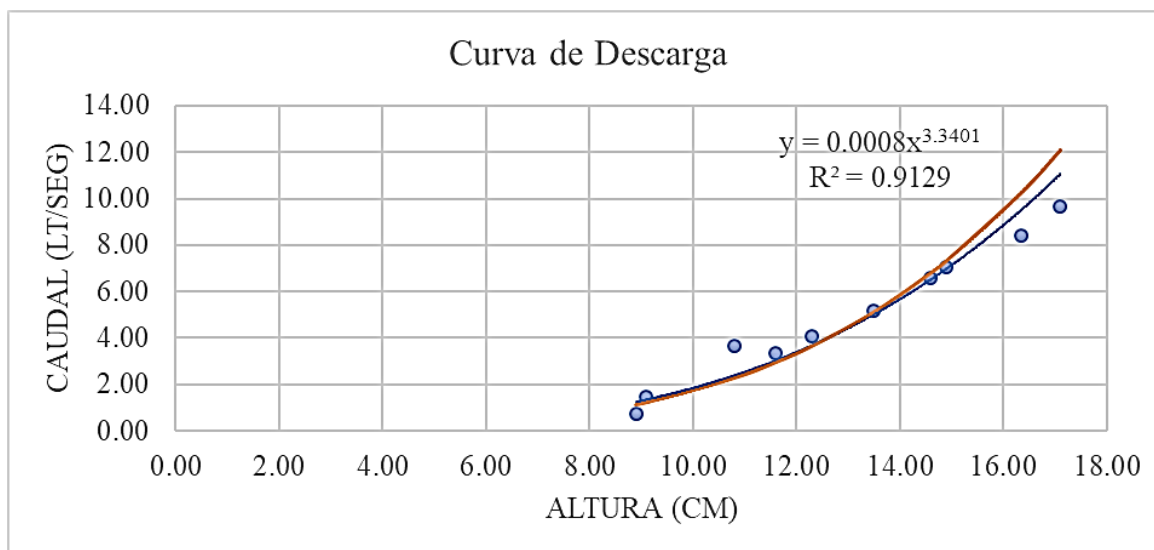
En la tabla 21 se muestra los valores de ajuste de los parámetros alfa, beta y R<sup>2</sup> obtenidos de ecuaciones como la que se puede observar en la figura 18, esta ecuación potencial nos permite extrapolar datos y usarlos a escala real. Estos datos serán válidos mientras el valor de R<sup>2</sup> sea mayor a 0.70 y mientras más cercano al uno sus resultados serán de mayor confiabilidad.

**Tabla 21.-** Parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $R^2$

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$
	$R^2$	$R^2$	$R^2$	$R^2$
i = 4%	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$
	$R^2$	$R^2$	$R^2$	$R^2$

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 18.-** Ejemplo de curva de descarga



**Realizado por:** Milton Bustamante

### **2.2.3. Plan de recolección de datos.**

Para la ejecución del presente trabajo experimental para sumideros T45 con barrotos circulares se consideró lo siguiente:

- Recolección de la información mediante diversos artículos, información de libros y en base a los anteriores modelos ya presentados en investigaciones previas.
- Análisis de normativa en base al escurrimiento vial, NEVI, INEN, MTOP.
- Selección del tipo de modelo hidráulico que se va a emplear, materiales, dimensiones, estructura, determinación de escala de acuerdo los equipos de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- Investigación y desarrollo sobre el desempeño del análisis dimensional, en el ámbito geométrico, dinámico y cinemático.
- Construcción del modelo hidráulico con su respectiva estructura de salida, de captación y de recirculación del agua a través del canal hidráulico.
- Fabricación de los dos escenarios que van a ser ocupados para la toma de datos, nivel 0+00 y elevación a 1.75 centímetros.

### **Calibración del modelo hidráulico**

- Se realiza múltiples muestras de caudal total que circula por la vía. Las muestras de caudales bajos (menores a 1 lt/seg) son tomadas mediante el método volumétrico, se determina el volumen y el tiempo exacto de cada una de ellas.
- Para caudales altos (mayores a 1 lt/seg) las muestras serán obtenidas de las lecturas del medidor de caudal (transmisor de caudal DMM – 4000/LFE) que se encuentra instalado en el canal hidráulico.

- Con los datos obtenidos se genera la gráfica altura versus caudal y se establece la ecuación de la curva potencial donde ingresamos la altura y obtenemos un caudal ya calibrado.

### **Calibración para el uso de sumideros**

- Se toma muestras en diferentes escenarios, empezando con un solo sumidero y aumentando el número de forma secuencial hasta llegar a un total de cuatro sumideros.
- Con un balde se recepta el líquido que llega al tanque de captación y sale por un agujero localizado en la parte inferior, simultáneamente se cronometra el tiempo.
- Este proceso de toma de datos se repite para los escenarios de elevación y nivel 0+00 y cada uno de ellos con las 8 combinaciones de pendientes.
- Se promedian los datos para obtener un solo caudal para cada escenario.
- Ejecución del modelo hidráulico en base al plan de pruebas establecidas en el proyecto.

#### **2.2.4. Plan de procesamiento y análisis de información.**

- Procesamiento de información de cada uno de los escenarios, mediante la determinación de la eficiencia de captación por los sumideros propuestos.
- Comparación entre el funcionamiento en los dos tipos de elevaciones con los cuatro casos de análisis, con un sumidero, con dos, con tres y con cuatro sumideros.
- Determinación de ecuaciones y funcionamiento de modelo hidráulico, en el caudal de ingreso y de captación, mediante la obtención de su eficiencia.
- Elaboración de un programa en base a los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS Y RESULTADOS**

#### **3.1. Fase de recolección de datos.**

##### **3.1.1. Curva de calibración y calibración del canal hidráulico.**

Los datos utilizados como caudal de ingreso en el presente trabajo de investigación son obtenidos por medio del método de extrapolación, utilizando la ecuación potencial mostrada en la figura 19 proveniente de la curva de calibración altura en relación con el caudal, en dicha ecuación se ingresa la altura en centímetros que es obtenida con el limnómetro; el resultado puede ser confiable ya que el valor de  $R^2$  es cercano al uno.

En la tabla 22 que se presenta a continuación se detalla los datos que son utilizados para generar la curva de calibración que se observa en la figura 19:

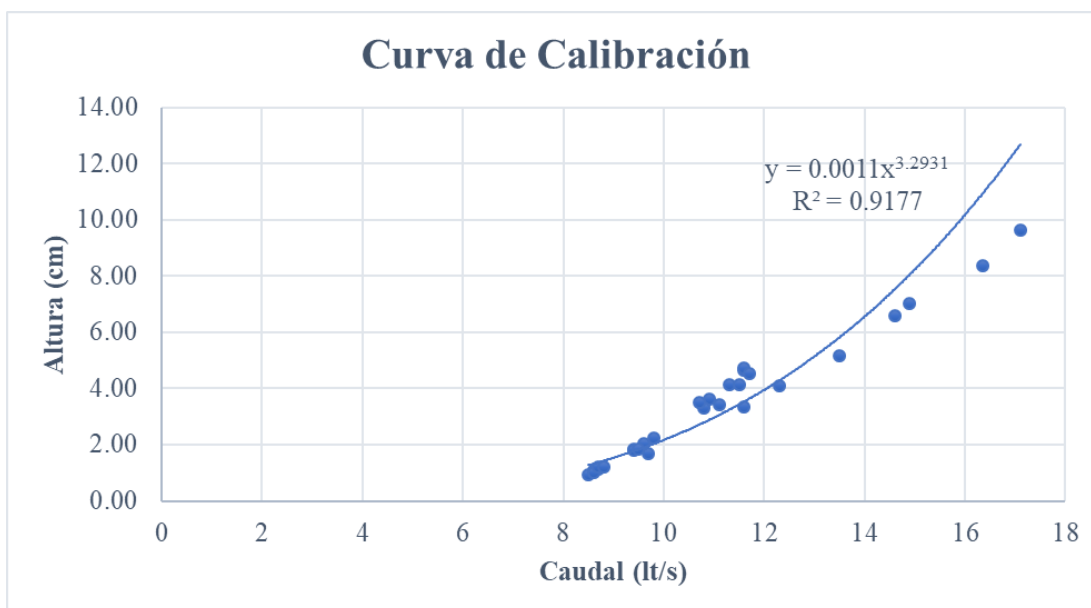
**Tabla 22.-** Datos para curva de calibración

	<b>Altura (mm)</b>	<b>Alturas (cm)</b>	<b>Caudales</b>	<b>Q Ec. Potencial</b>
<b>Caudal obtenido Medidor de caudal</b>	171	17.1	9.65	12.64
	163.5	16.35	8.39	10.91
	149	14.9	7.03	8.03
	146	14.6	6.61	7.51
	135	13.5	5.15	5.80
	123	12.3	4.09	4.27
	116	11.6	3.36	3.52
<b>Caudal obtenido - Medición volumétrica</b>	97	9.7	1.70	1.954
	85	8.5	0.93	1.265
	87	8.7	1.12	1.366
	94	9.4	1.82	1.762
	111	11.1	3.44	3.046
	116	11.6	4.67	3.522
	86	8.6	1.10	1.315
	98	9.8	2.25	2.021
	108	10.8	3.41	2.783
	113	11.3	4.13	3.231
	86	8.6	1.00	1.315
	96	9.6	2.04	1.888
	109	10.9	3.60	2.869
	115	11.5	4.15	3.423
	87	8.7	1.20	1.366
	94	9.4	1.80	1.762
	108	10.8	3.29	2.783
	116	11.6	4.71	3.522
	88	8.8	1.20	1.418
	95	9.5	1.86	1.824
107	10.7	3.48	2.699	
117	11.7	4.55	3.623	

**Realizado por:** Milton Bustamante



**Figura 19.-** Curva de calibración - Ecuación Potencial y R<sup>2</sup>



**Realizado por:** Milton Bustamante

### **3.1.2. Caudal captado en relación con el Caudal de la vía de cada escenario.**

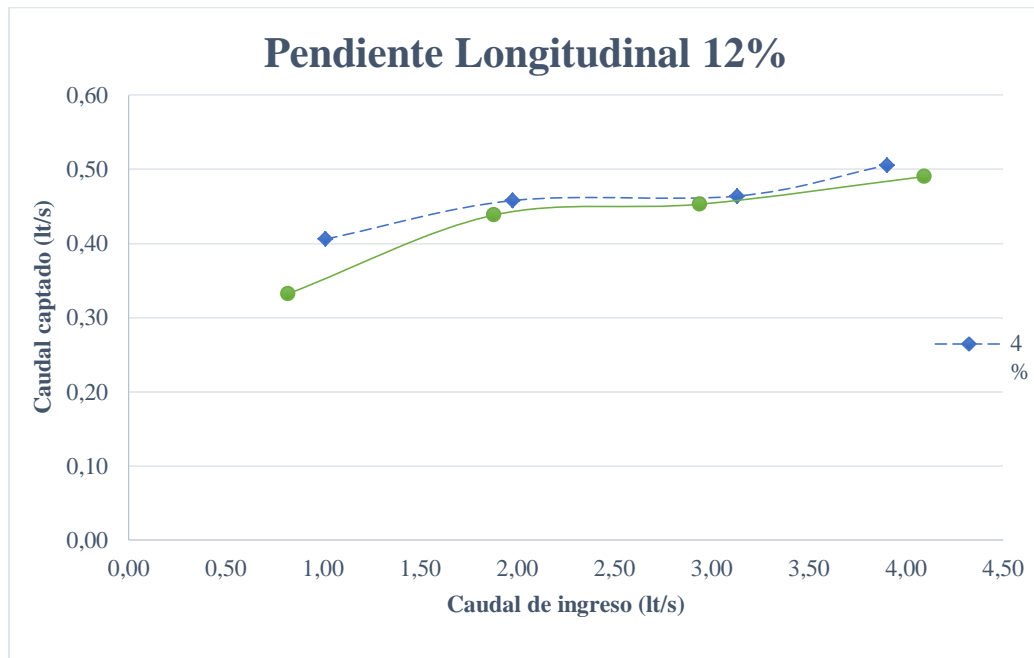
A través de la medición de altura del espejo de agua presente en el canal hidráulico se obtiene el caudal de ingreso, utilizando las combinaciones descritas en la tabla 20 del capítulo II se obtuvieron los siguientes resultados del caudal de captación para cada escenario.

#### **3.1.2.1. Sumideros con Nivel 0+00.**

##### **UN SUMIDERO**

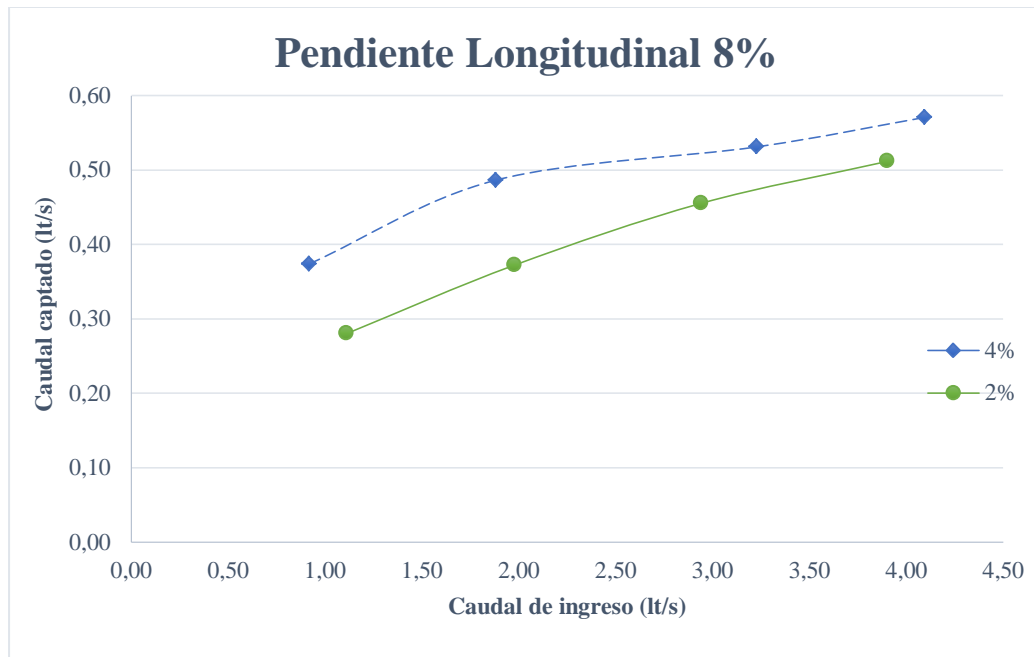
En las figuras 20-23 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante un solo sumidero situado a nivel del modelo.

**Figura 20.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS1



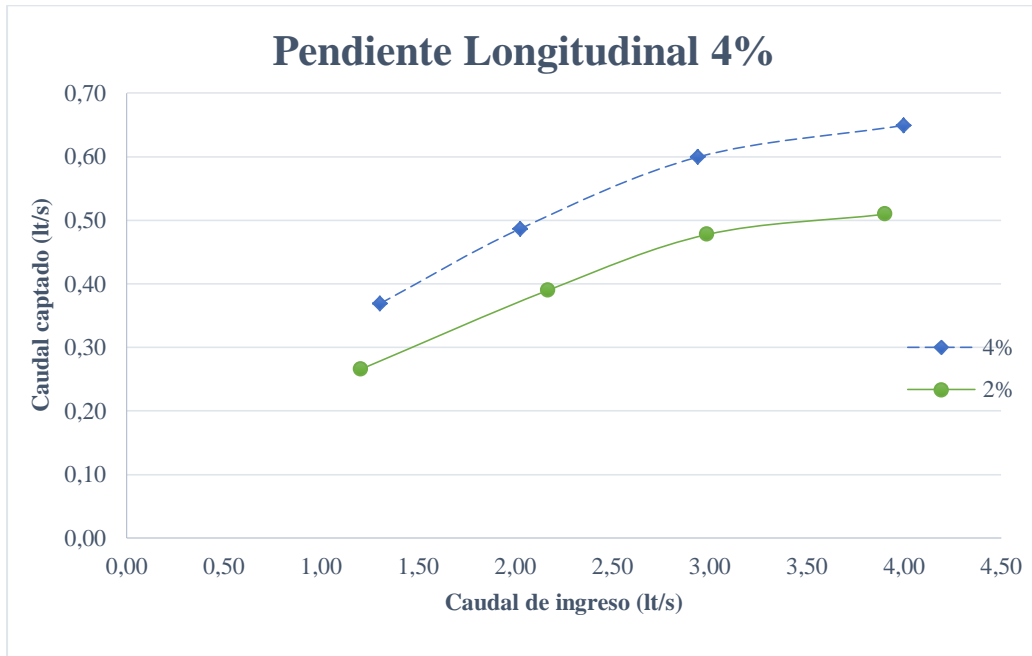
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 21.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS1



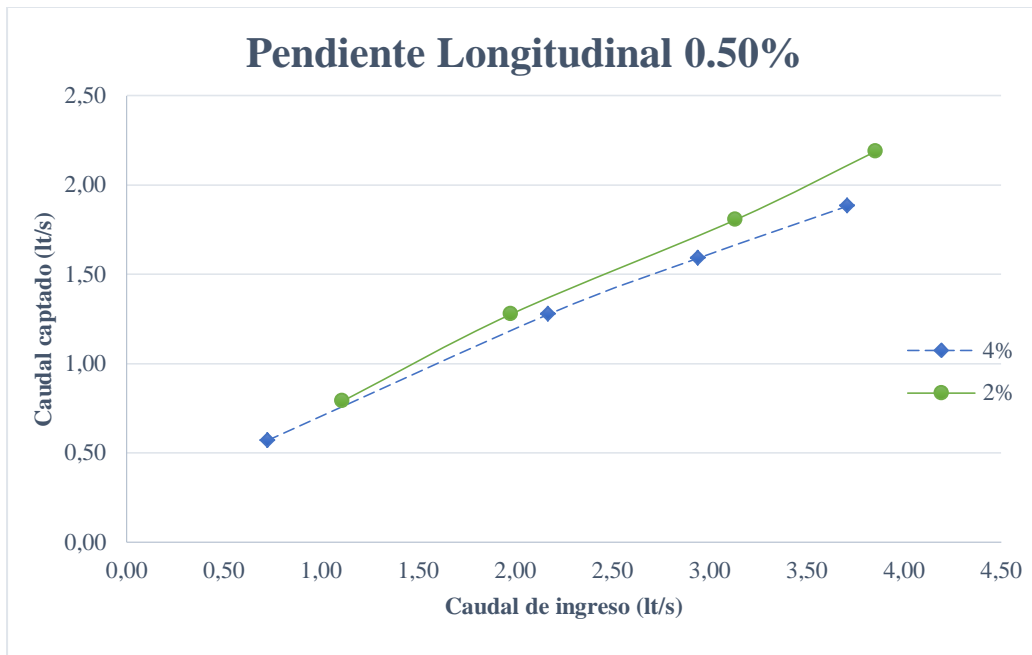
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 22.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS1



**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 23.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS1



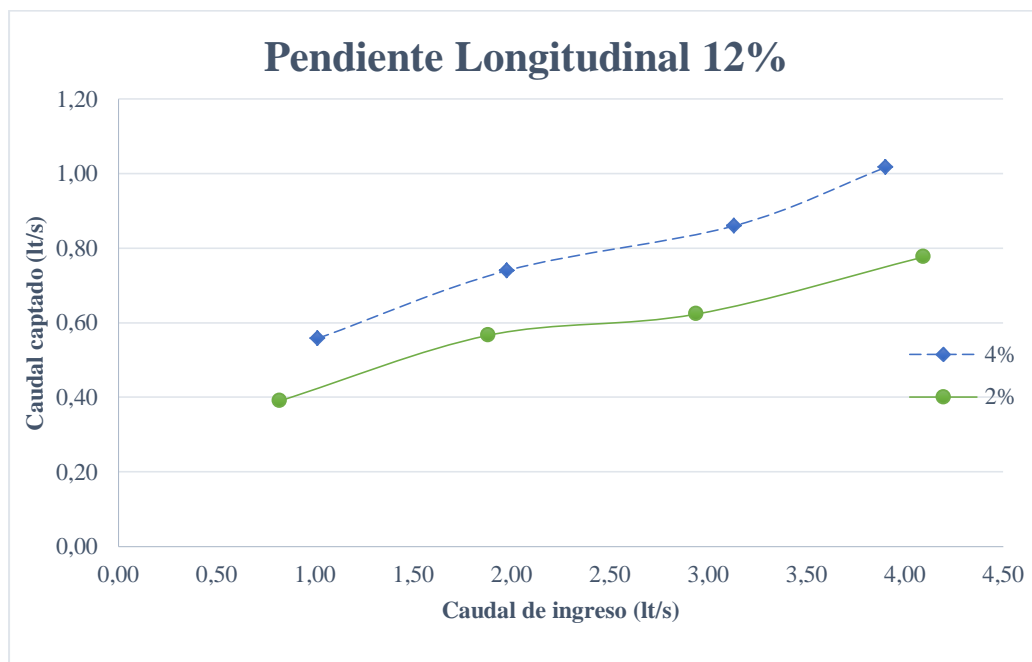
**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 20-23 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 2.19 lt/s y un caudal de ingreso de 3.85 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 2% respectivamente.

## DOS SUMIDEROS

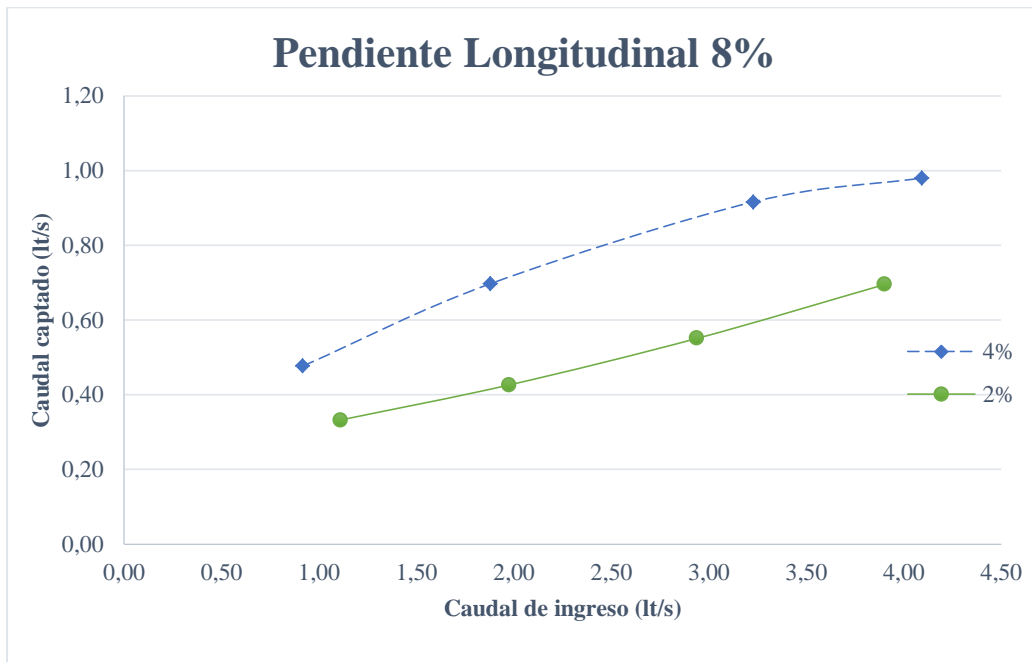
En las figuras 24-27 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante dos sumideros situados a nivel del modelo.

**Figura 24.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS2



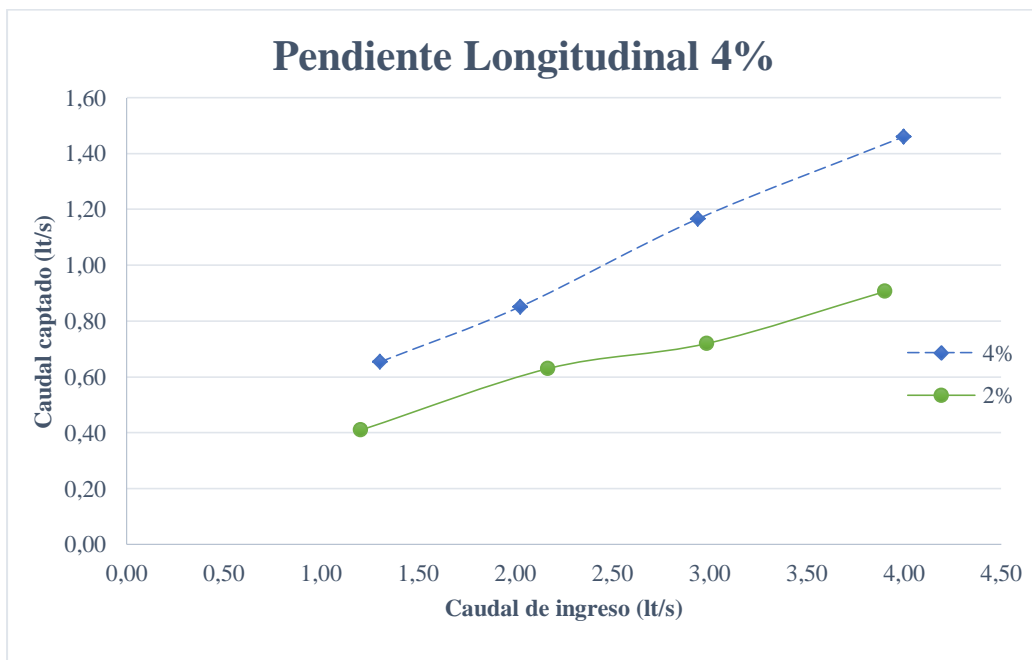
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 25.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS2



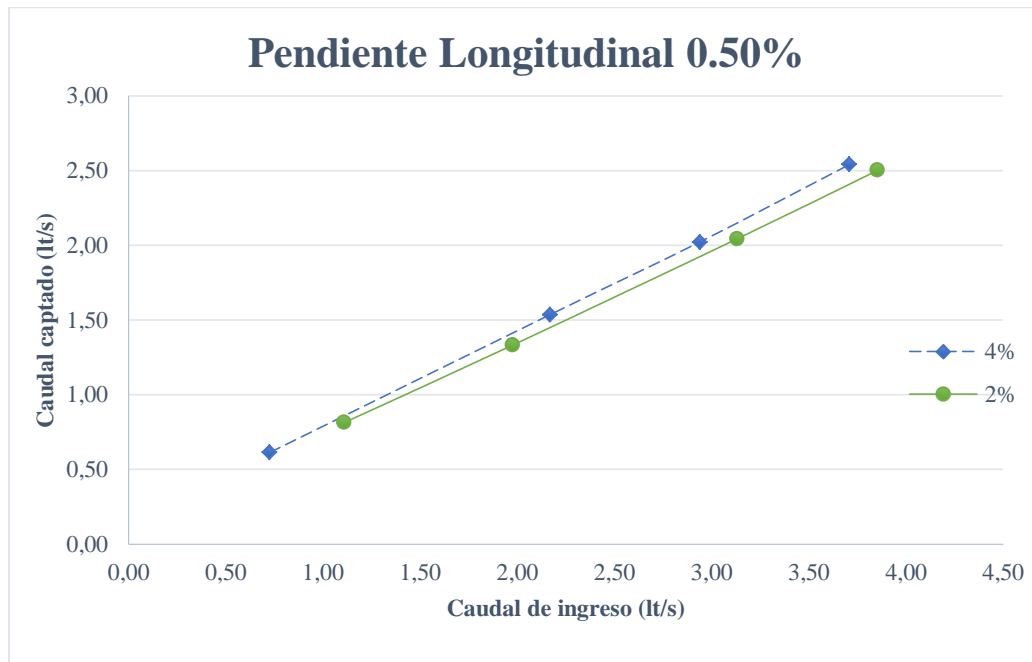
Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 26.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS2



Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 27.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS2



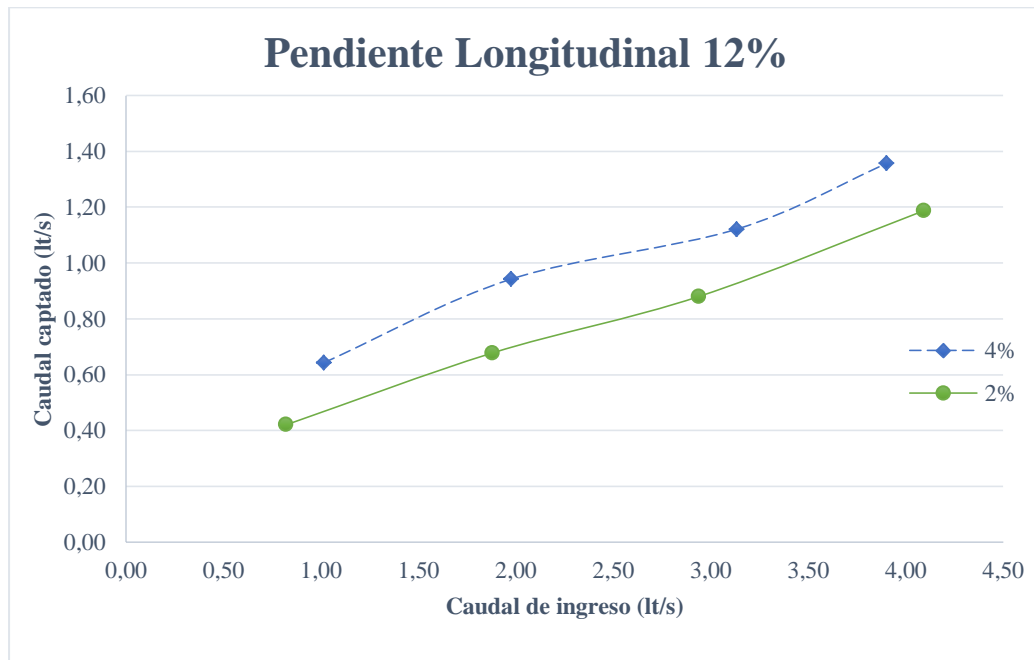
**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 24-27 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 2.54 lt/s y un caudal de ingreso de 3.71 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

### **TRES SUMIDEROS**

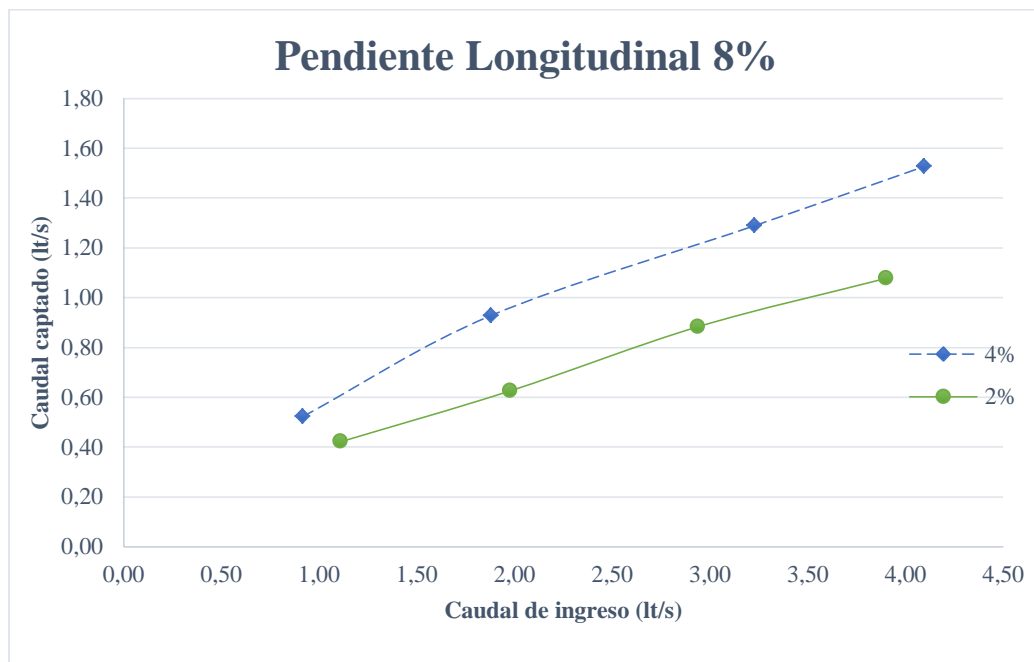
En las figuras 28-31 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante tres sumideros situados a nivel del modelo.

**Figura 28.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS3



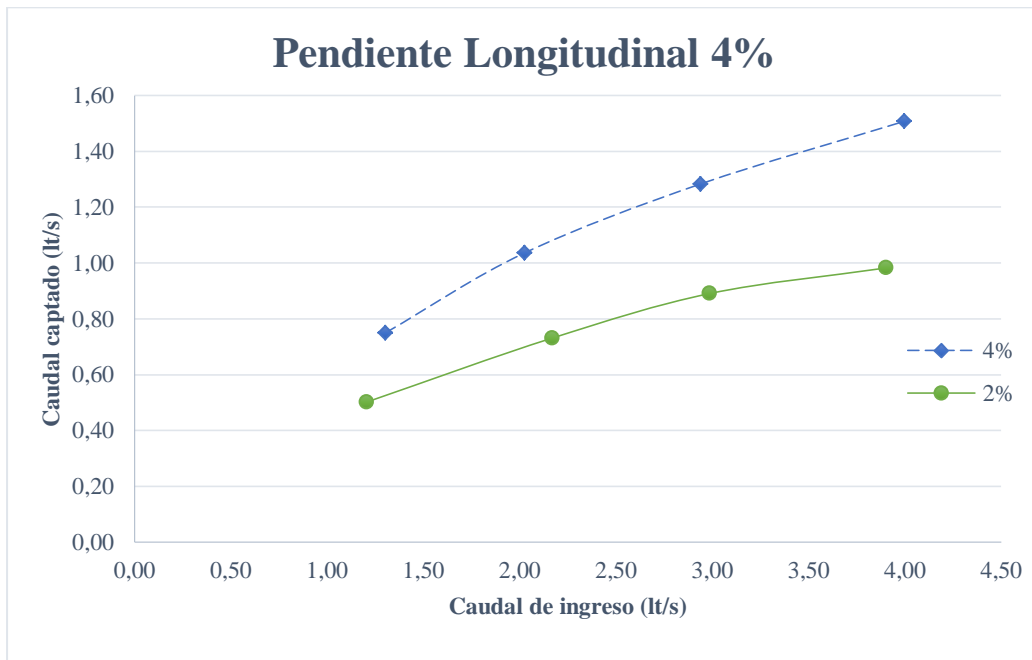
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 29.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS3



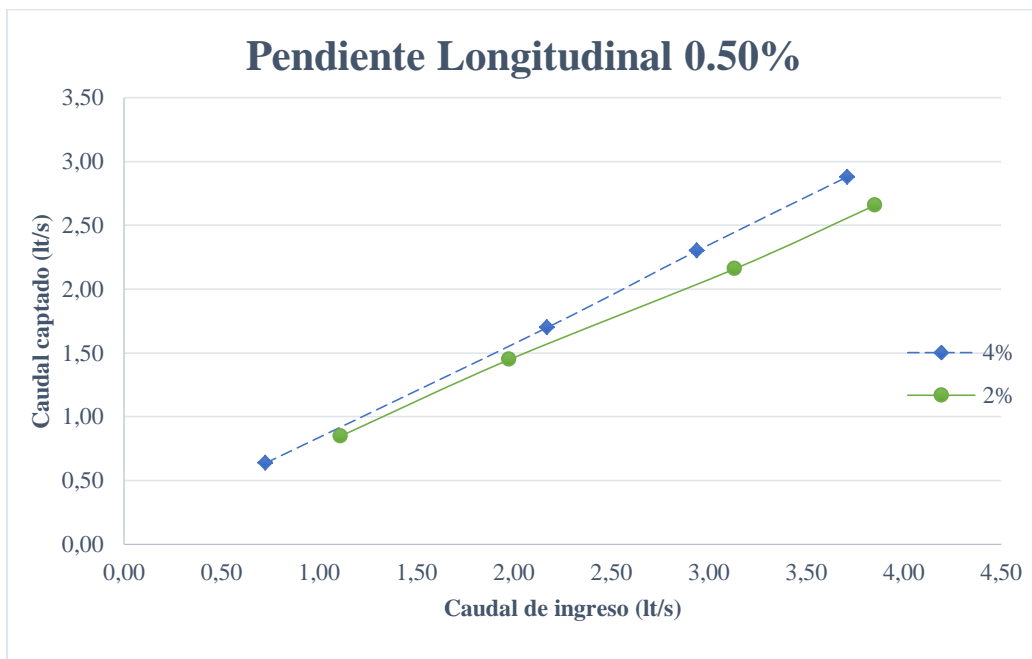
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 30.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS3



**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 31.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.50% - NS3



**Realizado por:** Milton Bustamante

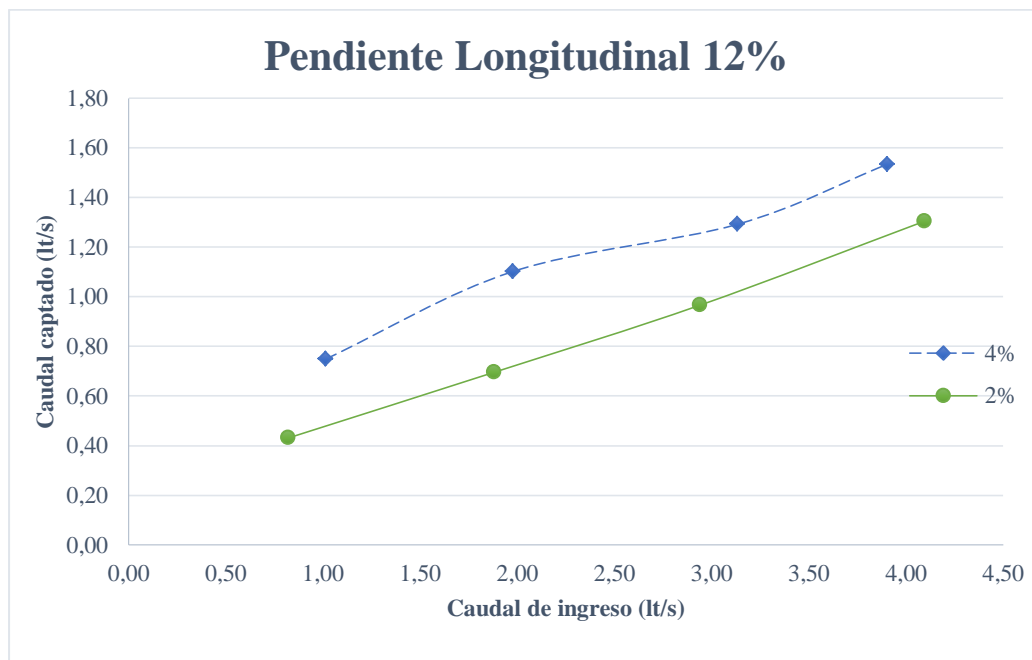


En las figuras 28-31 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 2.88 lt/s y un caudal de ingreso de 3.71 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

## CUATRO SUMIDEROS

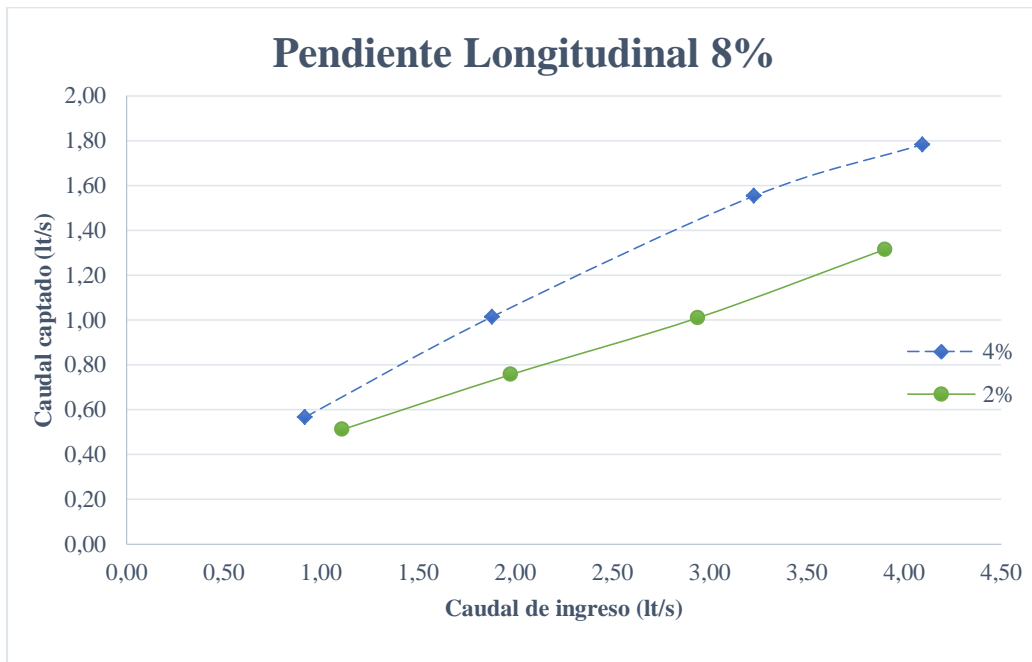
En las figuras 32-35 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante cuatro sumideros situados a nivel del modelo.

**Figura 32.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS4



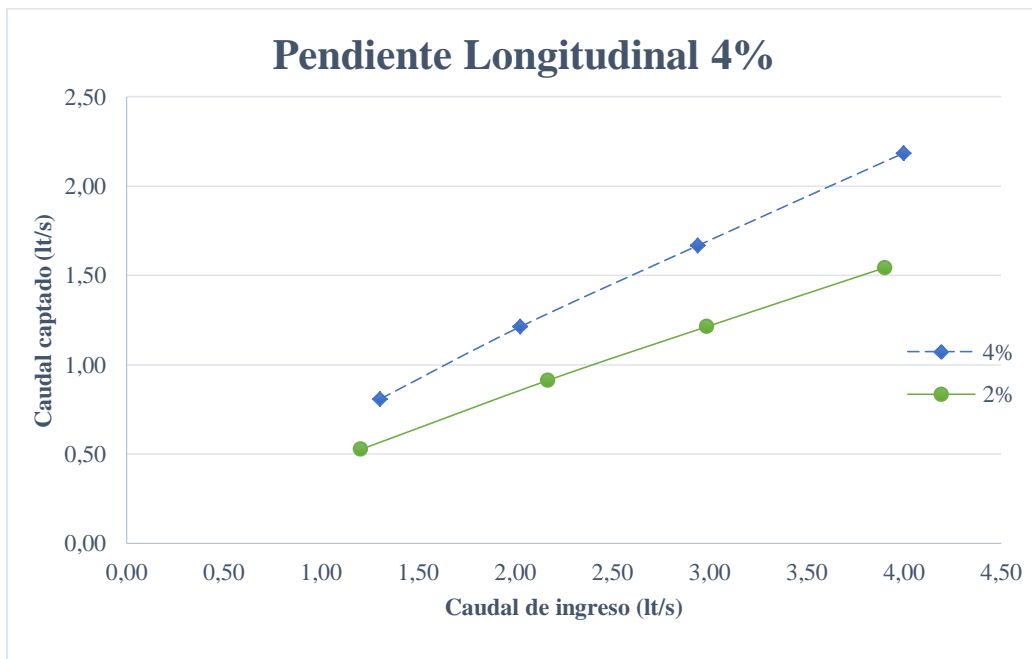
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 33.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS4



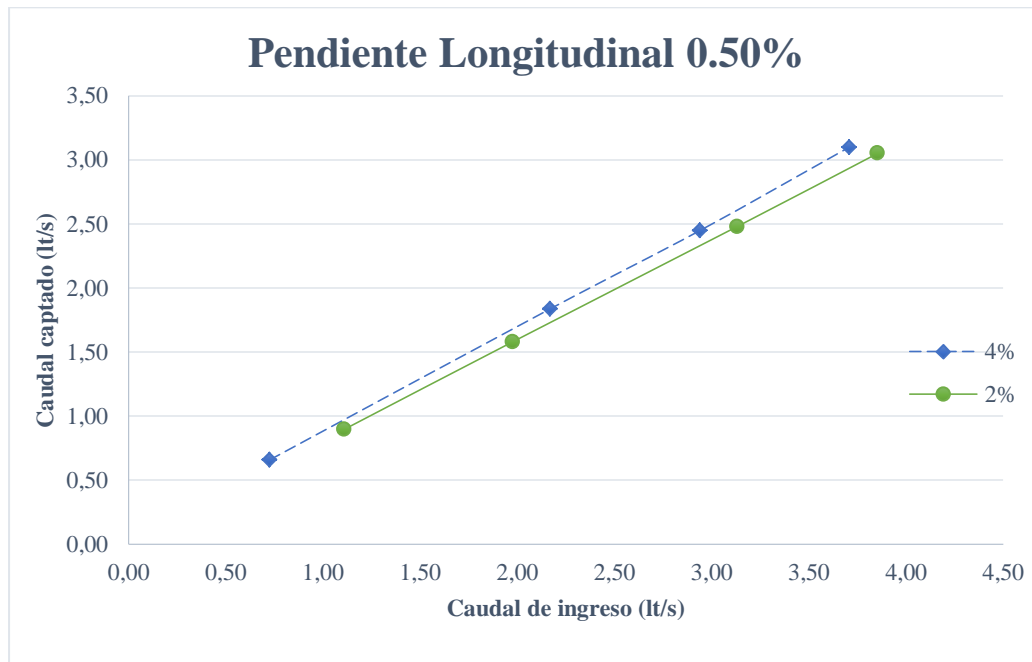
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 34.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS4



**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 35.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS4



**Realizado por:** Milton Bustamante

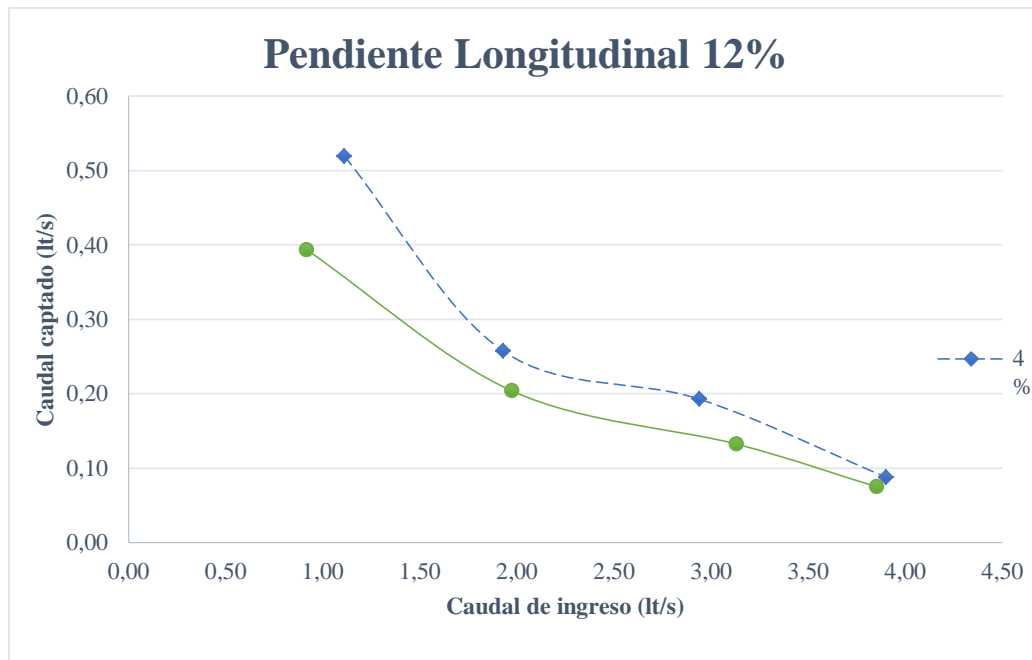
En las figuras 32-35 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 3.10 lt/s y un caudal de ingreso de 3.71 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

### **3.1.2.2. Sumideros con elevación**

#### **UN SUMIDERO**

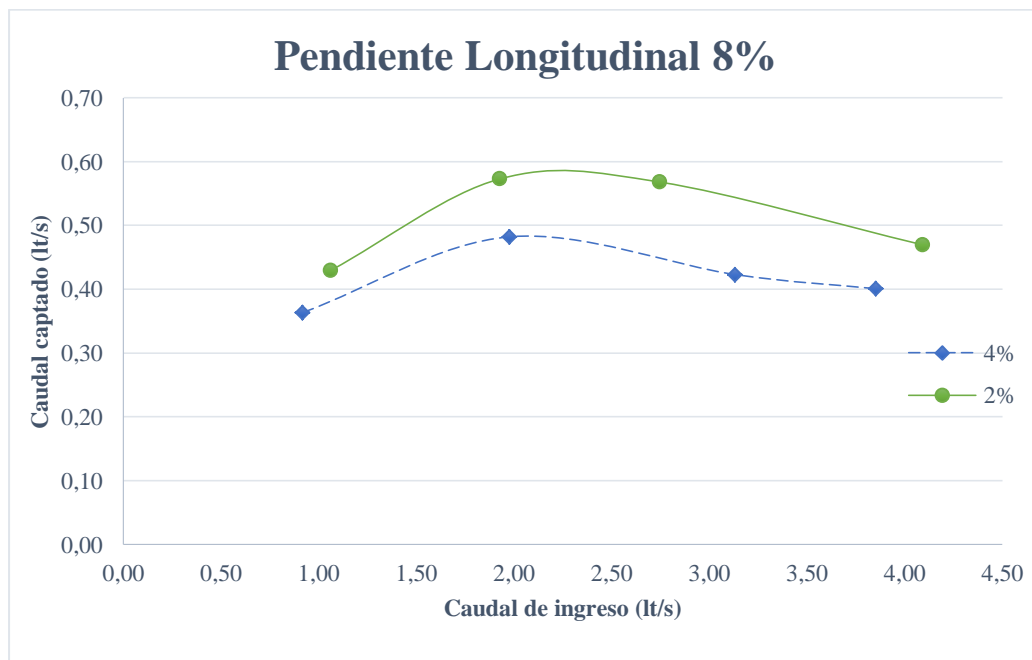
En las figuras 36-39 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante un solo sumidero situado a nivel del modelo.

**Figura 36.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES1



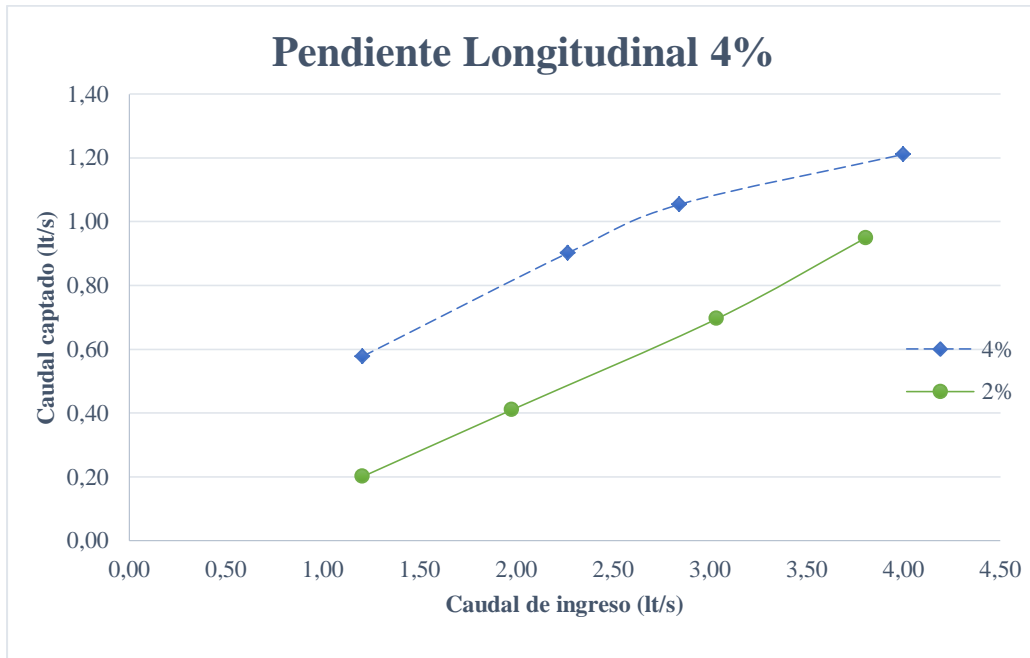
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 37.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES1



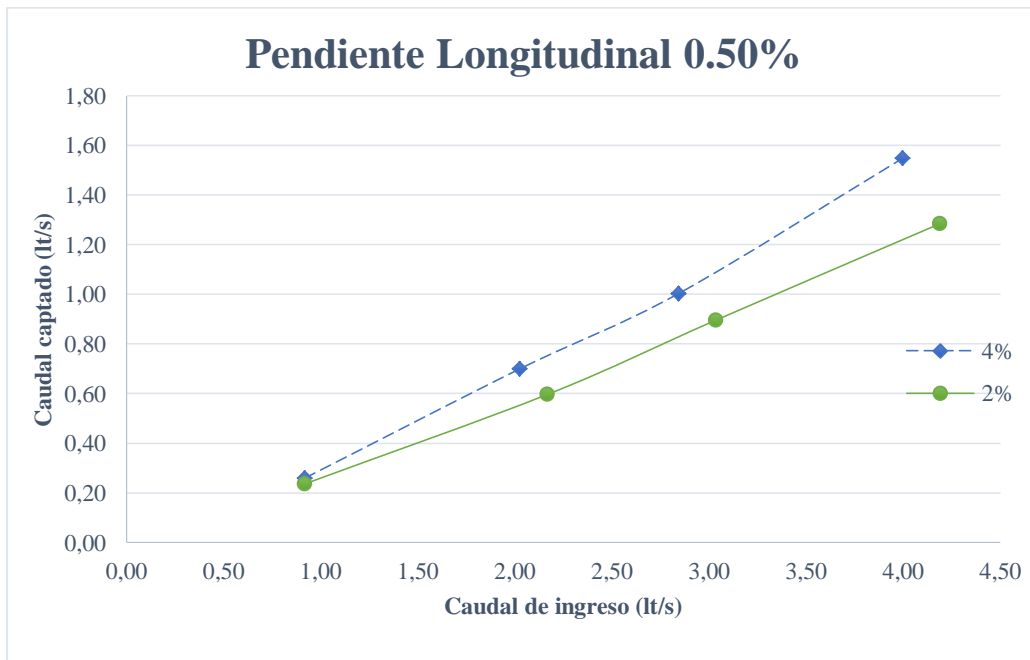
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 38.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES1



**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 39.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES1



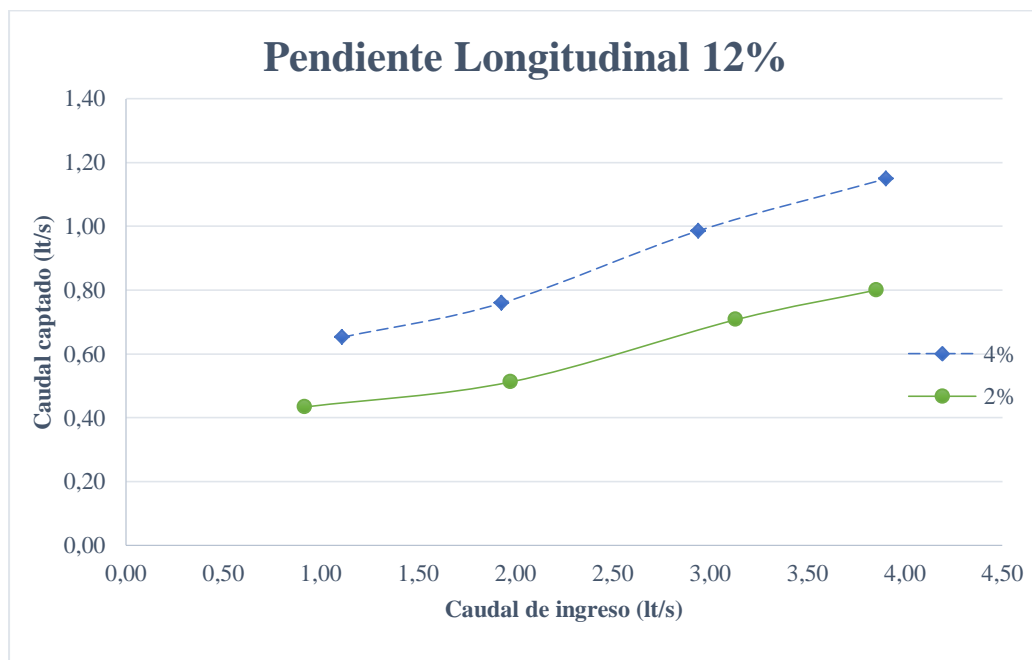
**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 36-39 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 1.55 lt/s y un caudal de ingreso de 4.00 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

## DOS SUMIDEROS

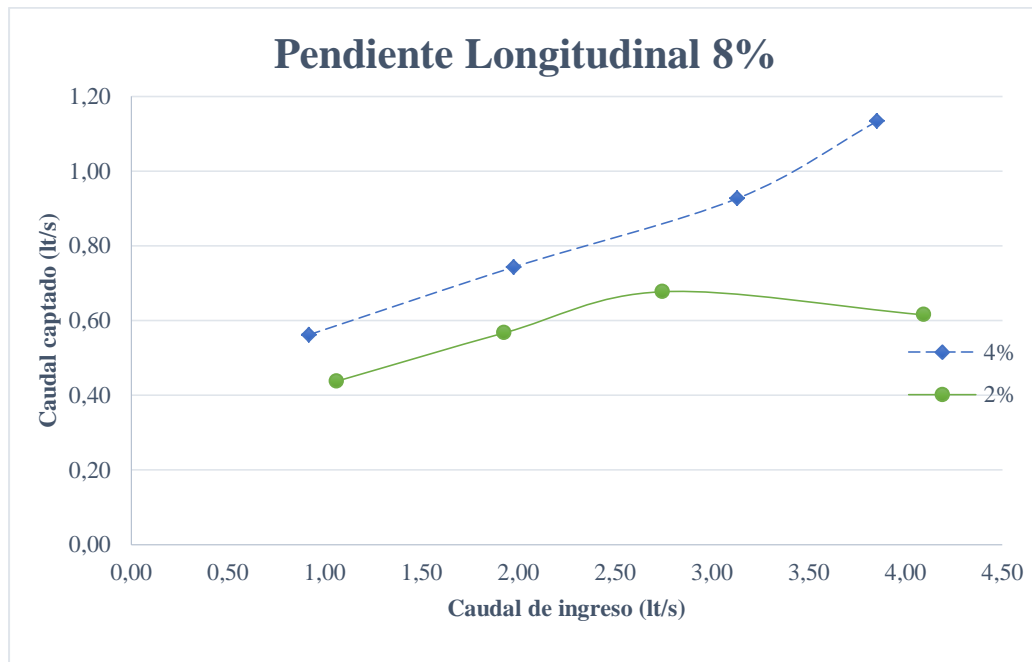
En las figuras 40-43 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante dos sumideros situados a nivel del modelo.

**Figura 40.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES2



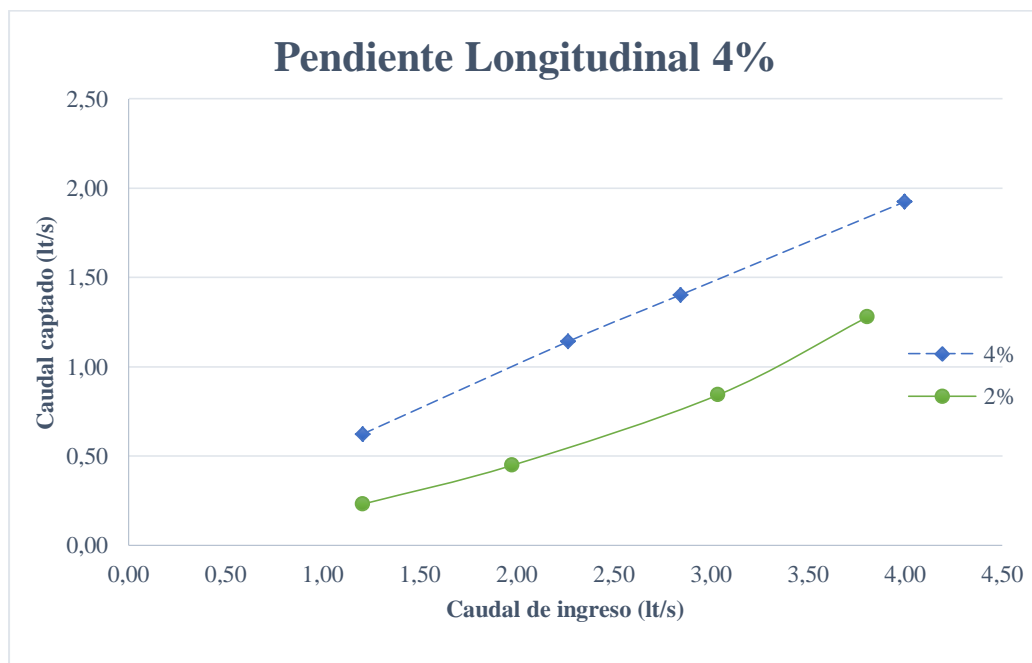
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 41.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES2



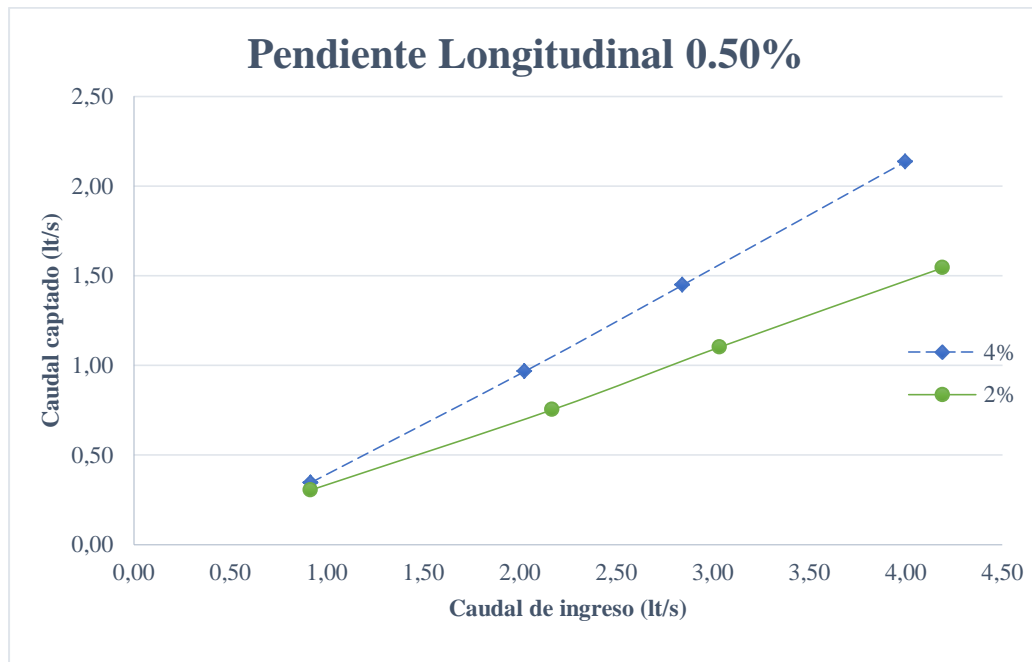
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 42.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES2



**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 43.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES2



**Realizado por:** Milton Bustamante

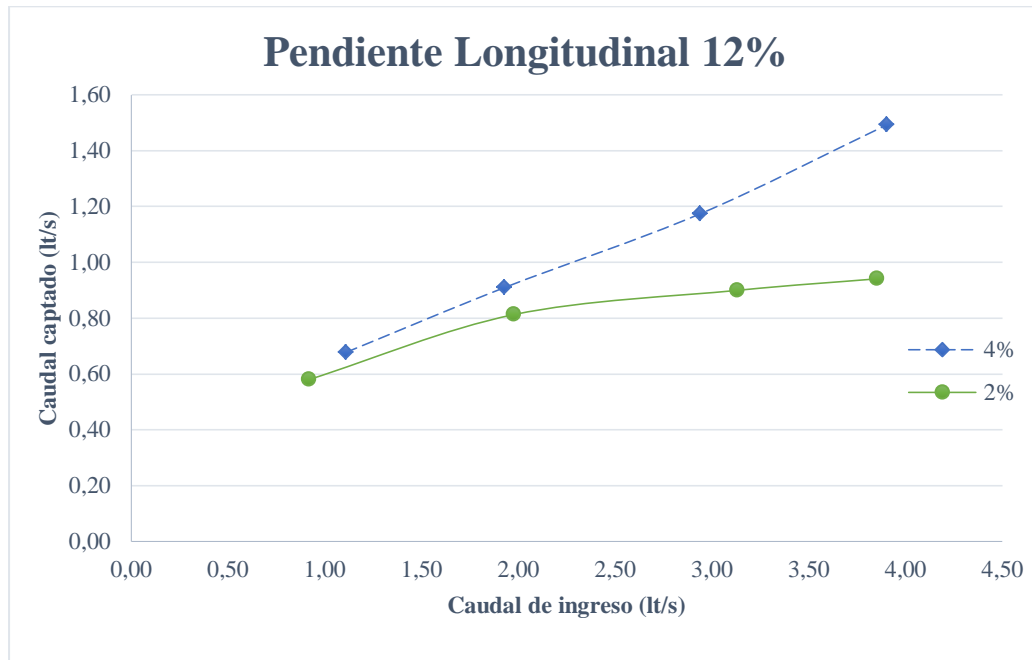
En las figuras 40-43 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 2.14 lt/s y un caudal de ingreso de 4.00 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

### **TRES SUMIDEROS**

En las figuras 44-47 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante tres sumideros situados a nivel del modelo.

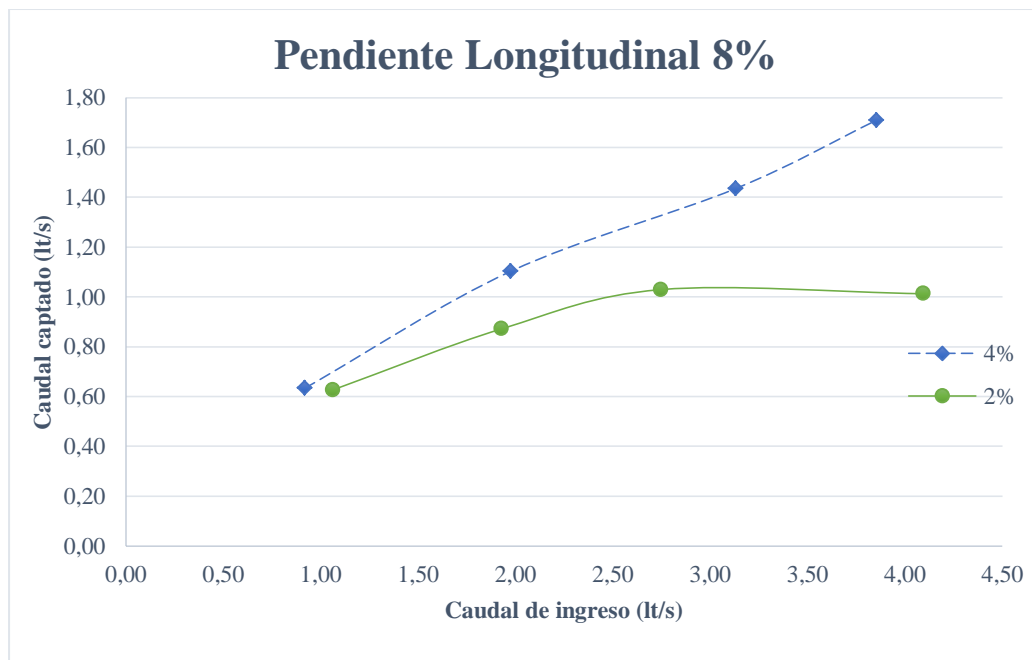


**Figura 44.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES3



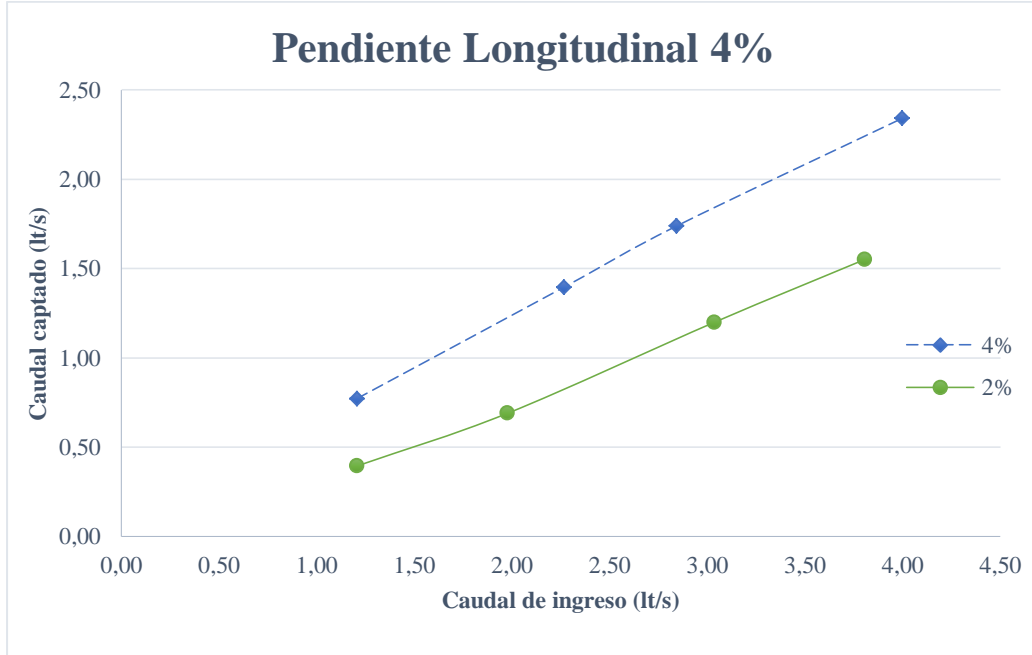
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 45.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES3



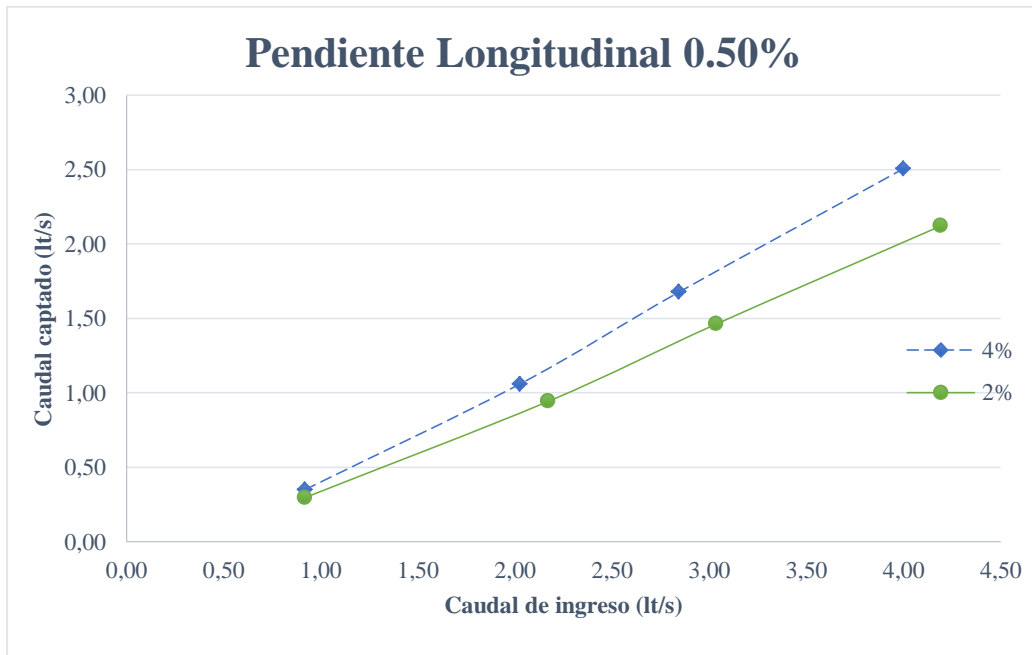
Realizado por: Milton Bustamante

Figura 46.- Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES3



Realizado por: Milton Bustamante

Figura 47.- Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.50% - ES3



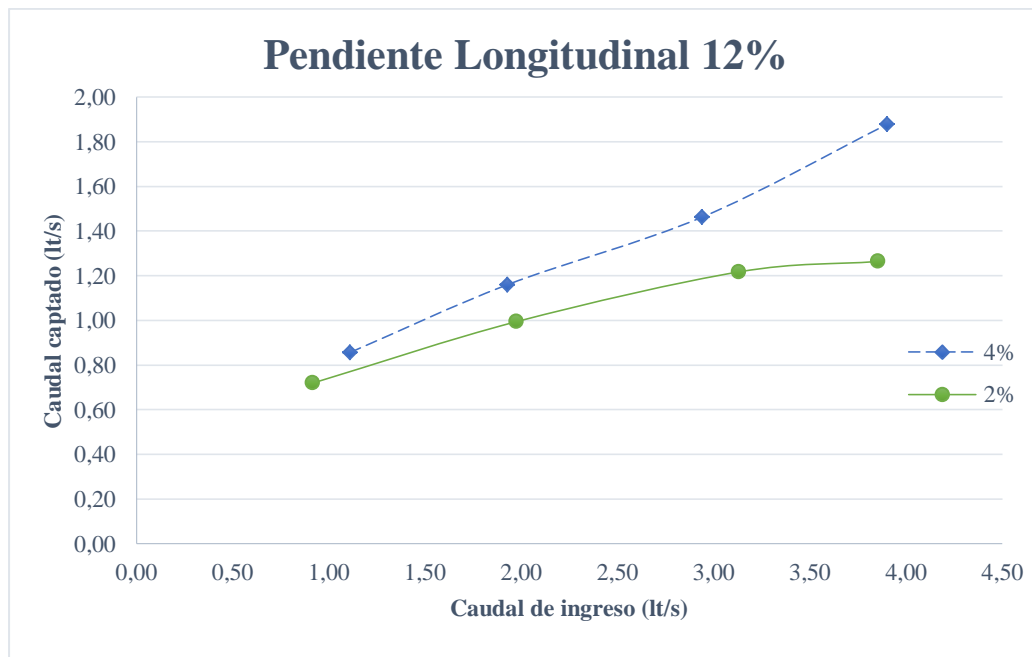
Realizado por: Milton Bustamante

En las figuras 44-47 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 2.50 lt/s y un caudal de ingreso de 4.00 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

## CUATRO SUMIDEROS

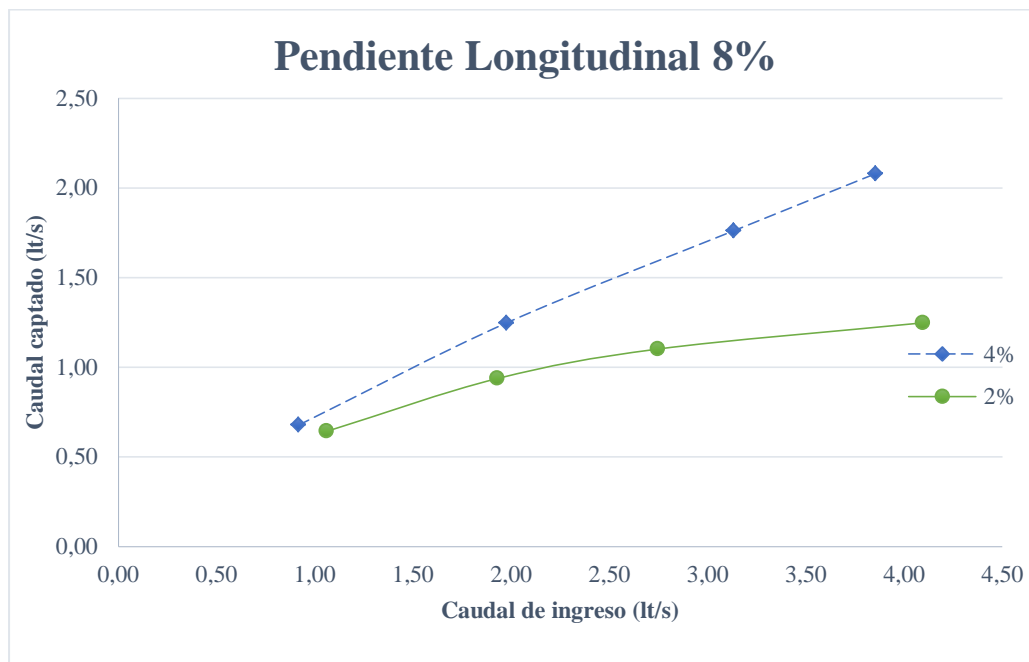
En las figuras 48-51 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante cuatro sumideros situados a nivel del modelo.

Figura 48.- Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES4



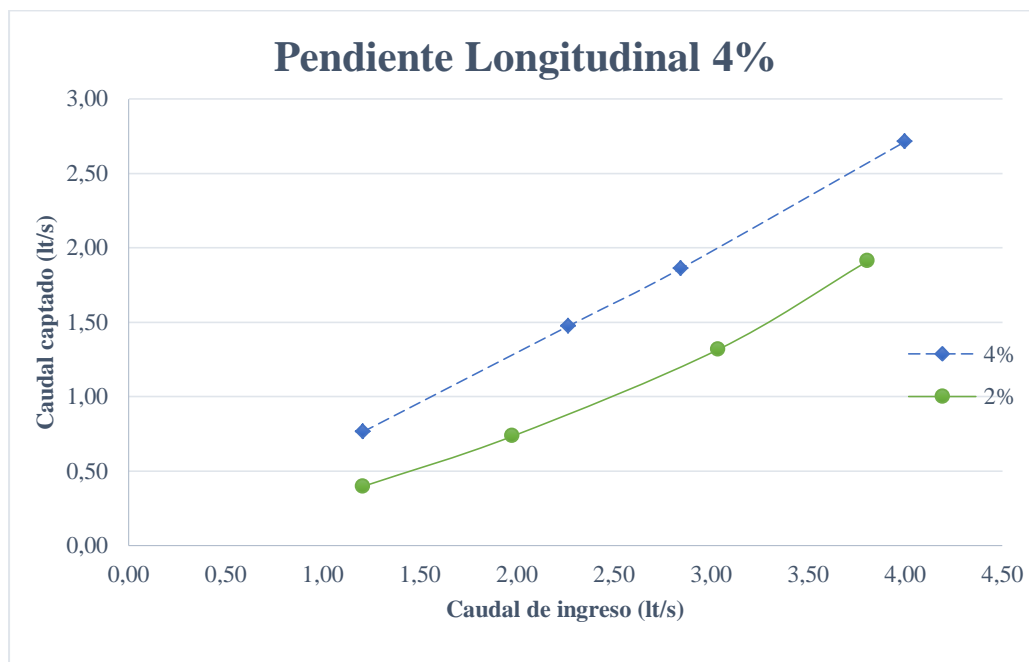
Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 49.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES4



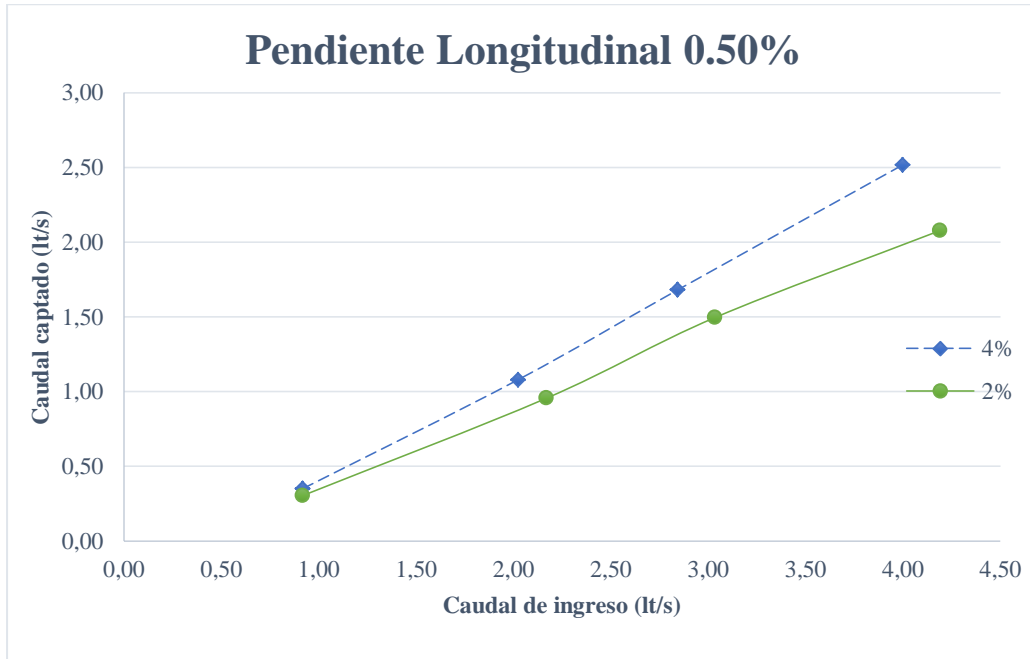
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 50.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES4



Realizado por: Milton Bustamante

Figura 51.- Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES4



Realizado por: Milton Bustamante

En las figuras 48-51 se observa que el caudal de ingreso incrementa proporcionalmente con el caudal de captación, teniendo como resultado un caudal máximo captado de 2.71 lt/s y un caudal de ingreso de 4.00 lt/s resultados del escenario de pendiente longitudinal 4% y transversal 4% respectivamente.

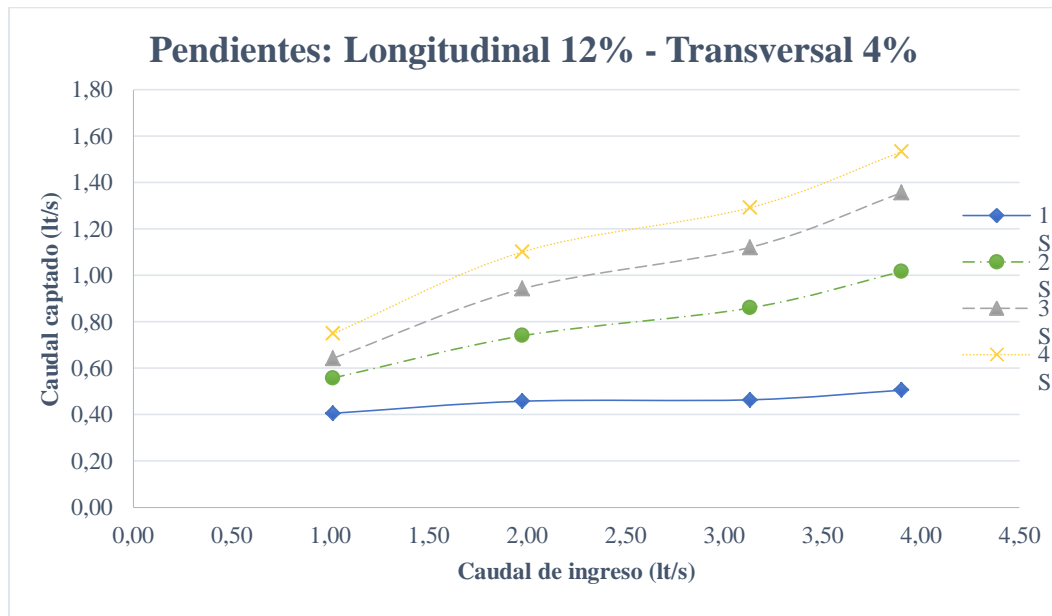
### 3.1.3. Caudal captado en relación con el Caudal de ingreso con sumideros variables

A través de la medición de altura del espejo de agua presente en el canal hidráulico se obtiene el caudal de ingreso, utilizando las combinaciones descritas en la tabla 17 del capítulo II se obtuvieron los siguientes resultados de captación para cada escenario.

### 3.1.3.1. Sumideros con Nivel 0+00

En las figuras de la 52-59 presentadas a continuación, se observa el caudal captado en relación con el caudal de ingreso de la vía en unidades de litros sobre segundos, para un sumidero, dos, tres y cuatro sumideros.

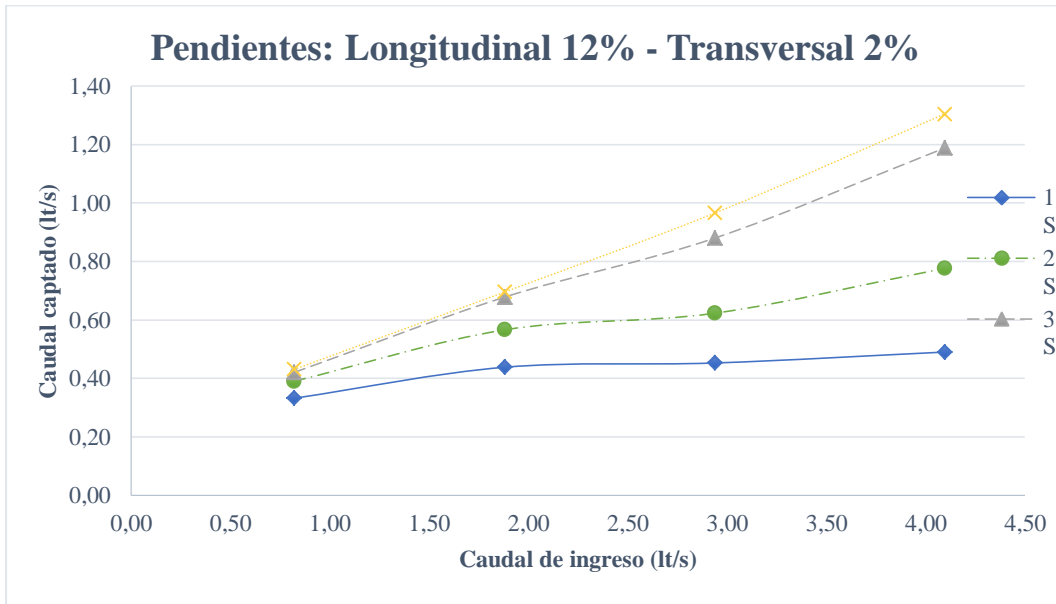
**Figura 52.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso – Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 52 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.01 lt/s con un sumidero se captó 0.41 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.75 lt/s.

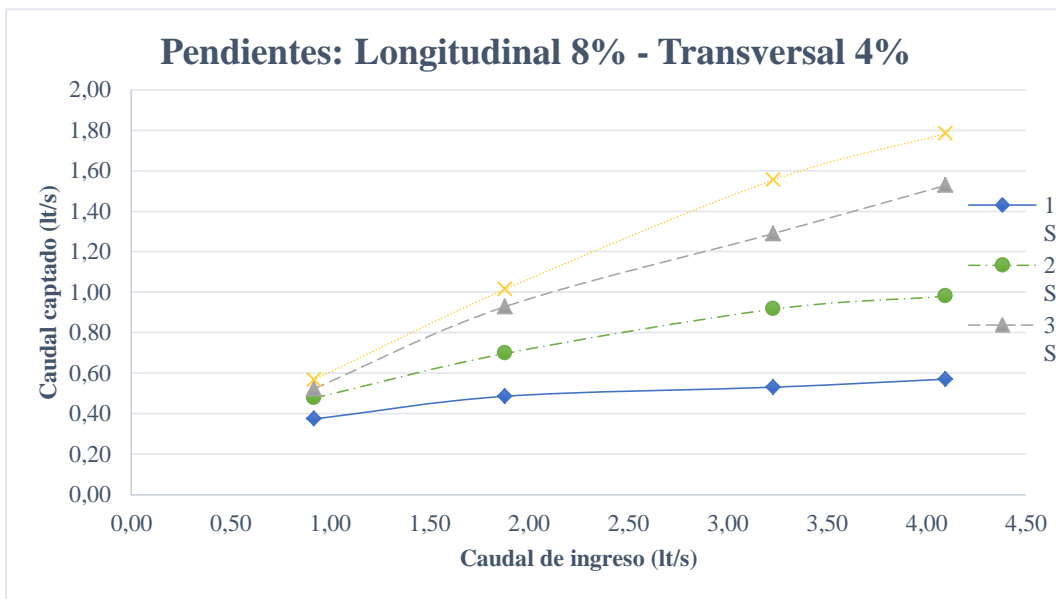
**Figura 53.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 53 se puede observar que para un caudal de ingreso de 4.10 lt/s con un sumidero se captó 0.49 lt/s y con cuatro sumideros se captó 1.30 lt/s.

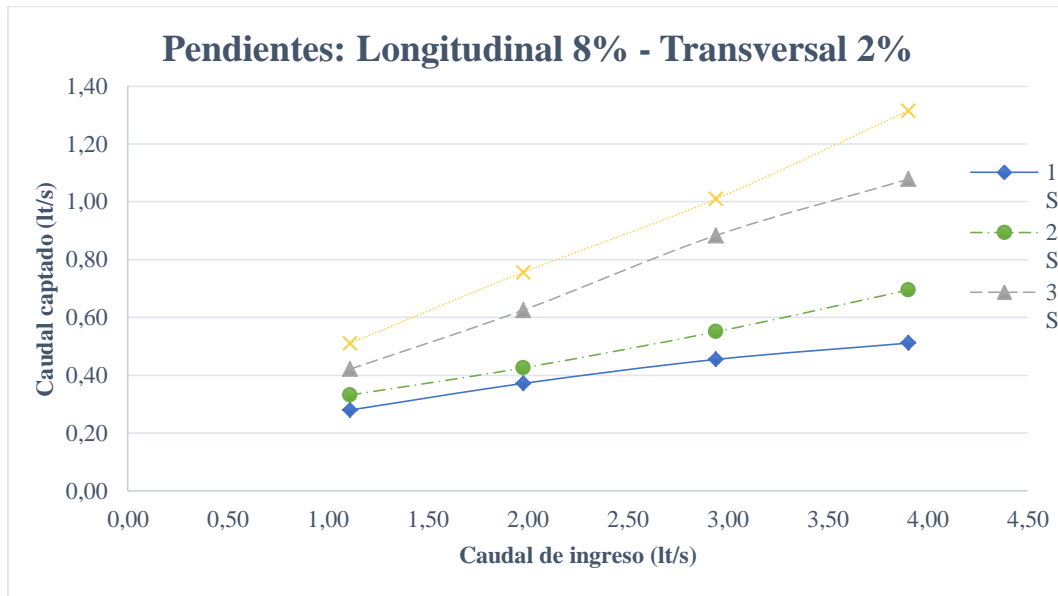
**Figura 54.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 54 se puede observar que para un caudal de ingreso de 0.92 lt/s con un sumidero se captó 0.37 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.57 lt/s.

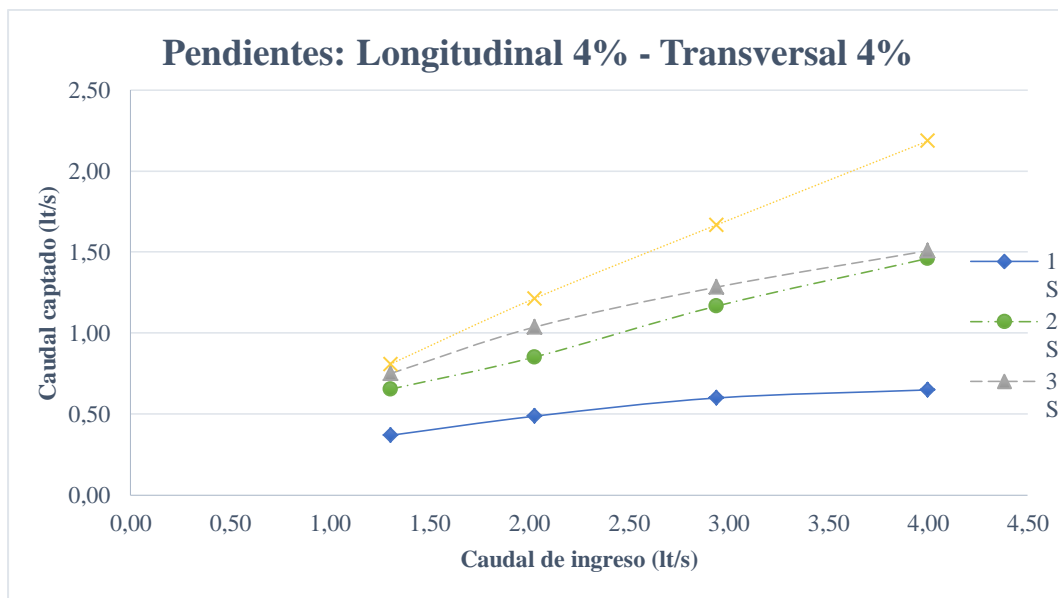
**Figura 55.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - NTS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 55 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.98 lt/s con un sumidero se captó 0.37 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.76 lt/s.

**Figura 56.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - NTS

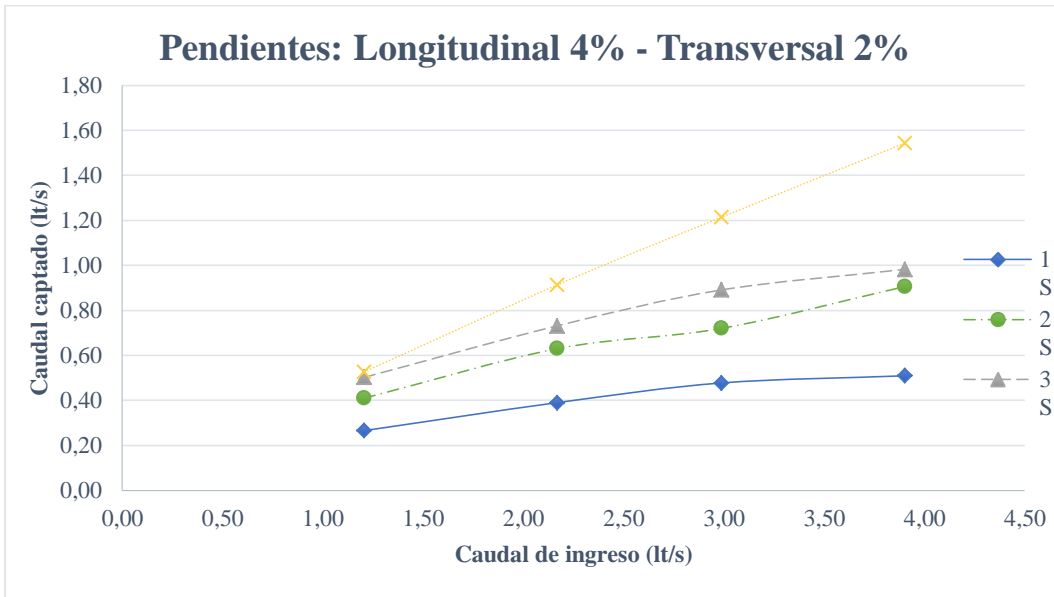


**Realizado por:** Milton Bustamante



En la figura 56 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.30 lt/s con un sumidero se captó 0.37 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.751 lt/s.

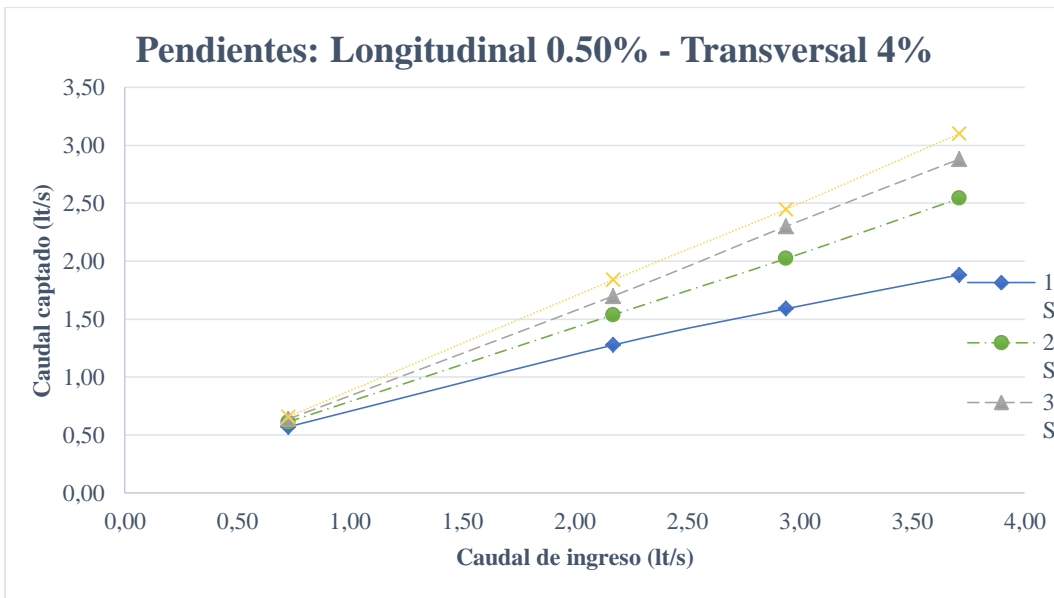
**Figura 57.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 57 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.11 lt/s con un sumidero se captó 0.41 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.51 lt/s.

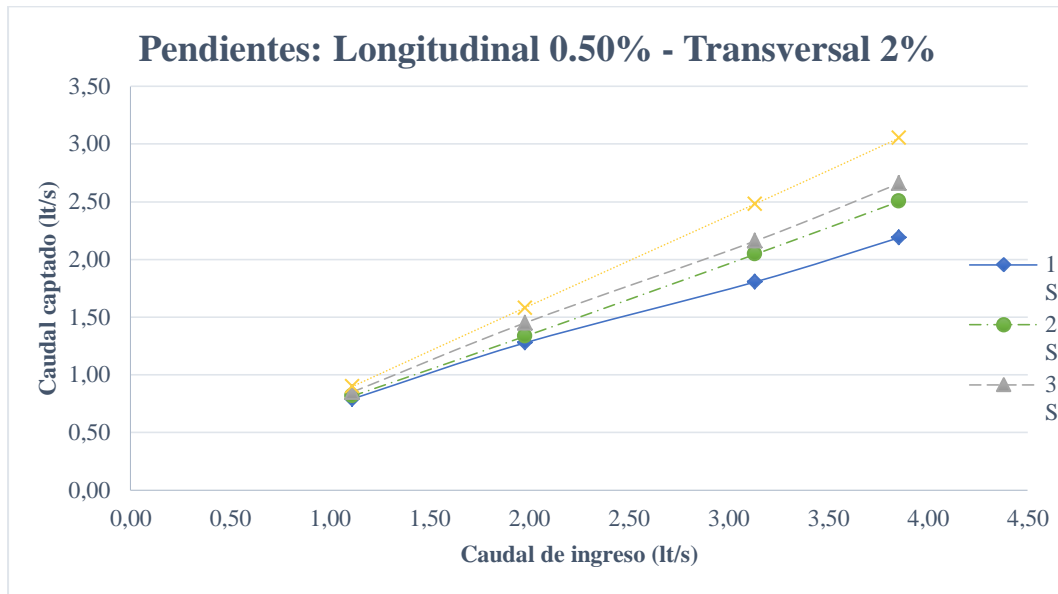
**Figura 58.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 58 se puede observar que para un caudal de ingreso de 2.94 lt/s con un sumidero se captó 1.59 lt/s y con cuatro sumideros se captó 2.45 lt/s.

**Figura 59.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

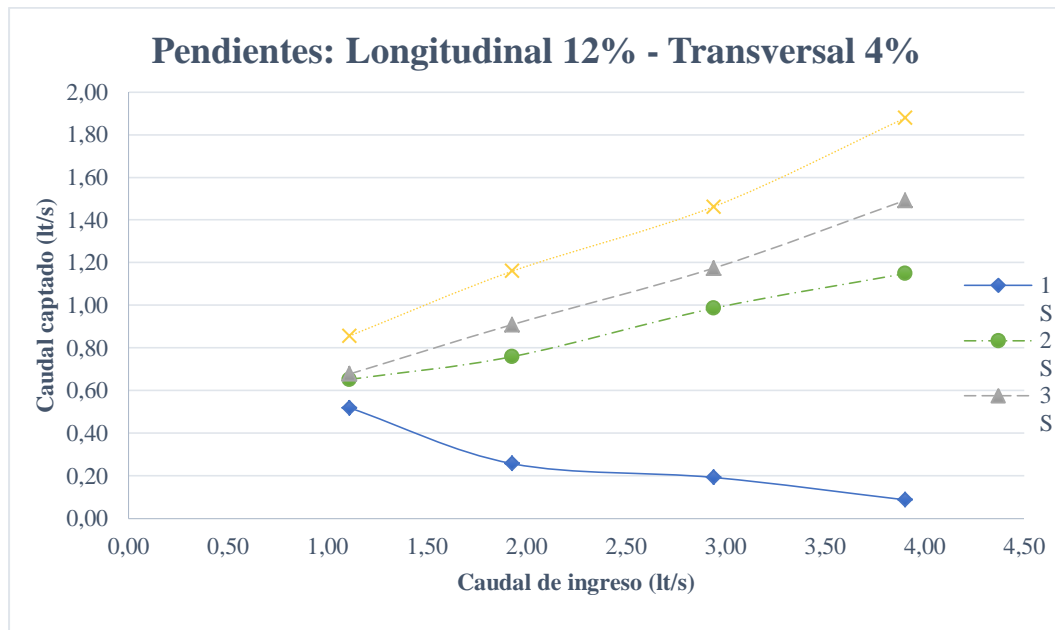
En la figura 59 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.85 lt/s con un sumidero se captó 2.19 lt/s y con cuatro sumideros se captó 3.05 lt/s.

Se concluye de manera general que el escenario que capta más caudal es el que presenta 4 sumideros, siendo el mayor de todos estos 3.10 lt/s presente en la pendiente longitudinal 0.5% y transversal 4%. También podemos observar que en caudales bajos no existe gran diferencia de volumen captado en el escenario que presenta un solo sumidero.

### 3.1.3.2. Sumideros con elevación

En las figuras de la 60-67 presentadas a continuación, se observa el caudal captado versus el caudal de ingreso de la vía en unidades de litros sobre segundos, para un sumidero, dos, tres y cuatro sumideros.

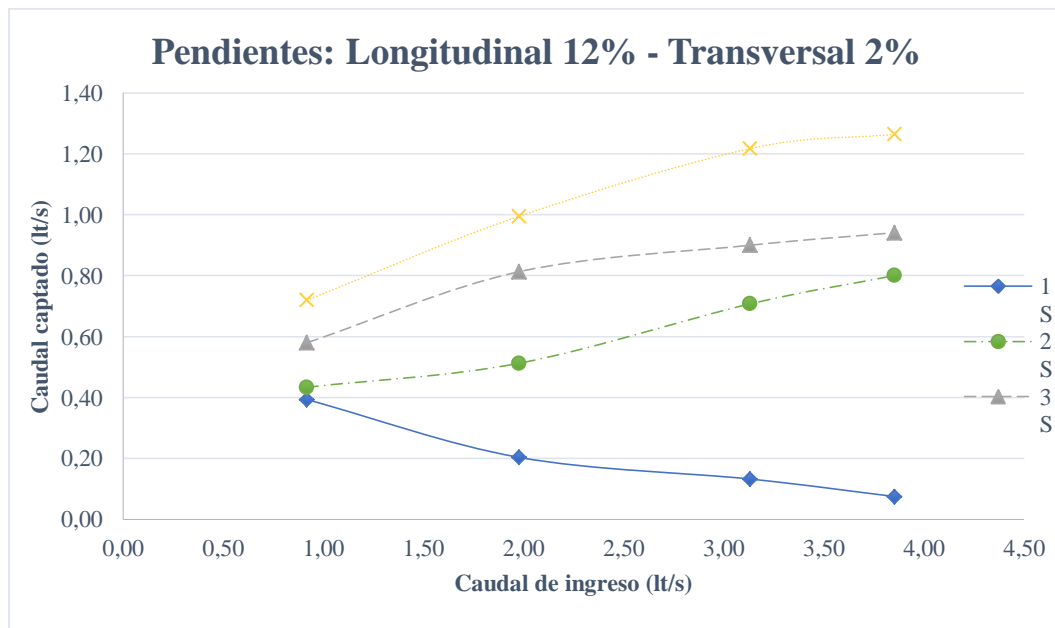
**Figura 60.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 60 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.11 lt/s con un sumidero se captó 0.52 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.86 lt/s.

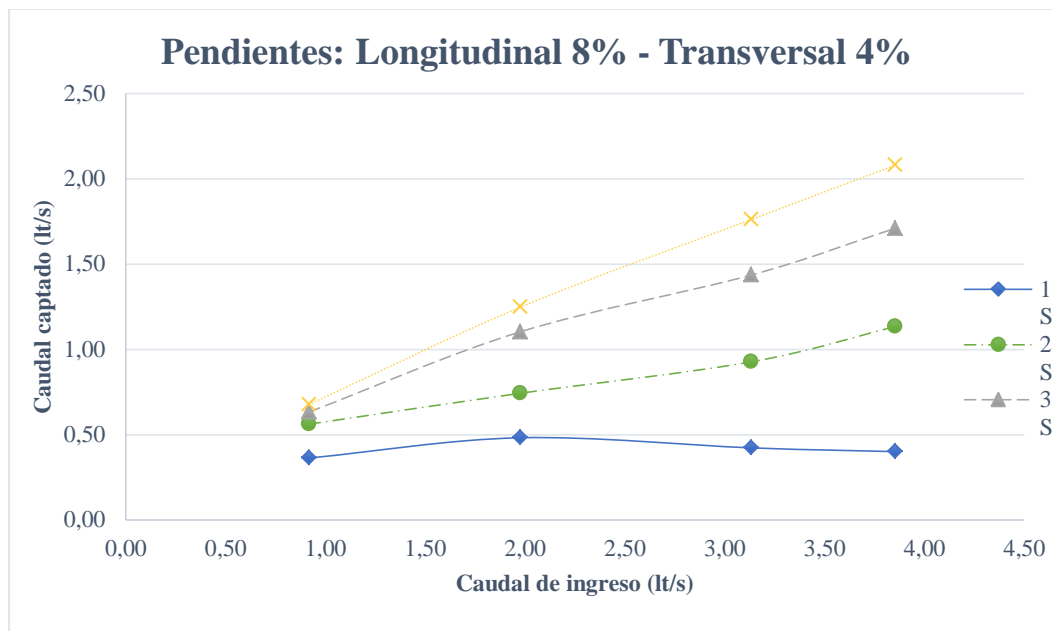
**Figura 61.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 61 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.98 lt/s con un sumidero se captó 0.20 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.99 lt/s.

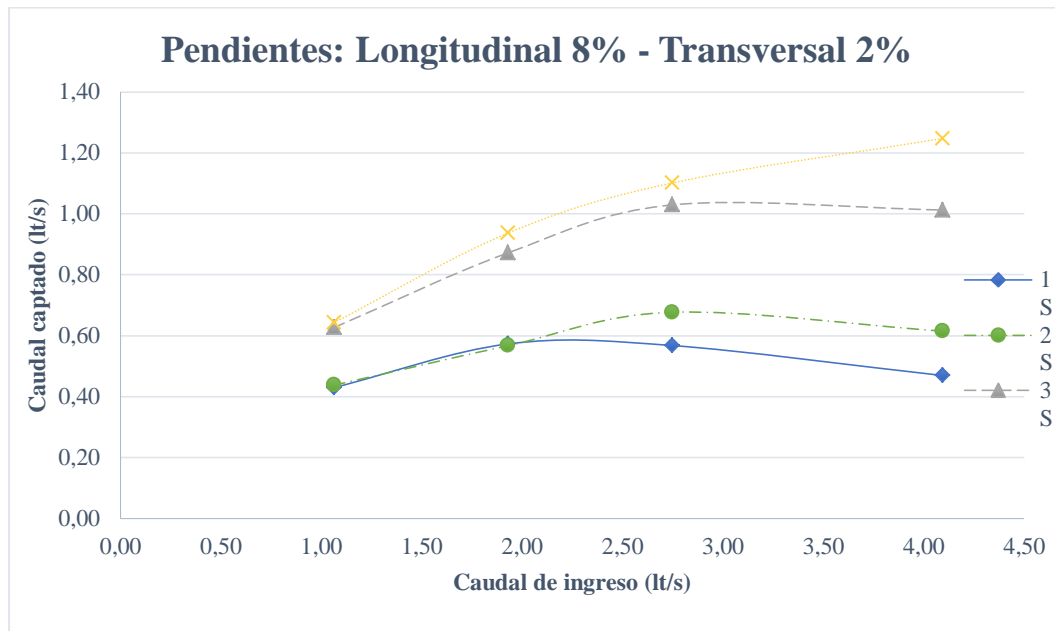
**Figura 62.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 62 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.13 lt/s con un sumidero se captó 0.42 lt/s y con cuatro sumideros se captó 1.76 lt/s.

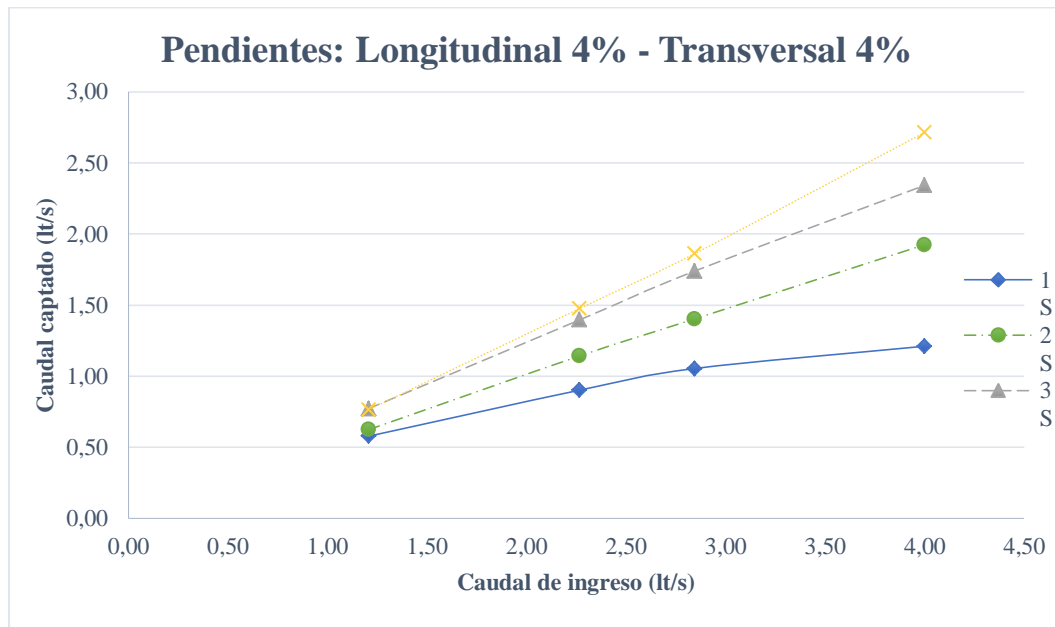
**Figura 63.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - ETS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 63 se puede observar que para un caudal de ingreso de 2.75 lt/s con un sumidero se captó 0.57 lt/s y con cuatro sumideros se captó 1.10 lt/s.

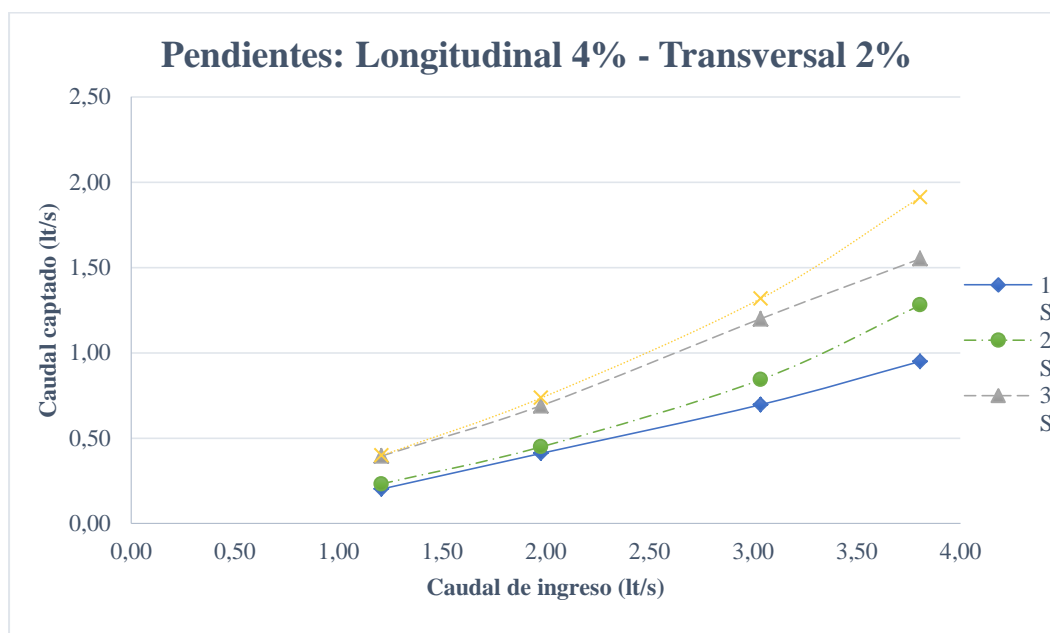
**Figura 64.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 64 se puede observar que para un caudal de ingreso de 4.00 lt/s con un sumidero se captó 1.21 lt/s y con cuatro sumideros se captó 2.71 lt/s.

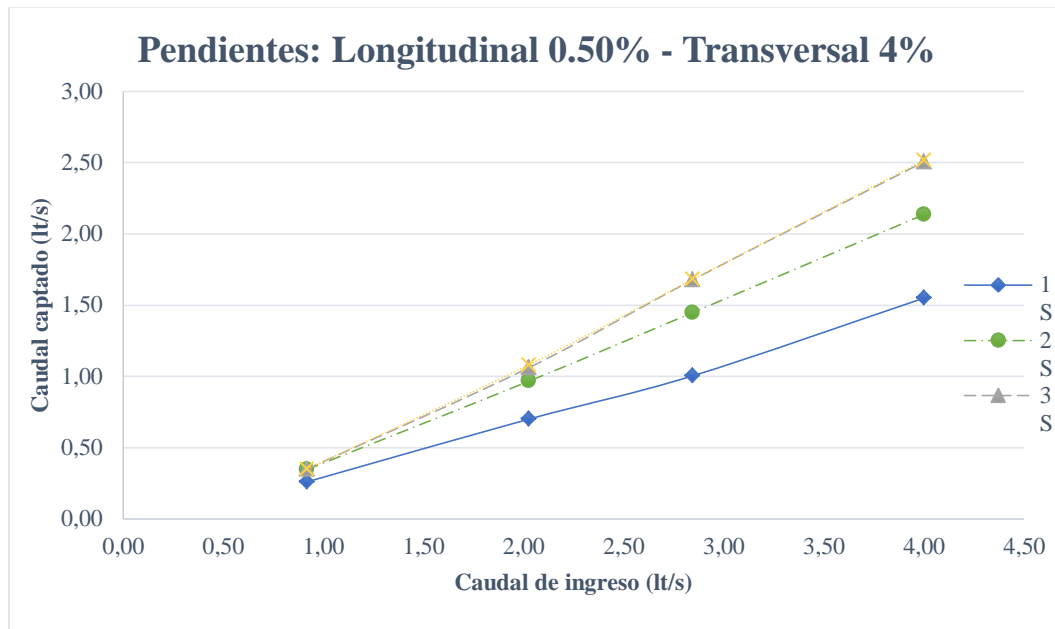
Figura 65.- Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 65 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.81 lt/s con un sumidero se captó 0.95 lt/s y con cuatro sumideros se captó 1.91 lt/s.

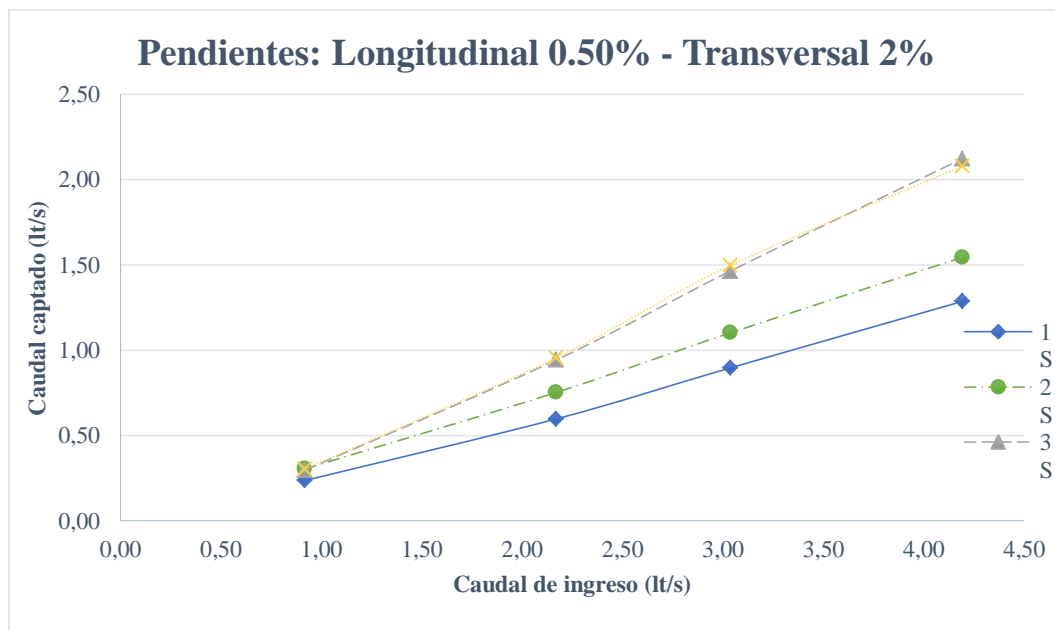
**Figura 66.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - ETS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 66 se puede observar que para un caudal de ingreso de 2.03 lt/s con un sumidero se captó 0.70 lt/s y con cuatro sumideros se captó 1.08 lt/s.

**Figura 67.-** Caudal Captado vs Caudal de Ingreso - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - ETS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 67 se puede observar que para un caudal de ingreso de 0.92 lt/s con un sumidero se captó 0.24 lt/s y con cuatro sumideros se captó 0.30 lt/s.

Se concluye de manera general que el escenario que capta más caudal es el que presenta 4 sumideros, siendo el mayor de todos estos 2.71 lt/s presente en la pendiente longitudinal 4% y transversal 4%. También podemos observar que en caudales bajos no existe gran diferencia de volumen captado en el escenario que presenta un solo sumidero.

### **3.2. Análisis y procesamiento de resultados**

#### **3.2.1. Eficiencia en relación con el Caudal de la vía de cada escenario**

En base al análisis de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio de los caudales de ingreso y los caudales de captación, se ha calculado los valores de eficiencia de captación para cada uno de los escenarios y combinaciones antes señaladas por medio de la siguiente fórmula:

$$E = \frac{Q \text{ captado}}{Q \text{ ingreso}} * 100$$

##### **3.2.1.1. Sumideros con Nivel 0+00**

###### **UN SUMIDERO**

En las tablas 23-26 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17



del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso (Q ingreso), caudal de captación (Q captado) y el caudal no receptado por los sumideros (Q restante).

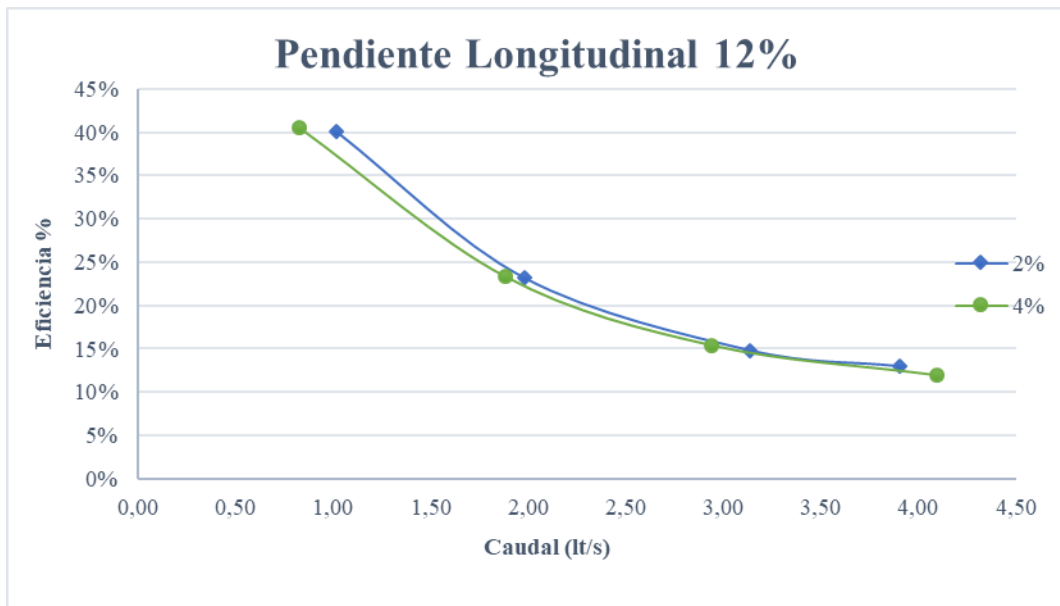
En las figuras 68-71 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante un solo sumidero situado a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 23.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS1

<b>Pendientes</b>		<b>N° Sumideros</b>	<b>Q ingreso</b>	<b>Q captado</b>	<b>Q restante</b>	<b>Eficiencia</b>
<b>Longitudinal</b>	<b>Transversal</b>					
12%	4%	1	1.01	0.41	0.61	40%
			1.98	0.46	1.52	23%
			3.13	0.46	2.67	15%
			3.90	0.51	3.40	13%
12%	2%	1	0.82	0.33	0.49	40%
			1.88	0.44	1.44	23%
			2.94	0.45	2.49	15%
			4.10	0.49	3.61	12%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 68.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS1



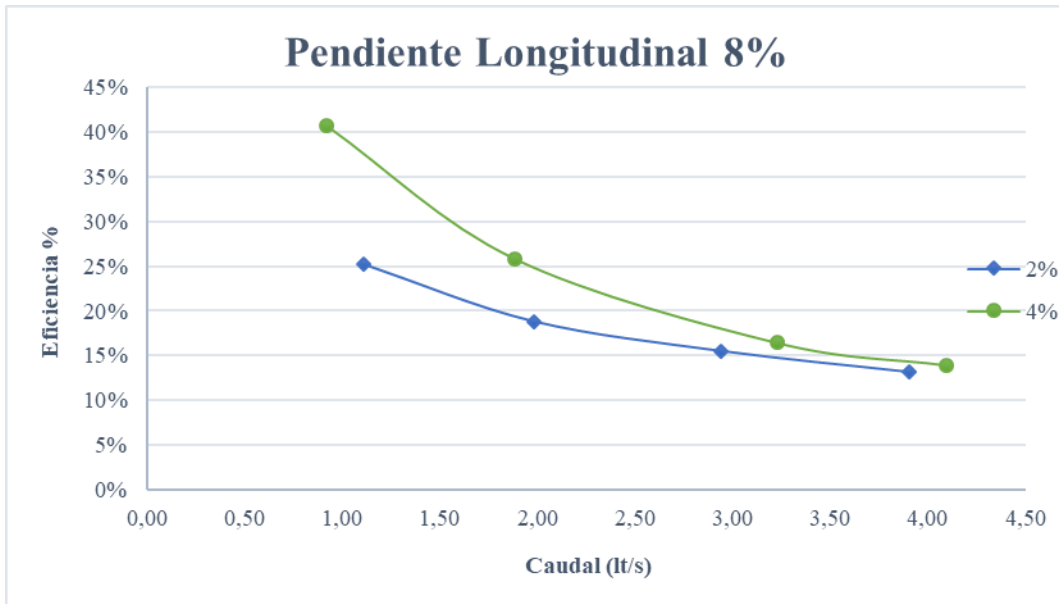
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 24.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	1	0.92	0.37	0.54	41%
			1.88	0.49	1.39	26%
			3.23	0.53	2.70	16%
			4.10	0.57	3.52	14%
8%	2%	1	1.11	0.28	0.83	25%
			1.98	0.37	1.60	19%
			2.94	0.46	2.48	15%
			3.90	0.51	3.39	13%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 69.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS1



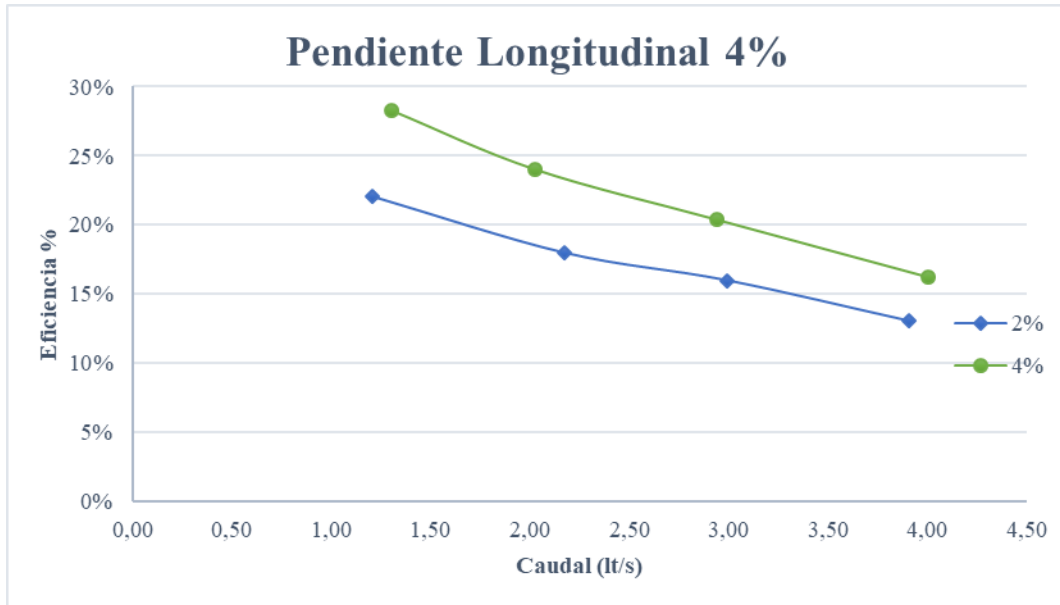
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 25.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	1	1.30	0.37	0.93	28%
			2.03	0.49	1.54	24%
			2.94	0.60	2.34	20%
			4.00	0.65	3.35	16%
4%	2%	1	1.21	0.27	0.94	22%
			2.17	0.39	1.78	18%
			2.99	0.48	2.51	16%
			3.90	0.51	3.39	13%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 70.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS1



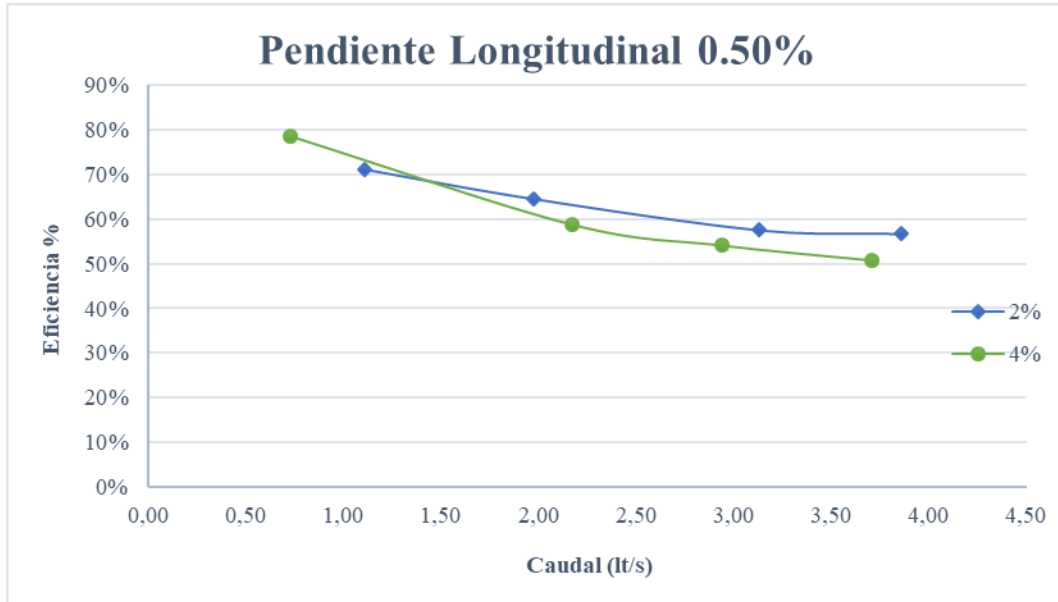
Realizado por: Milton Bustamante

**Tabla 26.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	1	0.73	0.57	0.15	79%
			2.17	1.28	0.89	59%
			2.94	1.59	1.35	54%
			3.71	1.88	1.83	51%
0.5%	2%	1	1.11	0.79	0.32	71%
			1.98	1.28	0.70	65%
			3.13	1.80	1.33	58%
			3.85	2.19	1.67	57%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 71.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS1



**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 68-71 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye, teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 79% en el escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

## **DOS SUMIDEROS**

En las tablas 27-30 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17 del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso ( $Q_{\text{ingreso}}$ ), caudal de captación ( $Q_{\text{captado}}$ ) y el caudal no receptado por los sumideros ( $Q_{\text{restante}}$ ).

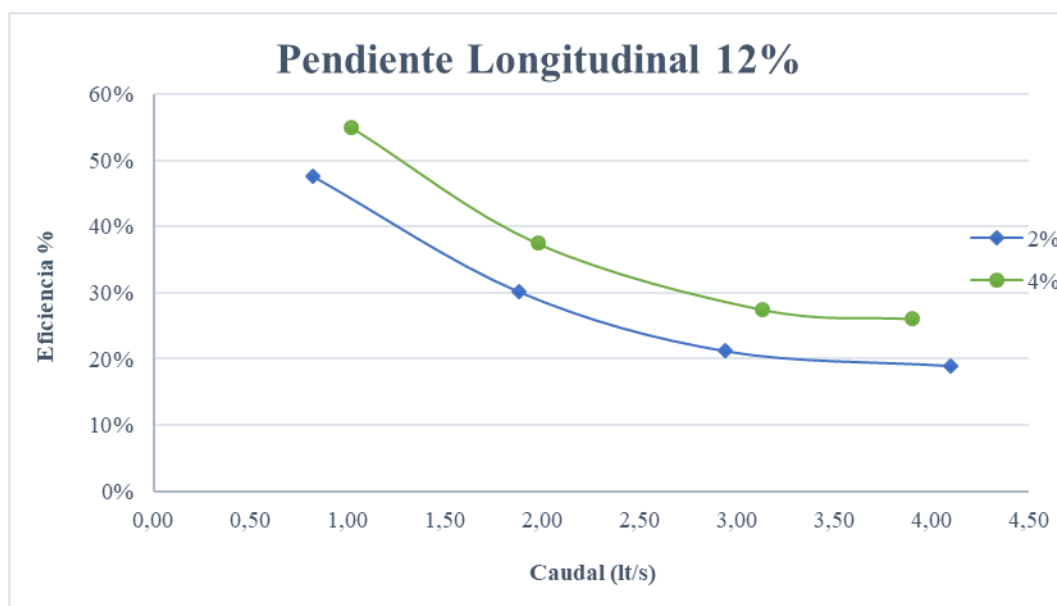
En las figuras 72-75 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante dos sumideros situados a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 27.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	2	1.01	0.56	0.46	55%
			1.98	0.74	1.24	37%
			3.13	0.86	2.27	27%
			3.90	1.02	2.89	26%
12%	2%	2	0.82	0.39	0.43	48%
			1.88	0.57	1.31	30%
			2.94	0.62	2.32	21%
			4.10	0.78	3.32	19%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 72.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS2



Realizado por: Milton Bustamante

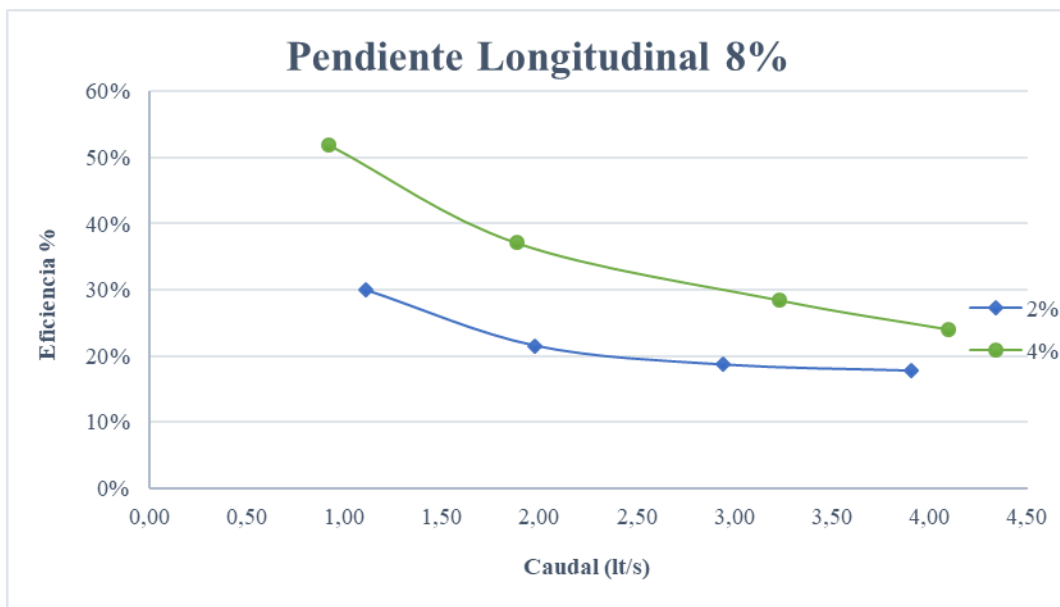
**Tabla 28.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	2	0.92	0.48	0.44	52%
			1.88	0.70	1.18	37%
			3.23	0.92	2.31	28%
			4.10	0.98	3.12	24%

8%	2%	2	1.11	0.33	0.78	30%
			1.98	0.43	1.55	22%
			2.94	0.55	2.39	19%
			3.90	0.69	3.21	18%

Realizado por: Milton Bustamante

Figura 73.- Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS2



Realizado por: Milton Bustamante

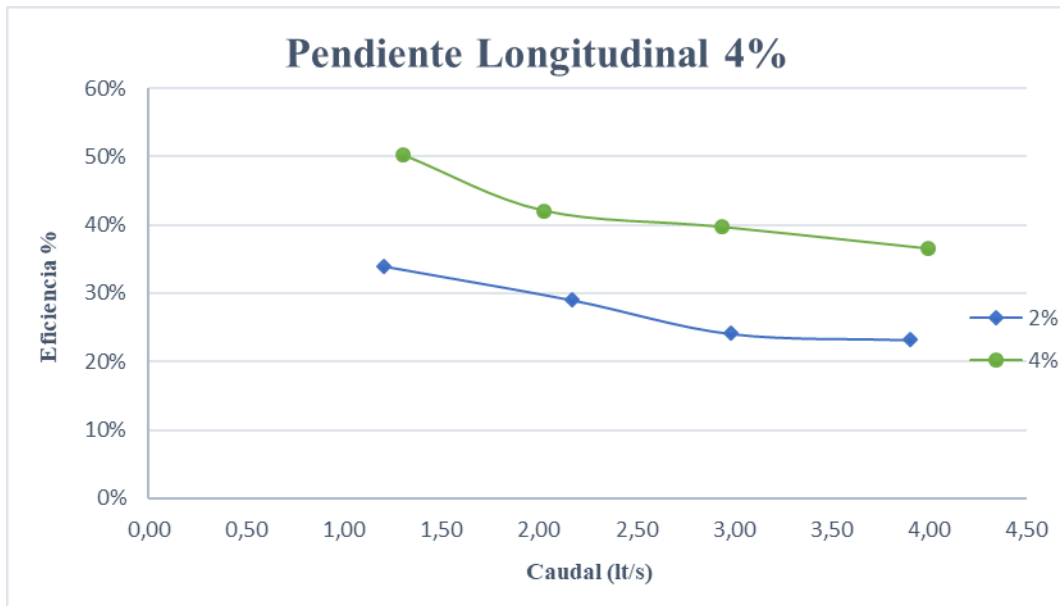
Tabla 29.- Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	2	1.30	0.65	0.65	50%
			2.03	0.85	1.17	42%
			2.94	1.17	1.77	40%
			4.00	1.46	2.54	37%

4%	2%	2	1.21	0.41	0.80	34%
			2.17	0.63	1.54	29%
			2.99	0.72	2.27	24%
			3.90	0.91	3.00	23%

Realizado por: Milton Bustamante

Figura 74.- Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS2



Realizado por: Milton Bustamante

Tabla 30.- Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS2

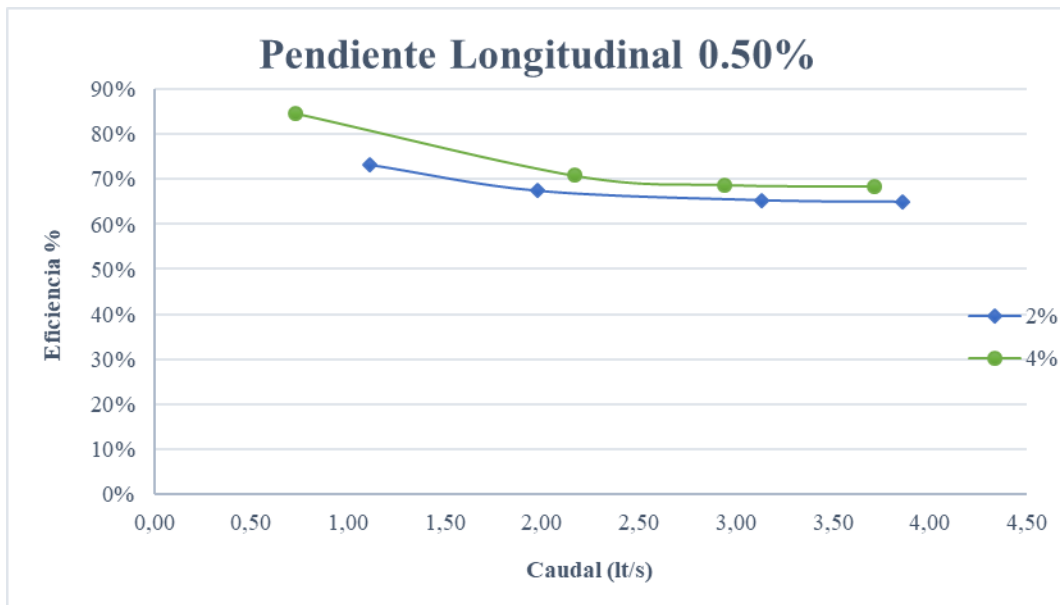
Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	2	0.73	0.61	0.11	84%
			2.17	1.54	0.63	71%
			2.94	2.02	0.92	69%
			3.71	2.54	1.17	68%



0.5%	2%	2	1.11	0.81	0.30	73%
			1.98	1.33	0.64	67%
			3.13	2.04	1.09	65%
			3.85	2.50	1.35	65%

Realizado por: Milton Bustamante

Figura 75.- Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS2



Realizado por: Milton Bustamante

En las figuras 72-75 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye, teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 84% en el escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

### TRES SUMIDEROS

En las tablas 31-34 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17 del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso (Q ingreso), caudal de captación (Q captado) y el caudal no receptado por los sumideros (Q restante).

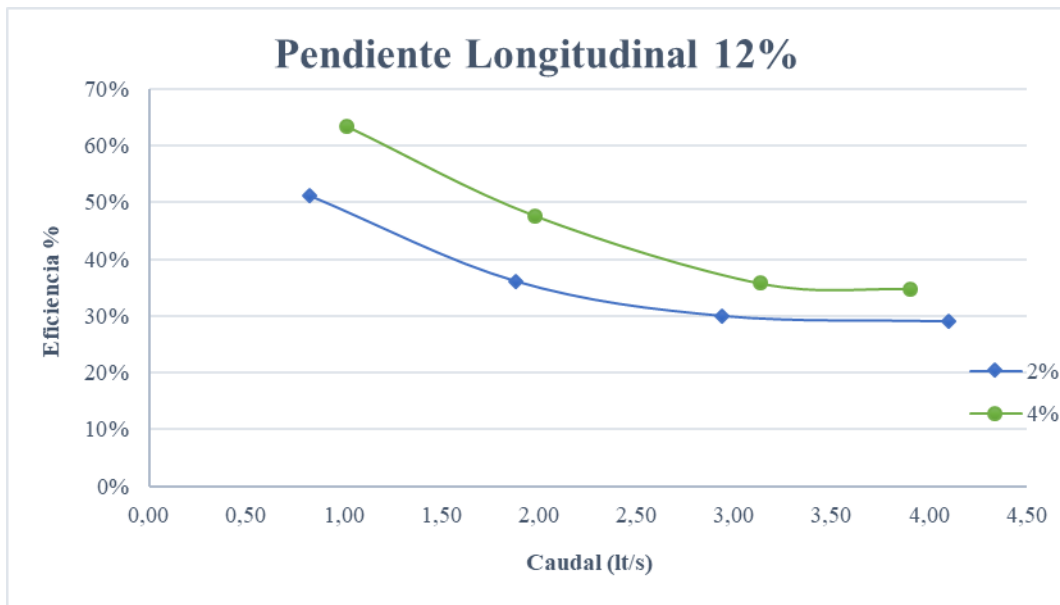
En las figuras 76-79 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante tres sumideros situados a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 31.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS3

<b>Pendientes</b>		<b>N° Sumideros</b>	<b>Q ingreso</b>	<b>Q captado</b>	<b>Q restante</b>	<b>Eficiencia</b>
<b>Longitudinal</b>	<b>Transversal</b>					
12%	4%	3	1.01	0.64	0.37	63%
			1.98	0.94	1.03	48%
			3.13	1.12	2.01	36%
			3.90	1.36	2.55	35%
12%	2%	3	0.82	0.42	0.40	51%
			1.88	0.68	1.20	36%
			2.94	0.88	2.06	30%
			4.10	1.19	2.91	29%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 76.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS3



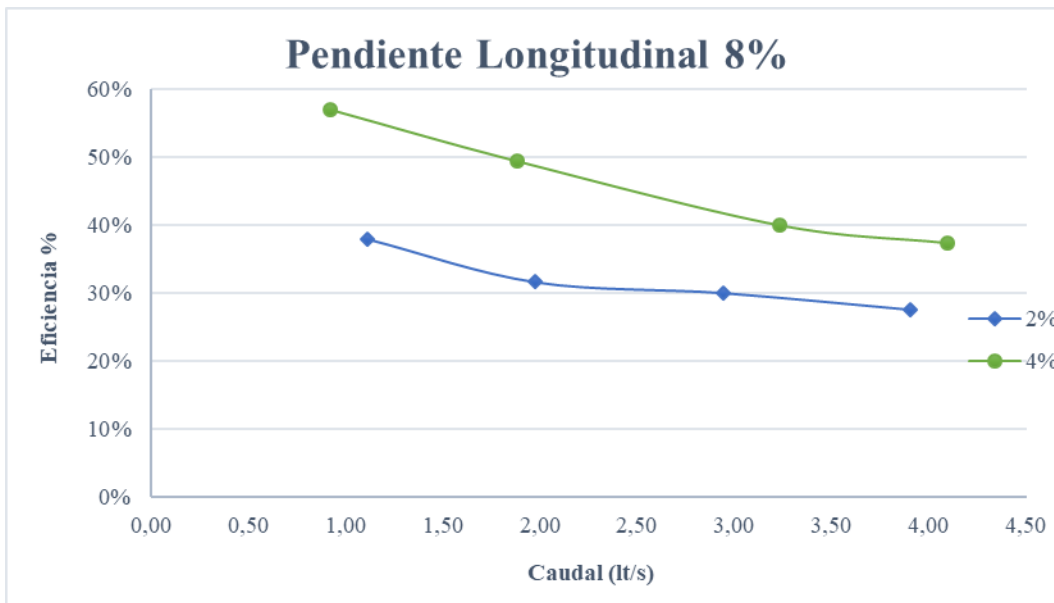
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 32.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	3	0.92	0.52	0.39	57%
			1.88	0.93	0.95	49%
			3.23	1.29	1.94	40%
			4.10	1.53	2.57	37%
8%	2%	3	1.11	0.42	0.69	38%
			1.98	0.63	1.35	32%
			2.94	0.88	2.06	30%
			3.90	1.08	2.82	28%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 77.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS3



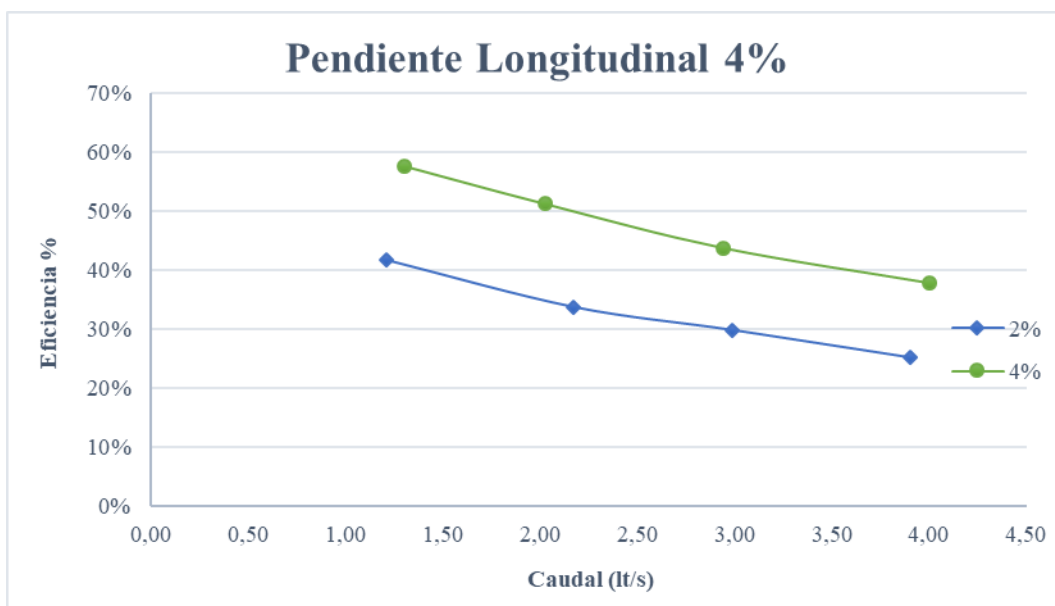
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 33.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	3	1.30	0.75	0.55	58%
			2.03	1.04	0.99	51%
			2.94	1.28	1.66	44%
			4.00	1.51	2.49	38%
4%	2%	3	1.21	0.50	0.70	42%
			2.17	0.73	1.44	34%
			2.99	0.89	2.10	30%
			3.90	0.98	2.92	25%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 78.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS3



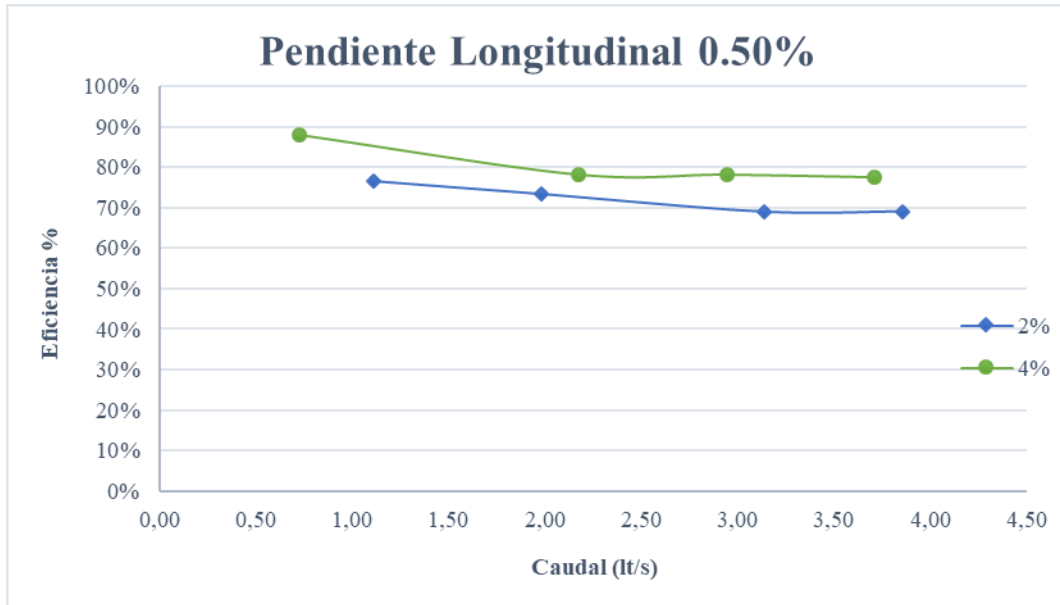
Realizado por: Milton Bustamante

**Tabla 34.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	3	0.73	0.64	0.09	88%
			2.17	1.70	0.47	78%
			2.94	2.30	0.64	78%
			3.71	2.88	0.83	78%
0.5%	2%	3	1.11	0.85	0.26	76%
			1.98	1.45	0.53	73%
			3.13	2.16	0.97	69%
			3.85	2.66	1.20	69%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 79.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS3



**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 76-79 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye, teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 88% en el escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

## **CUATRO SUMIDEROS**

En las tablas 35-38 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17 del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso ( $Q$  ingreso), caudal de captación ( $Q$  captado) y el caudal no receptado por los sumideros ( $Q$  restante).

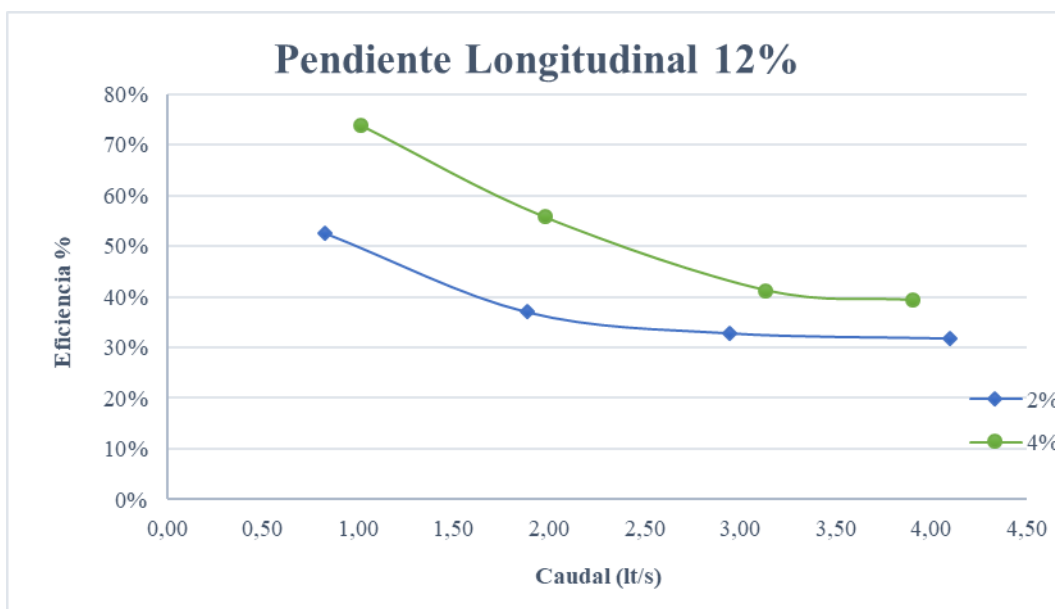
En las figuras 80-83 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante cuatro sumideros situados a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 35.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	4	1.01	0.75	0.26	74%
			1.98	1.10	0.88	56%
			3.13	1.29	1.84	41%
			3.90	1.53	2.37	39%
12%	2%	4	0.82	0.43	0.39	52%
			1.88	0.70	1.18	37%
			2.94	0.97	1.97	33%
			4.10	1.30	2.79	32%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 80.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - NS4



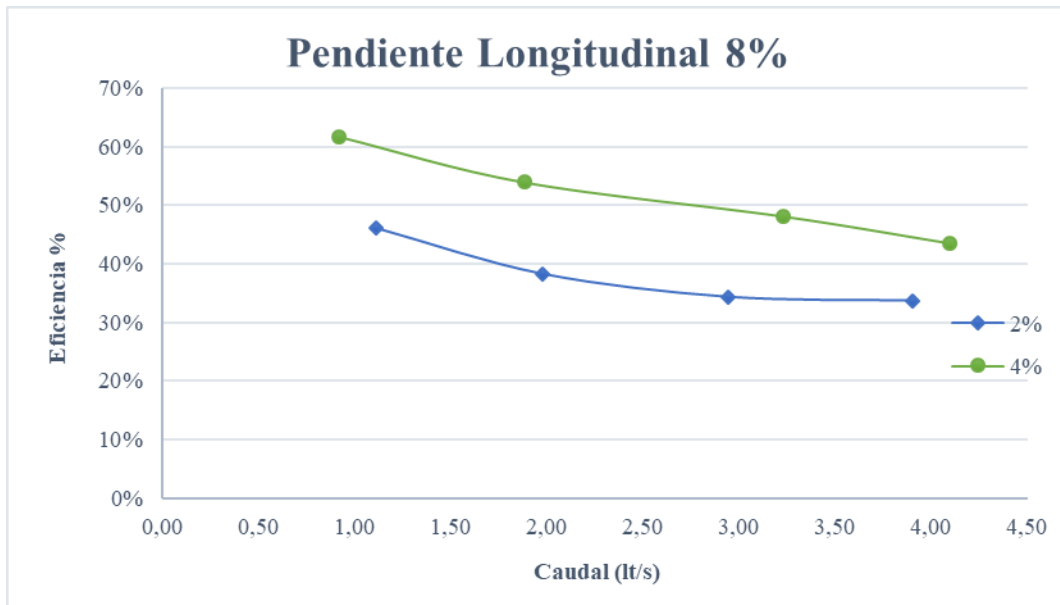
Realizado por: Milton Bustamante

**Tabla 36.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	4	0.92	0.57	0.35	62%
			1.88	1.01	0.87	54%
			3.23	1.55	1.68	48%
			4.10	1.78	2.31	44%
8%	2%	4	1.11	0.51	0.60	46%
			1.98	0.76	1.22	38%
			2.94	1.01	1.93	34%
			3.90	1.31	2.59	34%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 81-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - NS4



Realizado por: Milton Bustamante

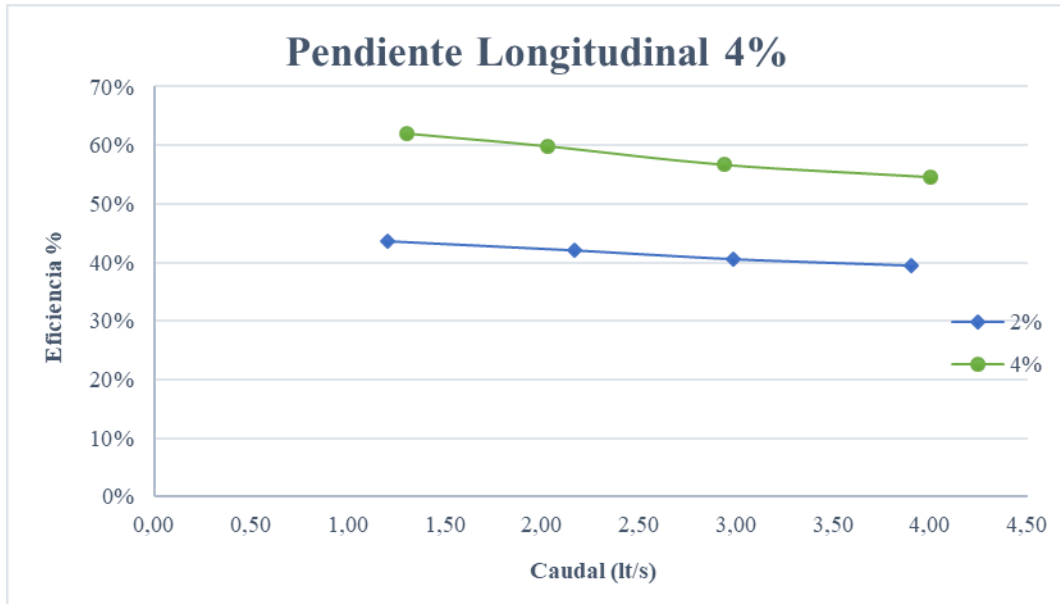


**Tabla 37.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	4	1.30	0.81	0.50	62%
			2.03	1.21	0.81	60%
			2.94	1.67	1.27	57%
			4.00	2.18	1.81	55%
4%	2%	4	1.21	0.53	0.68	44%
			2.17	0.91	1.26	42%
			2.99	1.21	1.77	41%
			3.90	1.54	2.36	40%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 82.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - NS4



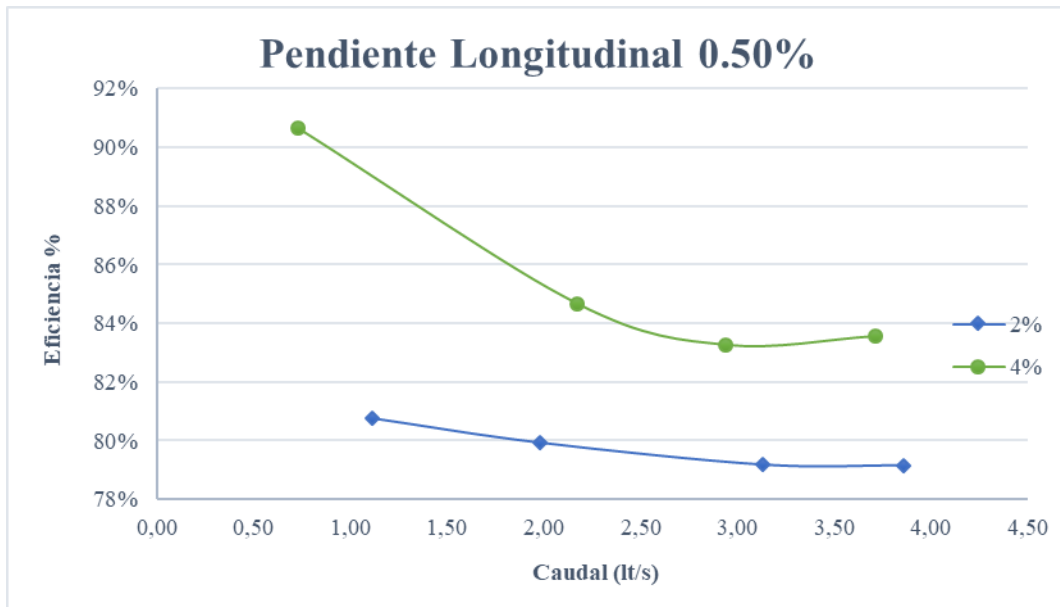
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 38.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	4	0.73	0.66	0.07	91%
			2.17	1.84	0.33	85%
			2.94	2.45	0.49	83%
			3.71	3.10	0.61	84%
0.5%	2%	4	1.11	0.90	0.21	81%
			1.98	1.58	0.40	80%
			3.13	2.48	0.65	79%
			3.85	3.05	0.80	79%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 83.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - NS4



Realizado por: Milton Bustamante

En las figuras 80-83 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye, teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 91% en el escenario de pendiente longitudinal 0.50% y transversal 4% respectivamente.

### 3.2.1.2. Sumideros con elevación.

#### UN SUMIDERO

En las tablas 39-42 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17 del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso (Q ingreso), caudal de captación (Q captado) y el caudal no receptado por los sumideros (Q restante).

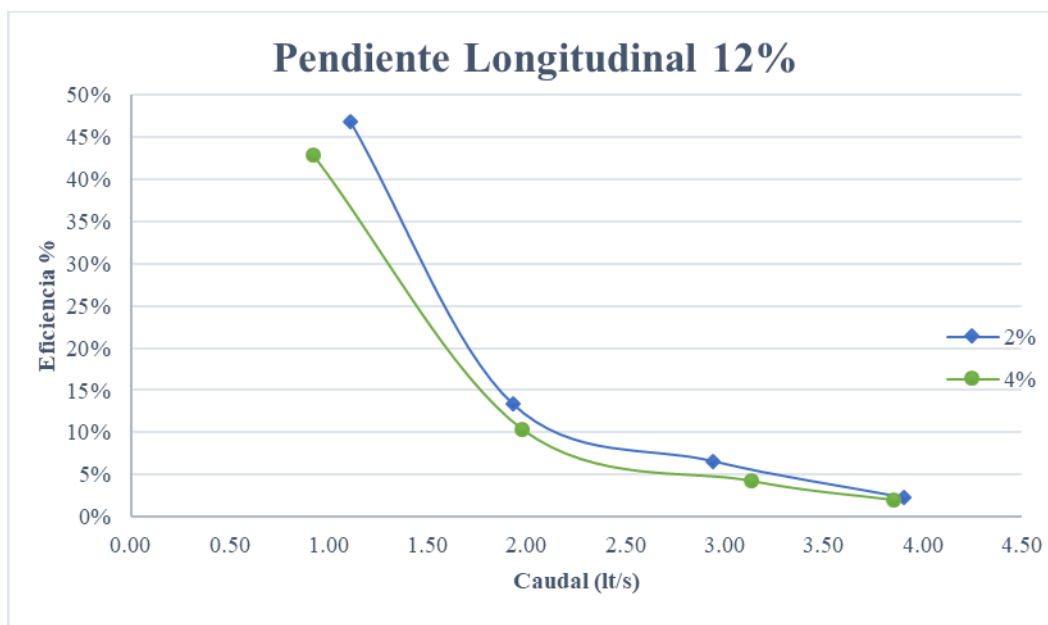
En las figuras 84-87 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante un solo sumidero situado a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 39.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	1	1.11	0.52	0.59	47%
			1.93	0.26	1.67	13%
			2.94	0.19	2.75	7%
			3.90	0.09	3.81	2%
12%	2%	1	0.92	0.39	0.52	43%
			1.98	0.20	1.77	10%
			3.13	0.13	3.00	4%
			3.85	0.07	3.78	2%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 84.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES1



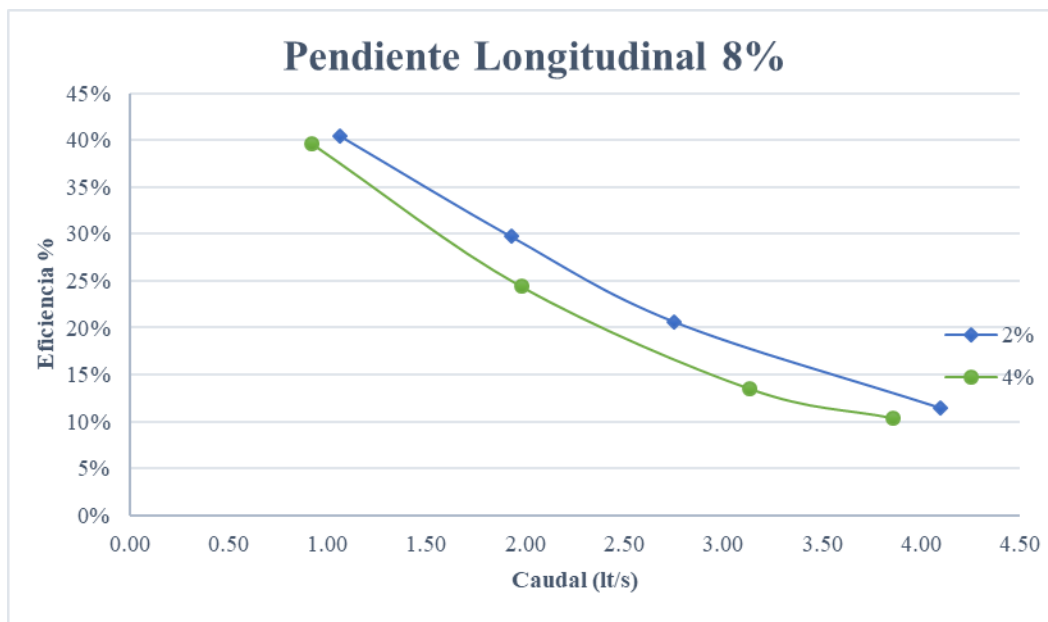
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 40.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	1	0.92	0.36	0.55	40%
			1.98	0.48	1.49	24%
			3.13	0.42	2.71	14%
			3.85	0.40	3.45	10%
8%	2%	1	1.06	0.43	0.63	40%
			1.93	0.57	1.36	30%
			2.75	0.57	2.18	21%
			4.10	0.47	3.63	11%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 85.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES1



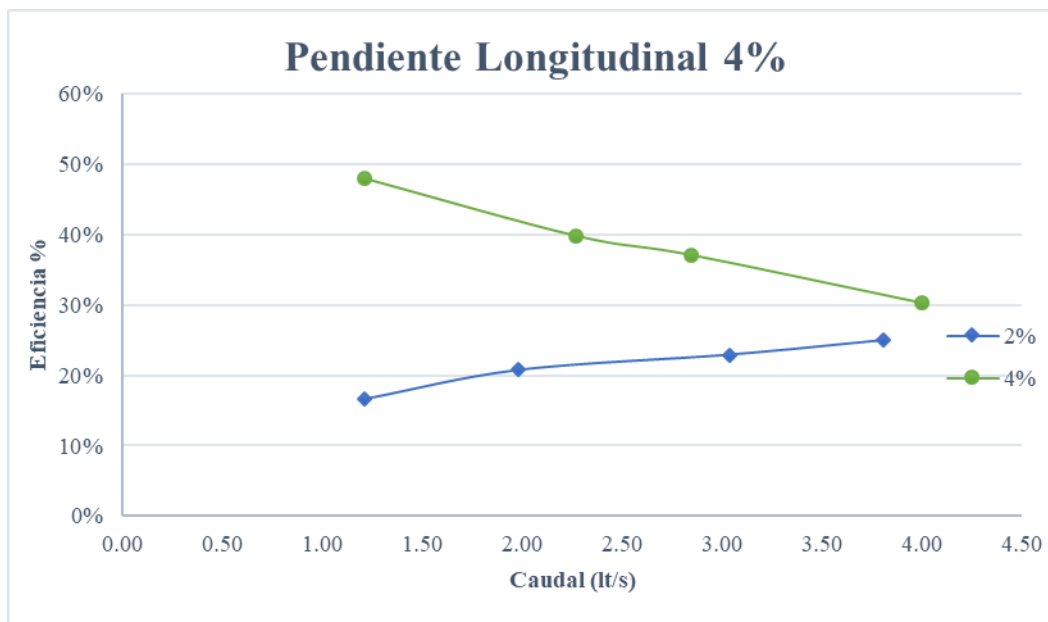
Realizado por: Milton Bustamante

**Tabla 41.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	1	1.21	0.58	0.63	48%
			2.27	0.90	1.36	40%
			2.84	1.05	1.79	37%
			4.00	1.21	2.79	30%
4%	2%	1	1.21	0.20	1.01	17%
			1.98	0.41	1.57	21%
			3.04	0.70	2.34	23%
			3.81	0.95	2.86	25%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 86.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES1



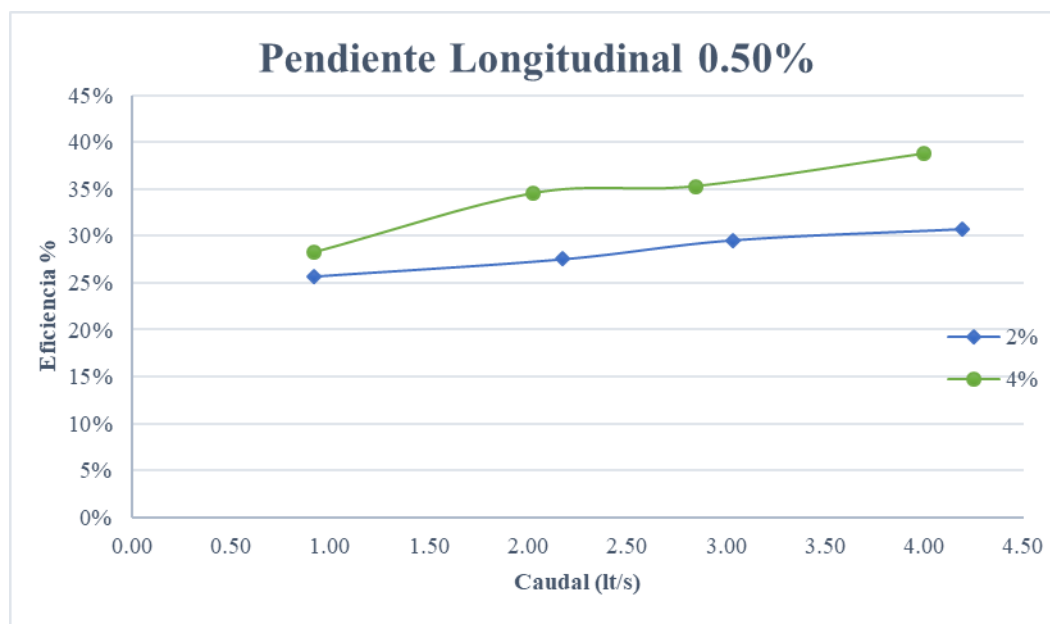
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 42.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	1	0.92	0.26	0.66	28%
			2.03	0.70	1.33	35%
			2.84	1.00	1.84	35%
			4.00	1.55	2.45	39%
0.5%	2%	1	0.92	0.24	0.68	26%
			2.17	0.60	1.57	28%
			3.04	0.90	2.14	30%
			4.19	1.29	2.91	31%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 87.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES1



**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 84-87 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye para la pendiente longitudinal de 12% y 8%, mientras que en las pendientes longitudinales 4% y 0.5% ocurre lo contrario, mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia de captación también aumenta de forma proporcional; teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 48% en el escenario de pendiente longitudinal 4% y transversal 4% respectivamente.

## **DOS SUMIDEROS**

En las tablas 43-46 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17 del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso ( $Q$  ingreso), caudal de captación ( $Q$  captado) y el caudal no receptado por los sumideros ( $Q$  restante).

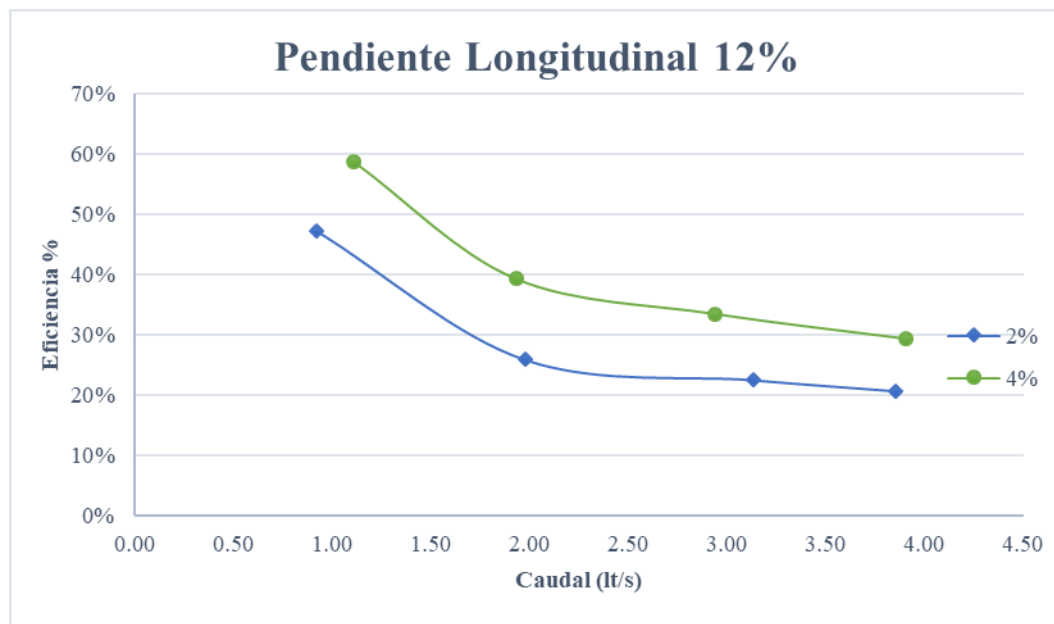
En las figuras 88-91 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante dos sumideros situado a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 43.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	2	1.11	0.65	0.46	59%
			1.93	0.76	1.17	39%
			2.94	0.99	1.95	34%
			3.90	1.15	2.75	29%
12%	2%	2	0.92	0.43	0.48	47%
			1.98	0.51	1.46	26%
			3.13	0.71	2.42	23%
			3.85	0.80	3.05	21%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 88.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES2



Realizado por: Milton Bustamante

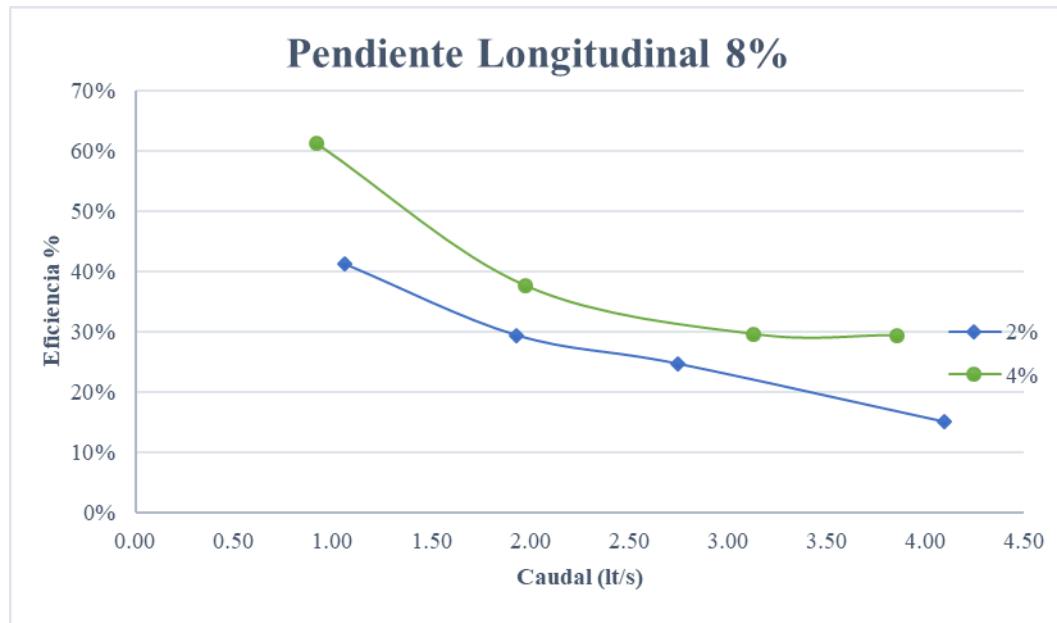


**Tabla 44.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	2	0.92	0.56	0.36	61%
			1.98	0.74	1.23	38%
			3.13	0.93	2.21	30%
			3.85	1.13	2.72	29%
8%	2%	2	1.06	0.44	0.62	41%
			1.93	0.57	1.36	29%
			2.75	0.68	2.07	25%
			4.10	0.61	3.48	15%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 89.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES2



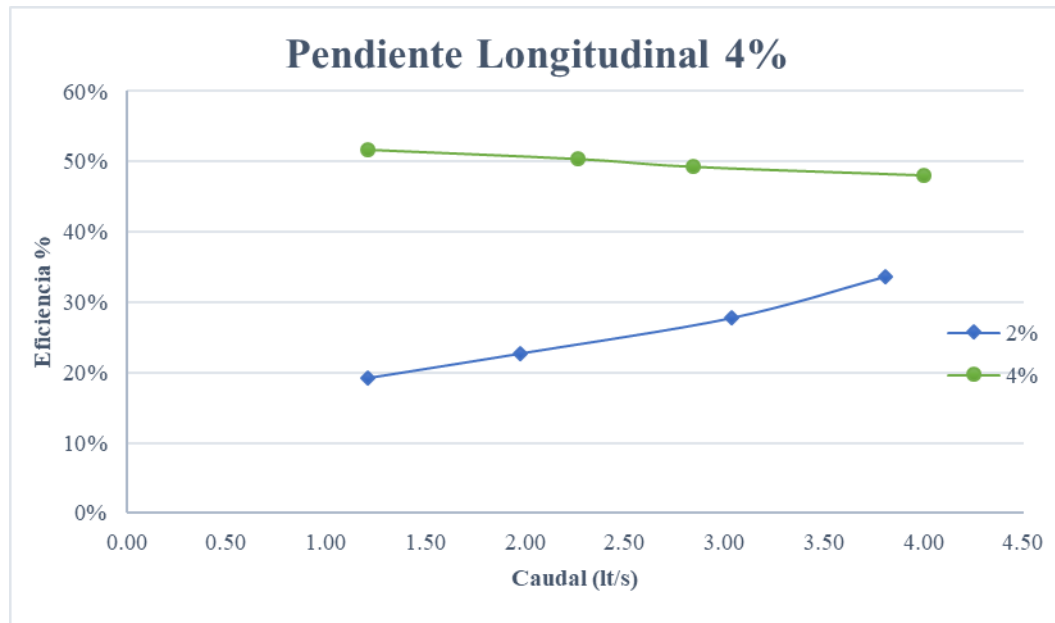
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 45.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	2	1.21	0.62	0.58	52%
			2.27	1.14	1.12	50%
			2.84	1.40	1.44	49%
			4.00	1.92	2.08	48%
4%	2%	2	1.21	0.23	0.98	19%
			1.98	0.45	1.53	23%
			3.04	0.84	2.19	28%
			3.81	1.28	2.53	34%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 90.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES2



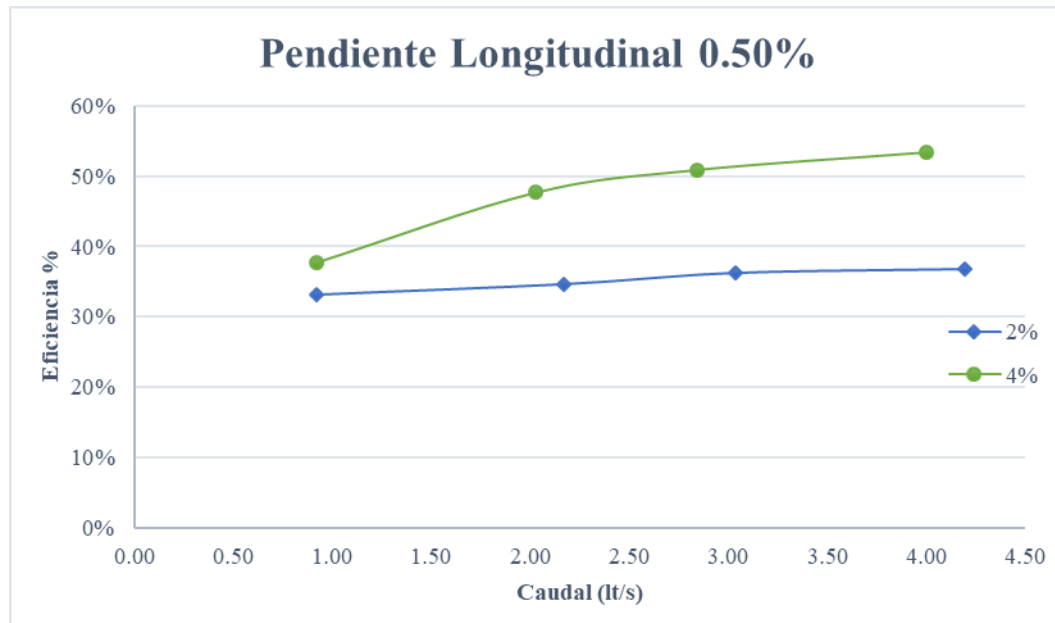
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 46.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	2	0.92	0.35	0.57	38%
			2.03	0.97	1.06	48%
			2.84	1.45	1.40	51%
			4.00	2.14	1.86	53%
0.5%	2%	2	0.92	0.30	0.61	33%
			2.17	0.75	1.42	35%
			3.04	1.10	1.93	36%
			4.19	1.54	2.65	37%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 91.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES2



**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 88-91 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye para la pendiente longitudinal de 12% y 8%, mientras que en las

pendientes longitudinales 4% y 0.5% ocurre lo contrario, mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia de captación también aumenta de forma proporcional; teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 61% en el escenario de pendiente longitudinal 8% y transversal 4% respectivamente.

### TRES SUMIDEROS

En las tablas 47-50 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17 del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso (Q ingreso), caudal de captación (Q captado) y el caudal no receptado por los sumideros (Q restante).

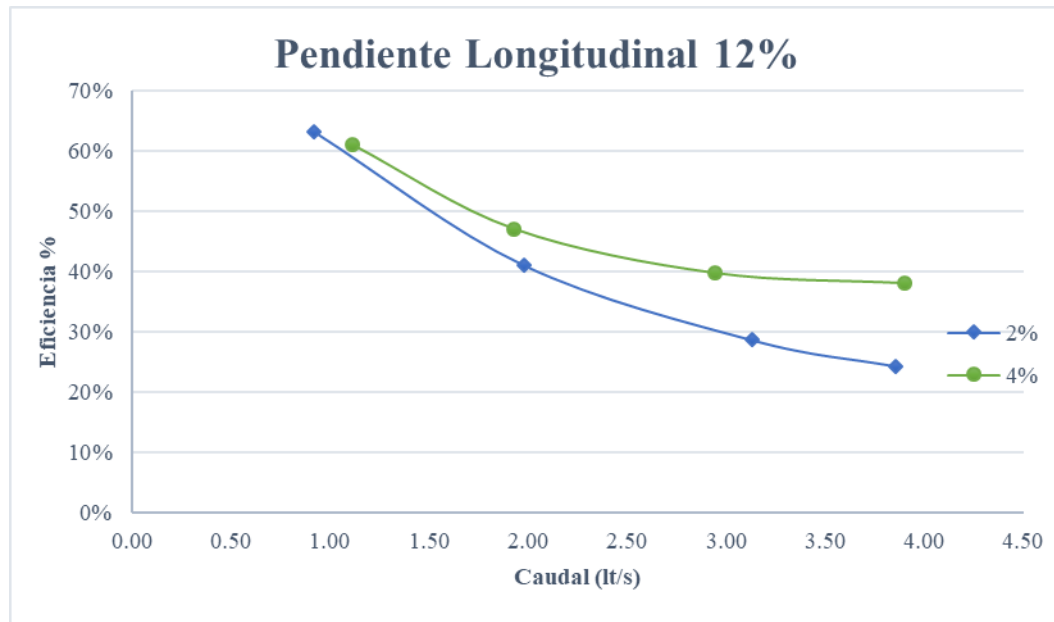
En las figuras 92-95 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante tres sumideros situado a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 47.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	3	1.11	0.68	0.43	61%
			1.93	0.91	1.02	47%
			2.94	1.17	1.77	40%
			3.90	1.49	2.41	38%
12%	2%	3	0.92	0.58	0.34	63%
			1.98	0.81	1.16	41%
			3.13	0.90	2.23	29%
			3.85	0.94	2.91	24%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 92.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES3



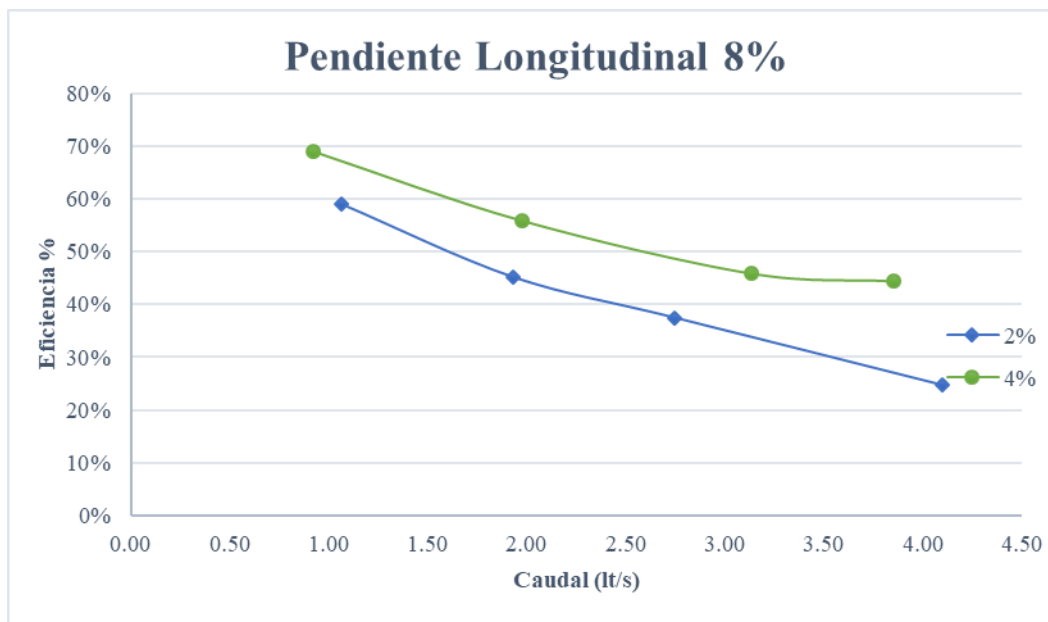
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 48.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	3	0.92	0.63	0.28	69%
			1.98	1.10	0.87	56%
			3.13	1.44	1.70	46%
			3.85	1.71	2.15	44%
8%	2%	3	1.06	0.63	0.44	59%
			1.93	0.87	1.06	45%
			2.75	1.03	1.72	37%
			4.10	1.01	3.08	25%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 93.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES3



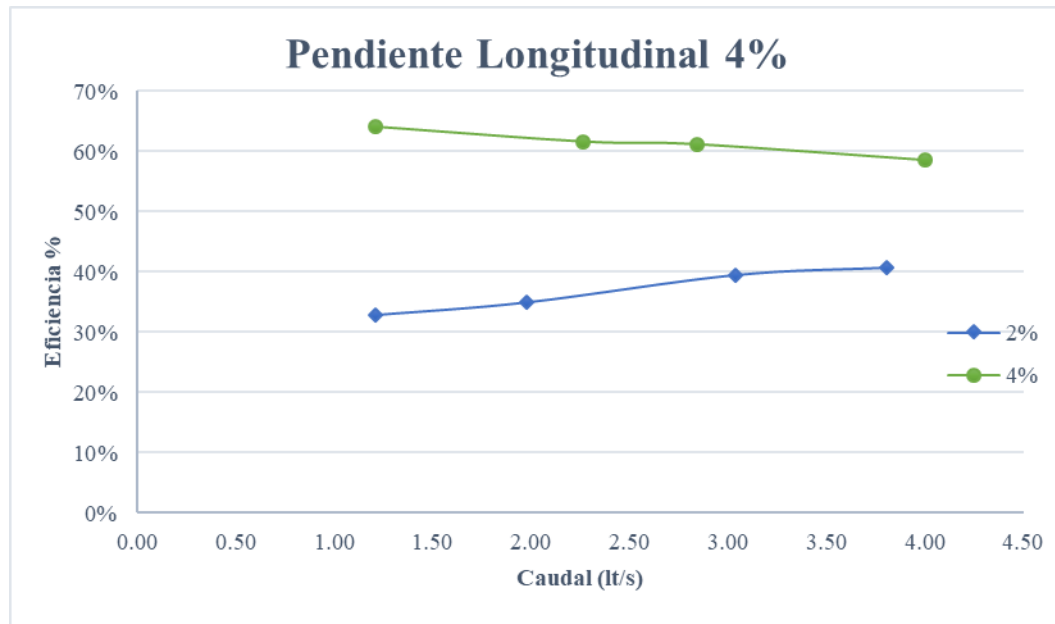
Realizado por: Milton Bustamante

**Tabla 49.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	3	1.21	0.77	0.43	64%
			2.27	1.40	0.87	62%
			2.84	1.74	1.11	61%
			4.00	2.34	1.66	59%
4%	2%	3	1.21	0.40	0.81	33%
			1.98	0.69	1.29	35%
			3.04	1.20	1.84	39%
			3.81	1.55	2.26	41%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 94.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES3



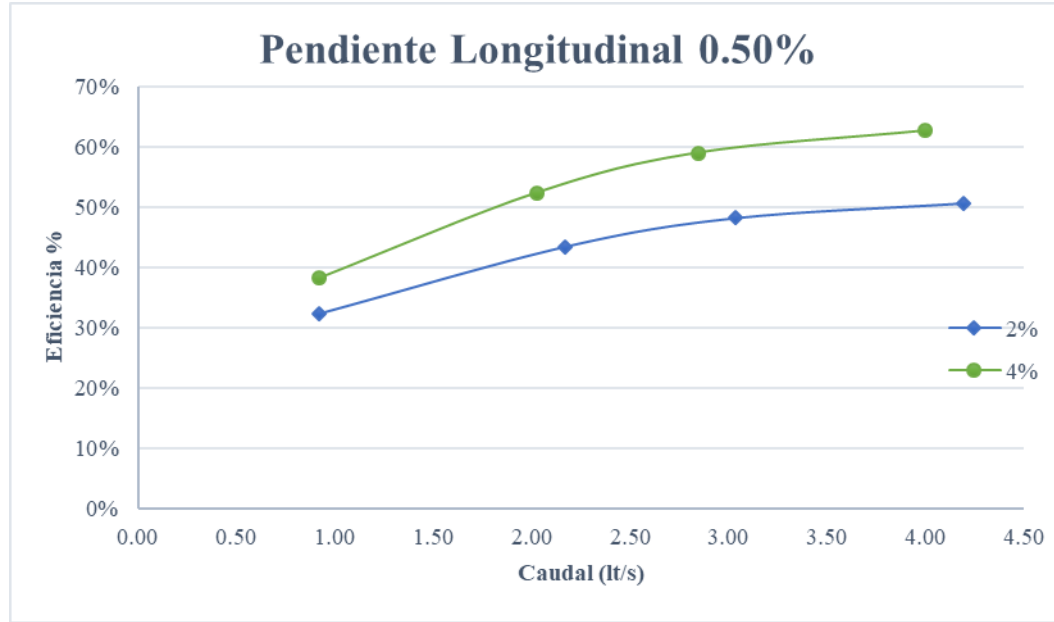
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 50.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	3	0.92	0.35	0.57	38%
			2.03	1.06	0.96	52%
			2.84	1.68	1.17	59%
			4.00	2.50	1.49	63%
0.5%	2%	3	0.92	0.30	0.62	32%
			2.17	0.94	1.23	43%
			3.04	1.46	1.57	48%
			4.19	2.12	2.07	51%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 95.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES3



**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 92-95 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye para la pendiente longitudinal de 12% y 8%, mientras que en las pendientes longitudinales 4% y 0.5% ocurre lo contrario, mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia de captación también aumenta de forma proporcional; teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 69% en el escenario de pendiente longitudinal 8% y transversal 4% respectivamente.

### **TRES SUMIDEROS**

En las tablas 51-54 presentadas a continuación, se muestran los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 17 del capítulo II. En las tablas se puede observar los valores de caudal de ingreso ( $Q$  ingreso), caudal de captación ( $Q$  captado) y el caudal no receptado por los sumideros ( $Q$  restante).



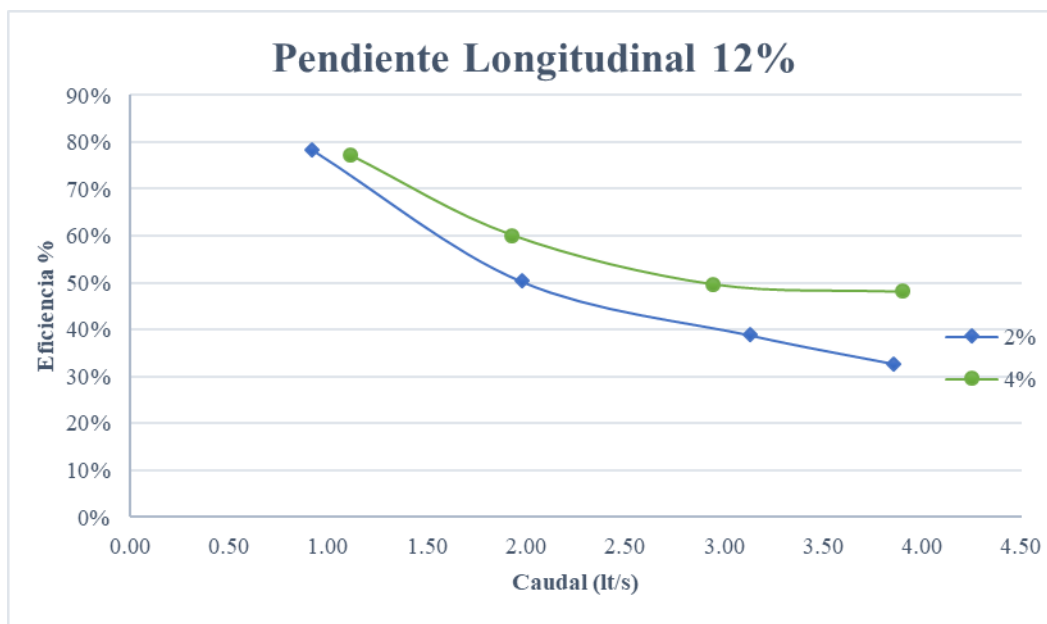
En las figuras 96-99 presentadas a continuación, se muestran los valores de captación hidráulica mediante tres sumideros situado a nivel del modelo, y la eficiencia representada en porcentaje.

**Tabla 51.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	4	1.11	0.86	0.25	77%
			1.93	1.16	0.77	60%
			2.94	1.46	1.48	50%
			3.90	1.88	2.02	48%
12%	2%	4	0.92	0.72	0.20	78%
			1.98	0.99	0.98	50%
			3.13	1.22	1.92	39%
			3.85	1.26	2.59	33%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 96.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 12% - ES4



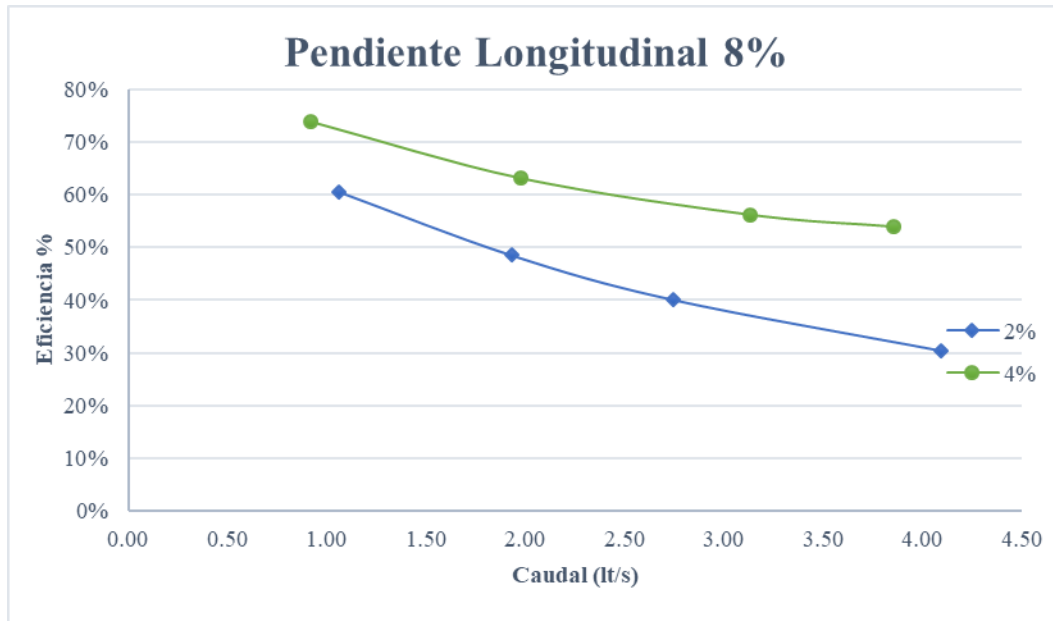
Realizado por: Milton Bustamante

**Tabla 52.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	4	0.92	0.68	0.24	74%
			1.98	1.25	0.73	63%
			3.13	1.76	1.37	56%
			3.85	2.08	1.78	54%
8%	2%	4	1.06	0.64	0.42	61%
			1.93	0.94	0.99	49%
			2.75	1.10	1.65	40%
			4.10	1.25	2.85	30%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 97.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 8% - ES4



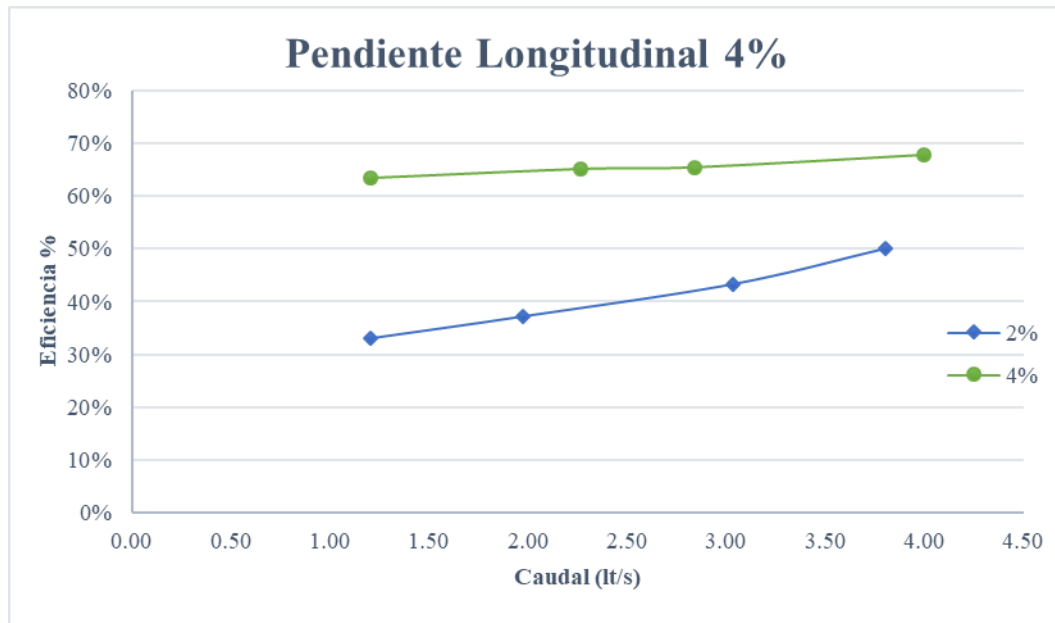
**Realizado por:** Milton Bustamante

**Tabla 53.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	4	1.21	0.76	0.44	63%
			2.27	1.48	0.79	65%
			2.84	1.86	0.98	65%
			4.00	2.71	1.29	68%
4%	2%	4	1.21	0.40	0.81	33%
			1.98	0.74	1.24	37%
			3.04	1.32	1.72	43%
			3.81	1.91	1.90	50%

Realizado por: Milton Bustamante

**Figura 98.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 4% - ES4



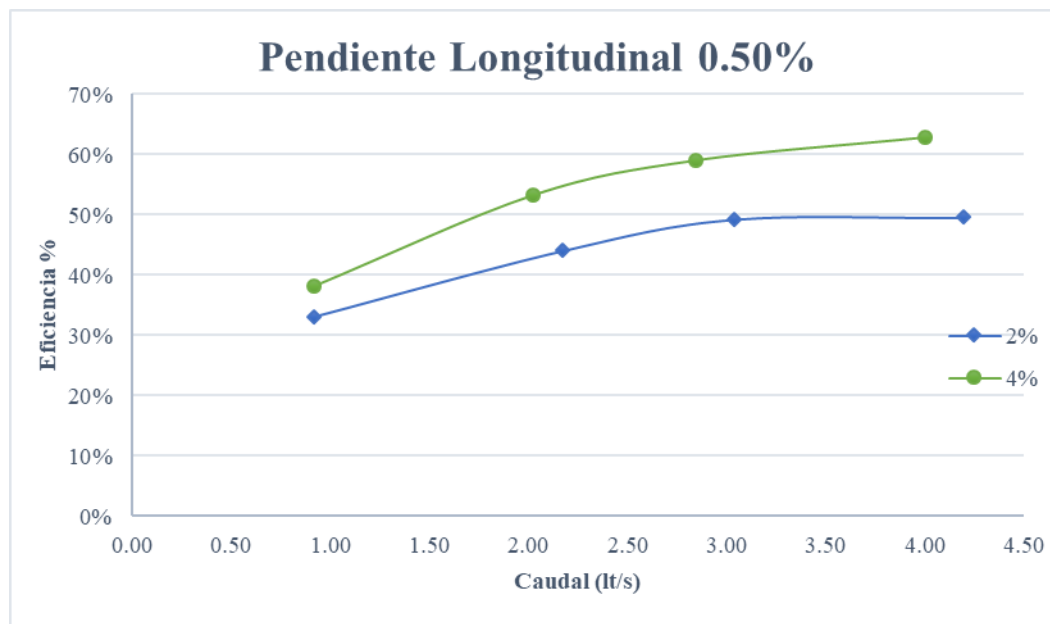
Realizado por: Milton Bustamante

**Tabla 54.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Q ingreso	Q captado	Q restante	Eficiencia
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	4	0.92	0.35	0.57	38%
			2.03	1.08	0.95	53%
			2.84	1.68	1.16	59%
			4.00	2.52	1.48	63%
0.5%	2%	4	0.92	0.30	0.61	33%
			2.17	0.96	1.21	44%
			3.04	1.50	1.54	49%
			4.19	2.08	2.11	50%

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 99.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Transversal 2% - 4% - Pendiente Longitudinal 0.5% - ES4



**Realizado por:** Milton Bustamante

En las figuras 96-99 se observa que mientras el caudal de ingreso incrementa la eficiencia de captación disminuye para la pendiente longitudinal de 12% y 8%, mientras que en las pendientes longitudinales 4% y 0.5% ocurre lo contrario, mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia de captación también aumenta de forma proporcional; teniendo como el resultado de mayor eficiencia un valor de 78% en el escenario de pendiente longitudinal 12% y transversal 2% respectivamente.

### **3.2.2. Eficiencia en relación con el Caudal de ingreso**

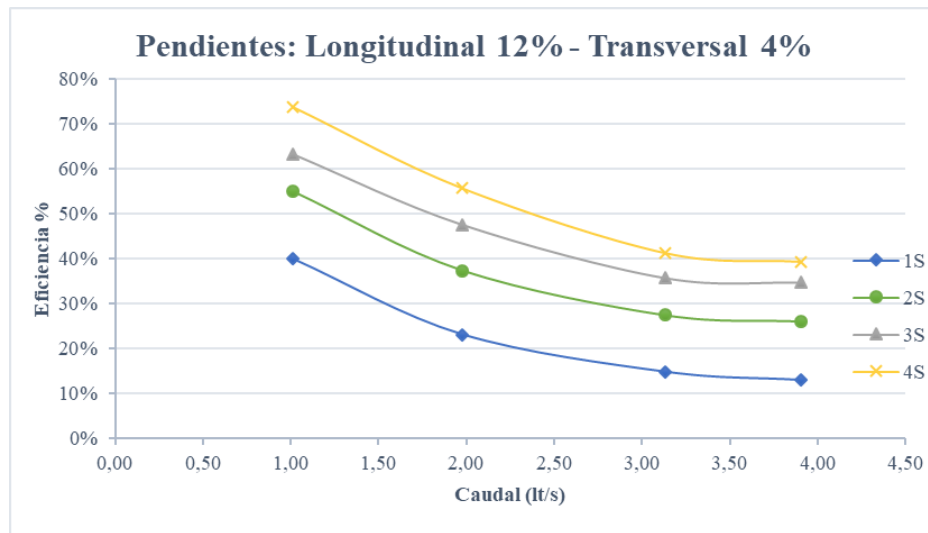
En base al análisis de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio de los caudales de ingreso y los caudales de captación, se ha calculado los valores de eficiencia de captación para cada uno de los escenarios y combinaciones antes señaladas por medio de la siguiente fórmula:

$$E = \frac{Q \text{ captado}}{Q \text{ ingreso}} * 100$$

#### **3.2.2.1. Sumideros con Nivel 0+00**

En las figuras de la 84-91 presentadas a continuación, se observa el caudal captado en relación con el caudal de ingreso de la vía en unidades de litros sobre segundos, para un sumidero, dos, tres y cuatro sumideros.

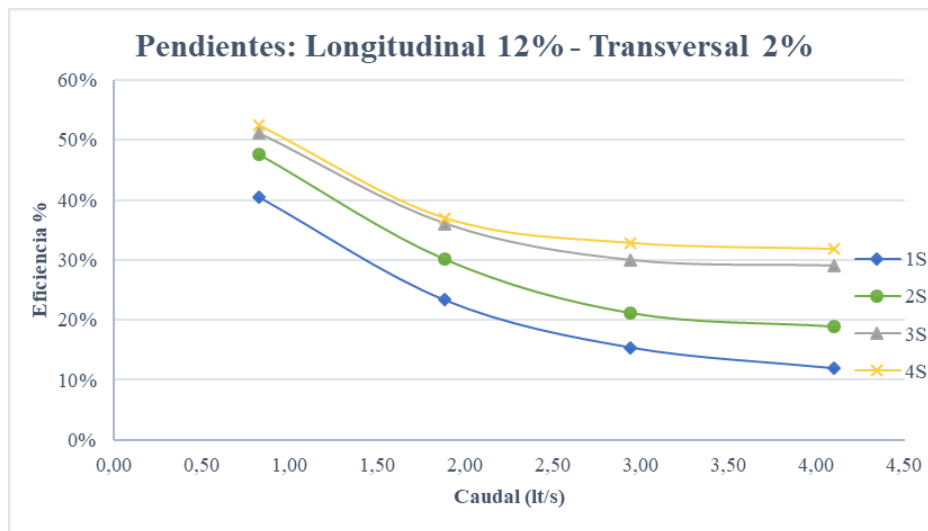
**Figura 100.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - NTS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 84 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.01 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 40% y para cuatro sumideros el 74%.

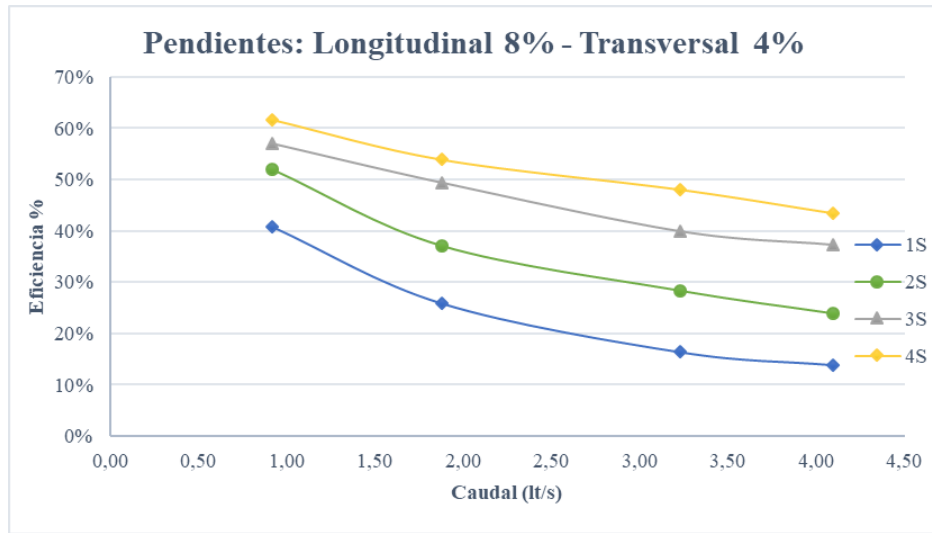
**Figura 101.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - NTS



**Realizado por:** Milton Bustamante.

En la figura 85 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.88 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 23% y para cuatro sumideros el 37%.

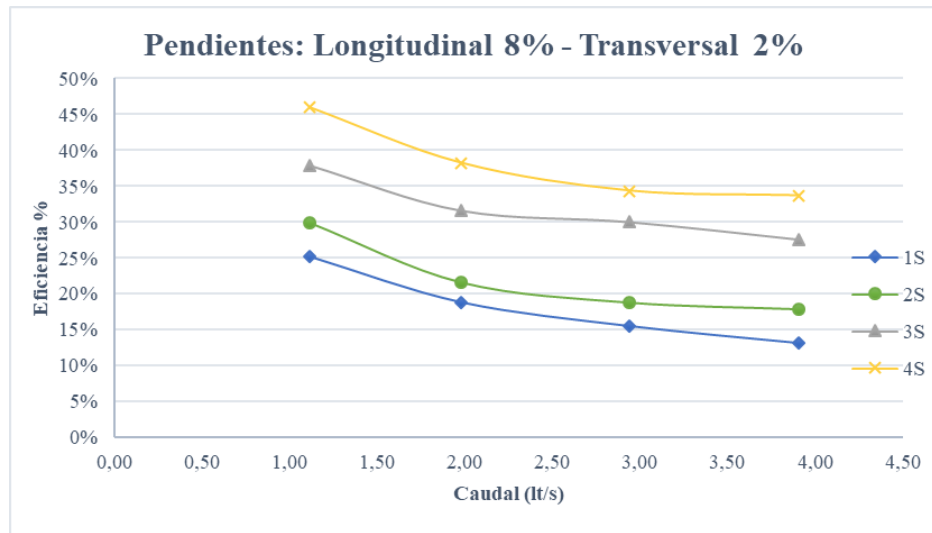
**Figura 102.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 86 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.23 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 16% y para cuatro sumideros el 48%.

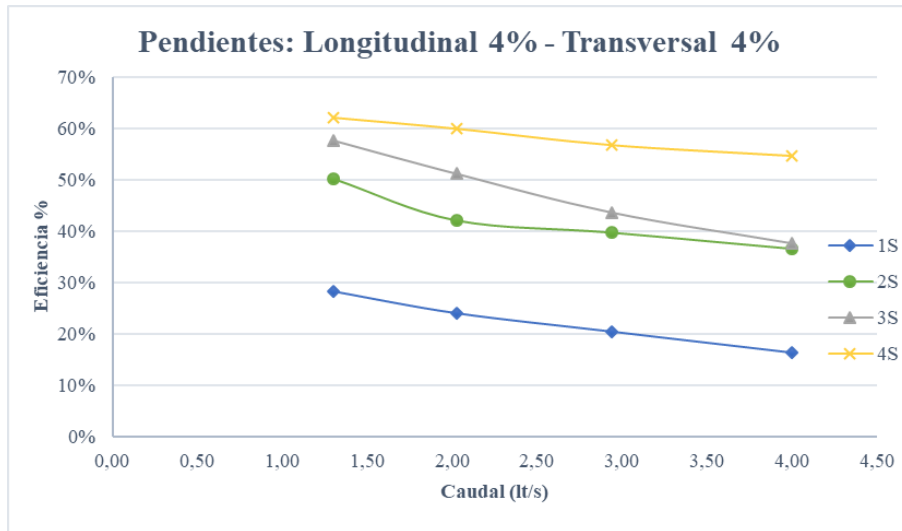
**Figura 103.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - NTS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 87 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.90 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 13% y para cuatro sumideros el 34%.

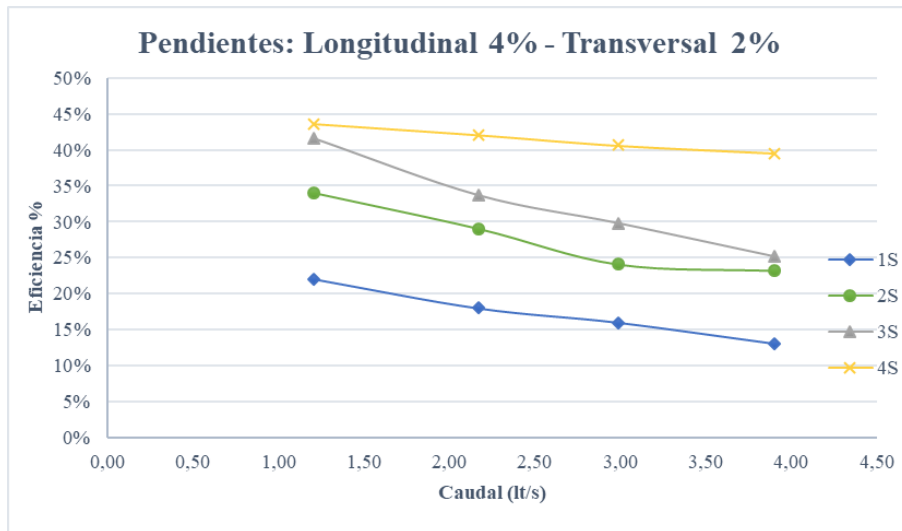
**Figura 104.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - NTS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 88 se puede observar que para un caudal de ingreso de 4.00 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 16% y para cuatro sumideros el 55%.

**Figura 105.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - NTS

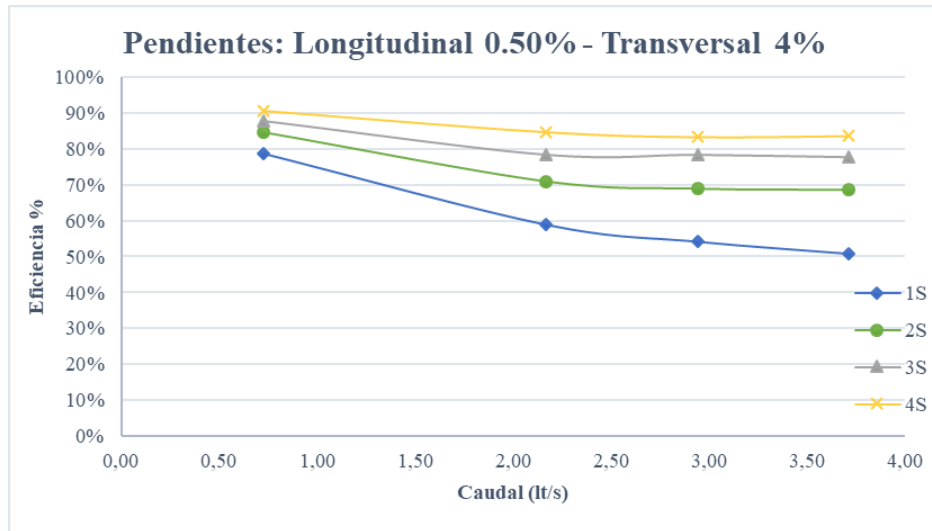


**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 89 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.21 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 22% y para cuatro sumideros el 44%.



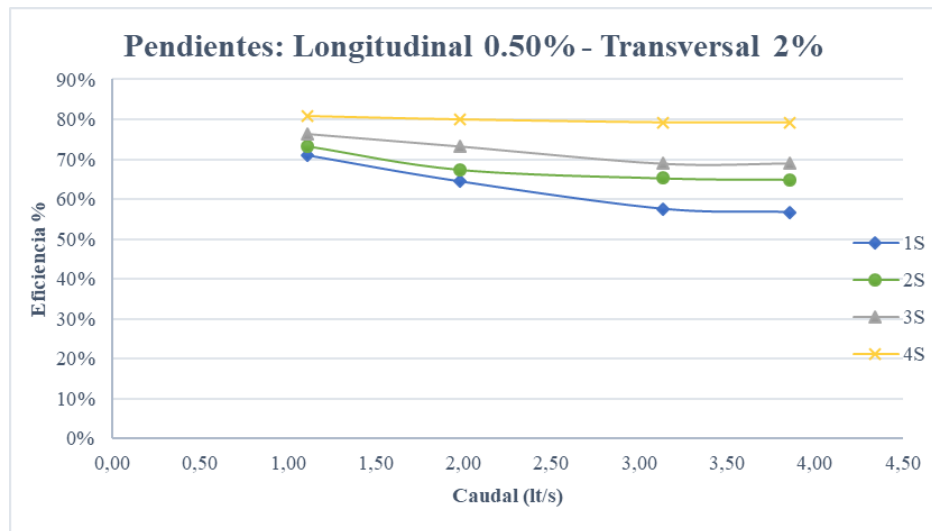
**Figura 106.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - NTS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 90 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.71 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 51% y para cuatro sumideros el 84%.

**Figura 107.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - NTS



**Realizado por:** Milton Bustamante

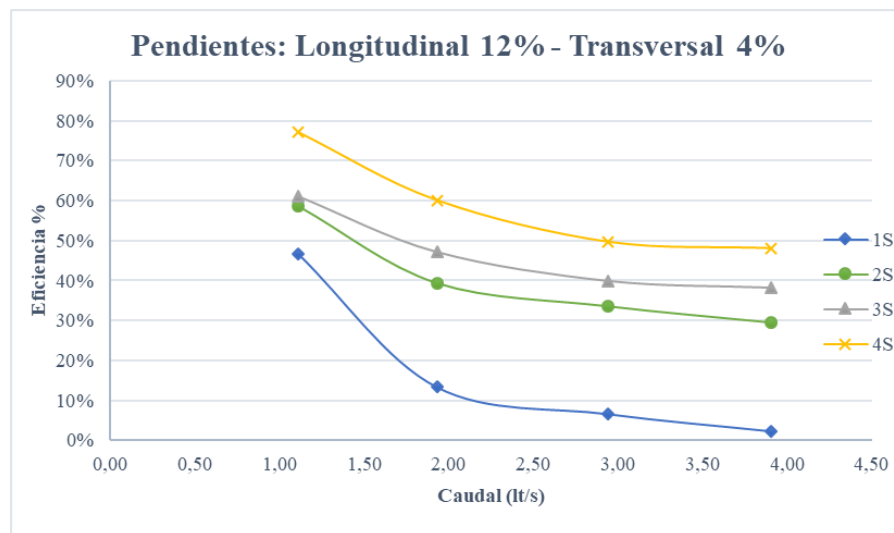
En la figura 91 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.11 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 71% y para cuatro sumideros el 81%.

Se concluye de manera general que el escenario más eficiente es el que presenta 4 sumideros, dentro de las figuras 84-91 el escenario más eficiente de 4 sumideros se encuentra en la pendiente longitudinal 0.5% y transversal 4% con una eficiencia de 91%.

### 3.2.2.2. Sumideros con elevación

En las figuras de la 92-99 presentadas a continuación, se observa el caudal captado en relación con el caudal de ingreso de la vía en unidades de litros sobre segundos, para un sumidero, dos, tres y cuatro sumideros.

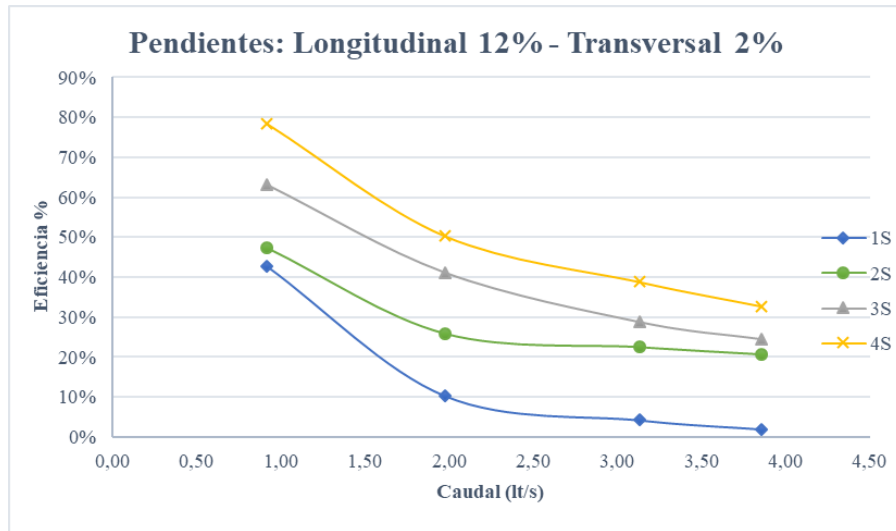
**Figura 108.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 92 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.11 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 47% y para cuatro sumideros el 77%.

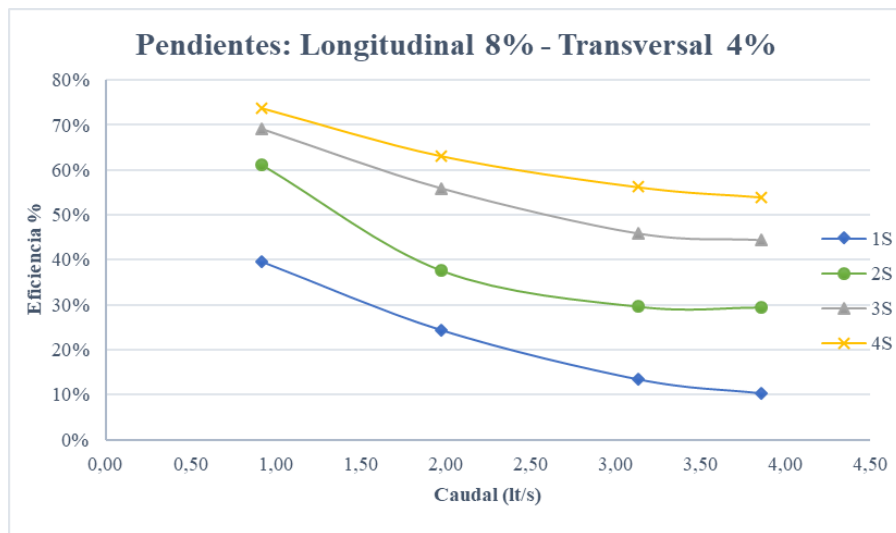
**Figura 109.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 93 se puede observar que para un caudal de ingreso de 1.98 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 10% y para cuatro sumideros el 50%.

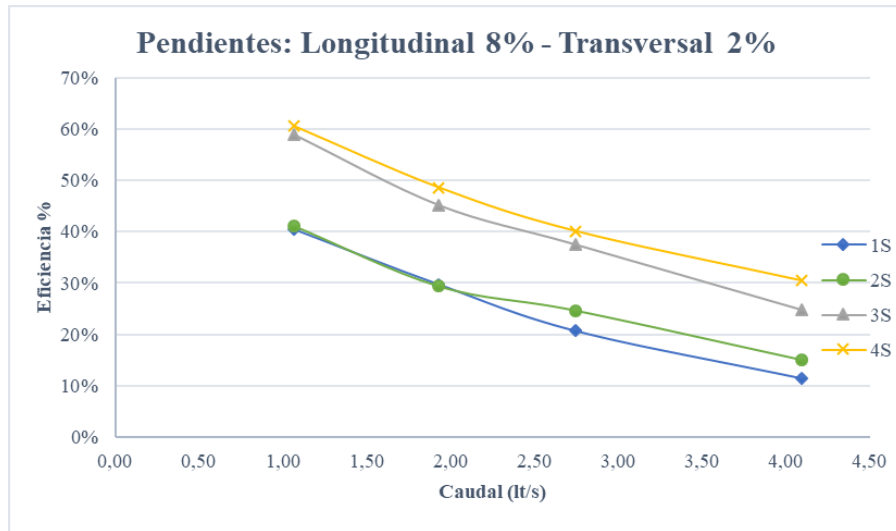
**Figura 110.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 94 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.13 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 14% y para cuatro sumideros el 56%.

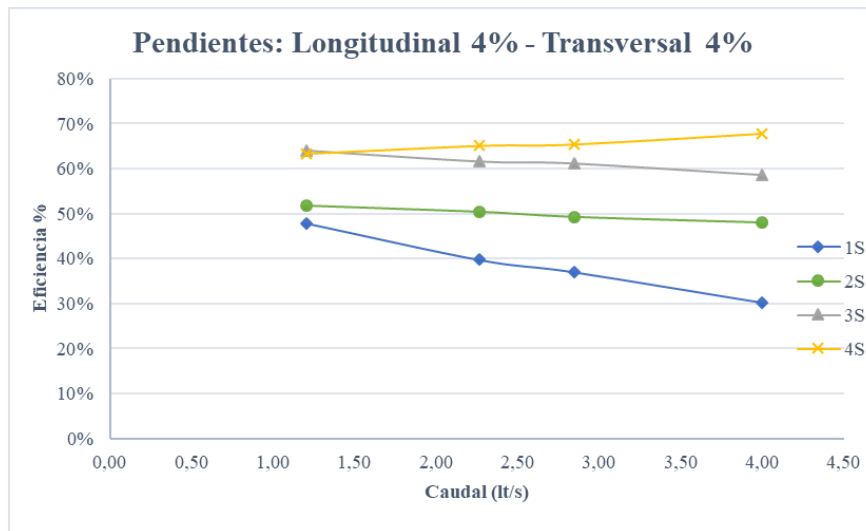
**Figura 111.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2% - ETST



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 95 se puede observar que para un caudal de ingreso de 4.10 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 11% y para cuatro sumideros el 30%.

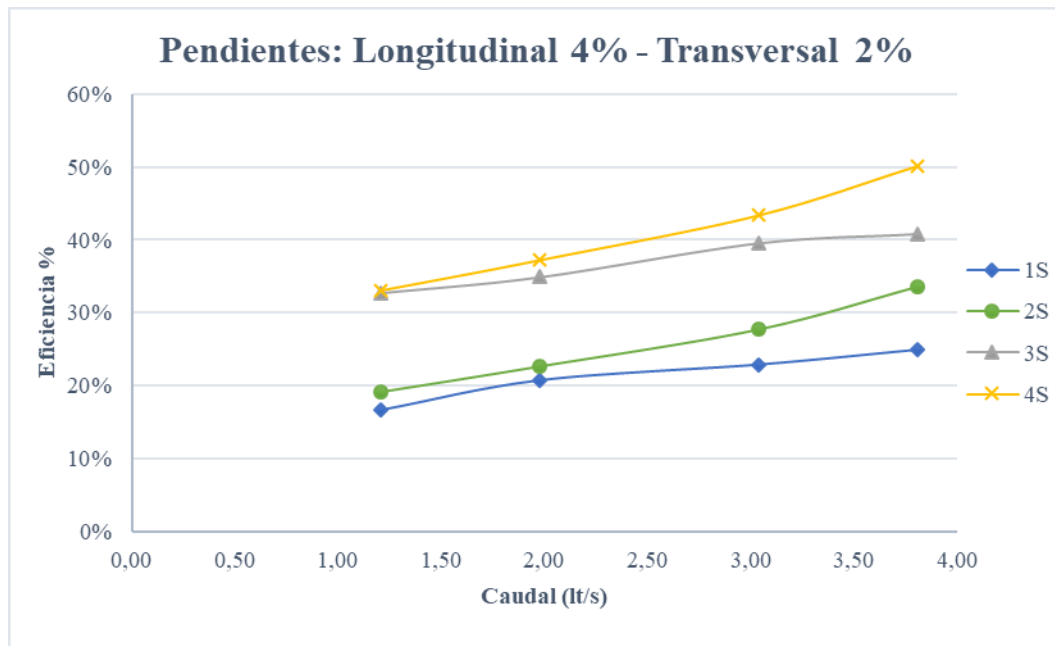
**Figura 112.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4% - ETS



**Realizado por:** Milton Bustamante

En la figura 96 se puede observar que para un caudal de ingreso de 4.00 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 30% y para cuatro sumideros el 68%.

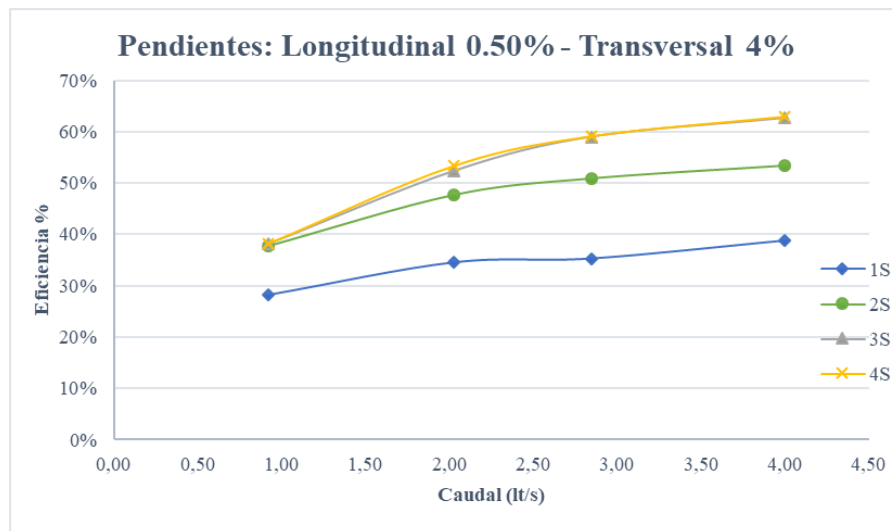
**Figura 113.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 97 se puede observar que para un caudal de ingreso de 3.81 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 25% y para cuatro sumideros el 50%.

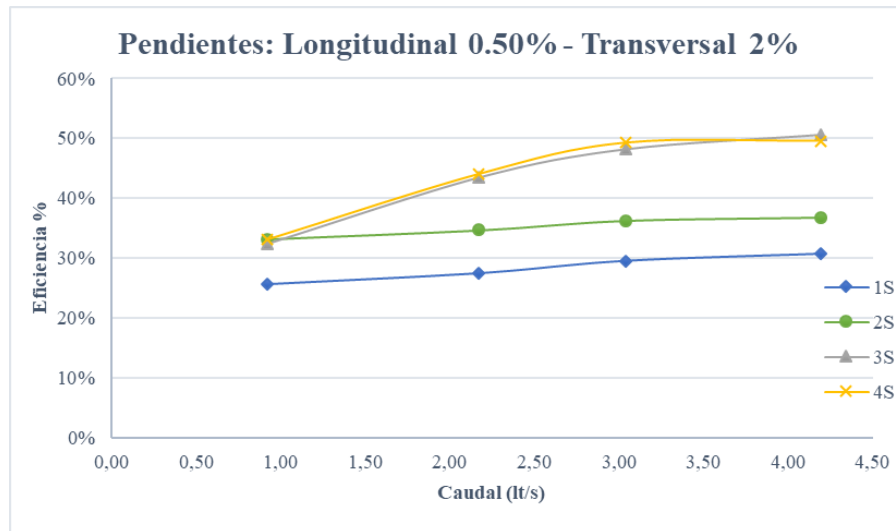
**Figura 114.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 98 se puede observar que para un caudal de ingreso de 0.92 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 28% y para cuatro sumideros el 38%.

**Figura 115.-** Eficiencia vs Caudal - Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2% - ETS



Realizado por: Milton Bustamante

En la figura 99 se puede observar que para un caudal de ingreso de 2.17 lt/s con un sumidero se presenta una eficiencia del 28% y para cuatro sumideros el 44%.

Se concluye de manera general que el escenario más eficiente es el que presenta 4 sumideros, dentro de las figuras 92-99 el escenario más eficiente de 4 sumideros se encuentra en la pendiente longitudinal 12% y transversal 2% con una eficiencia de 78%.

### 3.3. Comparación entre el escenario en nivel 0+00 y escenario con elevación.

#### Un sumidero.

Mayor eficiencia presenta el escenario en nivel N 0+00, la máxima eficiencia es de 79% en la pendiente 0.5% - 4%. El escenario con elevación presenta una eficiencia máxima de 48% con pendiente 4% - 4% siendo menor que el escenario en nivel 0+00.

### **Dos sumideros.**

Mayor eficiencia presenta el escenario en nivel 0+00, la máxima eficiencia es de 73% en la pendiente 0.5% - 2%. El escenario con elevación presenta una eficiencia máxima de 61% con pendiente 8% - 4%, siendo menor que el escenario en nivel 0+00.

### **Tres sumideros.**

Mayor eficiencia presenta el escenario en nivel 0+00, la máxima eficiencia es de 88% en la pendiente 0.5% - 4%. El escenario con elevación presenta una eficiencia máxima de 69% con pendiente 8% - 4%, siendo menor que el escenario en nivel 0+00.

### **Cuatro sumideros.**

Mayor eficiencia presenta el escenario en nivel 0+00, la máxima eficiencia es de 91% en la pendiente 0.5% - 4%. El escenario con elevación presenta una eficiencia máxima de 78% con pendiente 12% - 2%, siendo menor que el escenario en nivel 0+00.

## **3.4. Coeficientes de ajuste alfa, beta y R<sup>2</sup>**

De la recopilación de datos de caudal de ingreso y caudal de captación es posible determinar mediante la ecuación  $y = \beta * Q^{-\alpha}$  de la función potencial los coeficientes de ajuste. Estos coeficientes son importantes para lograr estimar la eficiencia de los diferentes escenarios establecidos en este proyecto de investigación.

### 3.4.1. Escenario en nivel 0+00

**Tabla 55.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - NS1

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.723$ $\beta = -0.190$ $R^2 = 0.987$	$\alpha = 0.244$ $\beta = -0.426$ $R^2 = 0.965$	$\alpha = 0.267$ $\beta = -0.517$ $R^2 = 0.999$	$\alpha = 0.470$ $\beta = -0.855$ $R^2 = 0.998$
i = 4%	$\alpha = 0.722$ $\beta = -0.268$ $R^2 = 0.999$	$\alpha = 0.330$ $\beta = -0.484$ $R^2 = 0.974$	$\alpha = 0.391$ $\beta = -0.725$ $R^2 = 0.996$	$\alpha = 0.357$ $\beta = -0.763$ $R^2 = 0.995$

**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 39 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con un sumidero al nivel del modelo.

**Tabla 56.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - NS2

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.734$ $\beta = -0.099$ $R^2 = 0.944$	$\alpha = 0.366$ $\beta = -0.344$ $R^2 = 0.966$	$\alpha = 0.302$ $\beta = -0.420$ $R^2 = 0.962$	$\alpha = 0.425$ $\beta = -0.592$ $R^2 = 0.991$
i = 4%	$\alpha = 0.803$ $\beta = -0.136$ $R^2 = 0.970$	$\alpha = 0.529$ $\beta = -0.273$ $R^2 = 0.966$	$\alpha = 0.503$ $\beta = -0.508$ $R^2 = 0.995$	$\alpha = 0.552$ $\beta = -0.576$ $R^2 = 0.992$

**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 40 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con dos sumideros al nivel del modelo.



**Tabla 57.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - NS3

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.773$ $\beta = -0.09$ $R^2 = 0.966$	$\alpha = 0.457$ $\beta = -0.416$ $R^2 = 0.983$	$\alpha = 0.385$ $\beta = -0.244$ $R^2 = 0.977$	$\alpha = 0.467$ $\beta = -0.370$ $R^2 = 0.975$
i = 4%	$\alpha = 0.850$ $\beta = -0.079$ $R^2 = 0.936$	$\alpha = 0.643$ $\beta = -0.378$ $R^2 = 0.983$	$\alpha = 0.568$ $\beta = -0.29$ $R^2 = 0.977$	$\alpha = 0.641$ $\beta = -0.470$ $R^2 = 0.985$

**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 41 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con tres sumideros al nivel del modelo.

**Tabla 58.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - NS4

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.465$ $\beta = -0.258$ $R^2 = 0.965$	$\alpha = 0.446$ $\beta = -0.084$ $R^2 = 0.979$	$\alpha = 0.809$ $\beta = -0.017$ $R^2 = 0.98$	$\alpha = 0.478$ $\beta = -0.322$ $R^2 = 0.957$
i = 4%	$\alpha = 0.612$ $\beta = -0.224$ $R^2 = 0.978$	$\alpha = 0.643$ $\beta = -0.115$ $R^2 = 0.9846$	$\alpha = 0.888$ $\beta = -0.054$ $R^2 = 0.962$	$\alpha = 0.752$ $\beta = -0.490$ $R^2 = 0.987$

**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 42 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con cuatro sumideros al nivel del modelo.

### 3.4.2. Escenario con elevación

**Tabla 59.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - ES1

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.258$ $\beta = 0.116$ $R^2 = 0.958$	$\alpha = 0.159$ $\beta = 0.340$ $R^2 = 0.982$	$\alpha = 0.474$ $\beta = -0.917$ $R^2 = 0.938$	$\alpha = 0.621$ $\beta = -2.306$ $R^2 = 0.981$
i = 4%	$\alpha = 0.290$ $\beta = 0.207$ $R^2 = 0.975$	$\alpha = 0.525$ $\beta = -0.369$ $R^2 = 0.963$	$\alpha = 0.3928$ $\beta = -0.928$ $R^2 = 0.967$	$\alpha = 0.384$ $\beta = -2.072$ $R^2 = 0.986$

**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 43 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con un sumidero a 1.75 centímetros de elevación.

**Tabla 60.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - ES2

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.333$ $\beta = 0.071$ $R^2 = 0.963$	$\alpha = 0.171$ $\beta = 0.472$ $R^2 = 0.967$	$\alpha = 0.454$ $\beta = -0.717$ $R^2 = 0.951$	$\alpha = 0.428$ $\beta = -0.572$ $R^2 = 0.958$
i = 4%	$\alpha = 0.391$ $\beta = 0.242$ $R^2 = 0.977$	$\alpha = 0.525$ $\beta = -0.060$ $R^2 = 0.965$	$\alpha = 0.568$ $\beta = -0.534$ $R^2 = 0.975$	$\alpha = 0.600$ $\beta = -0.542$ $R^2 = 0.977$

**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 44 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con dos sumideros a 1.75 centímetros de elevación.

**Tabla 61.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - ES3

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.337$ $\beta = 0.304$ $R^2 = 0.985$	$\alpha = 0.312$ $\beta = 0.200$ $R^2 = 0.972$	$\alpha = 0.646$ $\beta = -0.623$ $R^2 = 0.956$	$\alpha = 0.612$ $\beta = -0.661$ $R^2 = 0.992$
i = 4%	$\alpha = 0.400$ $\beta = 0.347$ $R^2 = 0.982$	$\alpha = 0.652$ $\beta = -0.71$ $R^2 = 0.949$	$\alpha = 0.677$ $\beta = -0.319$ $R^2 = 0.989$	$\alpha = 0.622$ $\beta = -0.383$ $R^2 = 0.976$

**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 45 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con tres sumideros a 1.75 centímetros de elevación.

**Tabla 62.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste  $\alpha$ ,  $\beta$  y el coeficiente de determinación  $R^2$  - ES4

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha = 0.345$ $\beta = 0.283$ $R^2 = 0.958$	$\alpha = 0.301$ $\beta = 0.354$ $R^2 = 0.963$	$\alpha = 0.646$ $\beta = -0.503$ $R^2 = 0.976$	$\alpha = 0.750$ $\beta = -0.596$ $R^2 = 0.997$
i = 4%	$\alpha = 0.402$ $\beta = 0.350$ $R^2 = 0.976$	$\alpha = 0.625$ $\beta = 0.054$ $R^2 = 0.923$	$\alpha = 0.727$ $\beta = -0.220$ $R^2 = 0.998$	$\alpha = 0.790$ $\beta = -0.391$ $R^2 = 0.975$

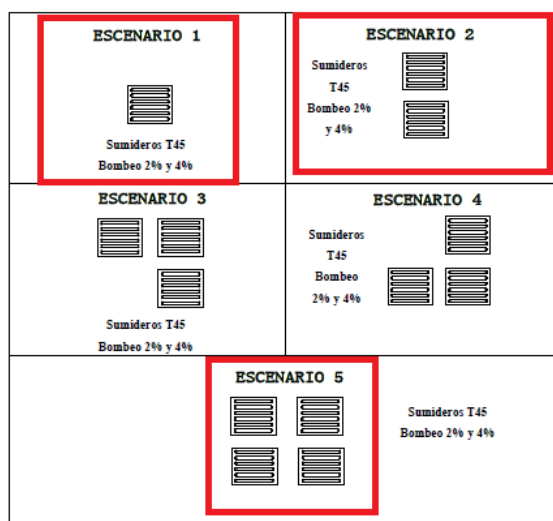
**Fuente:** Milton Bustamante  
**Realizado por:** Milton Bustamante

En la tabla 46 se detallan los valores numéricos de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , así como también el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para todas las combinaciones de pendientes longitudinales y transversales, con cuatro sumideros a 1.75 centímetros de elevación.

### 3.5. Respuesta a la Hipótesis.

En el presente trabajo de investigación se obtuvo datos de eficiencia con sumideros T45 modificados con barrotos circulares, a estos datos se los compara con el modelo anterior estudiado previamente en varios escenarios. Los escenarios similares se seleccionan a continuación en la figura 100 y en la figura 101 y están enmarcados por un recuadro rojo.

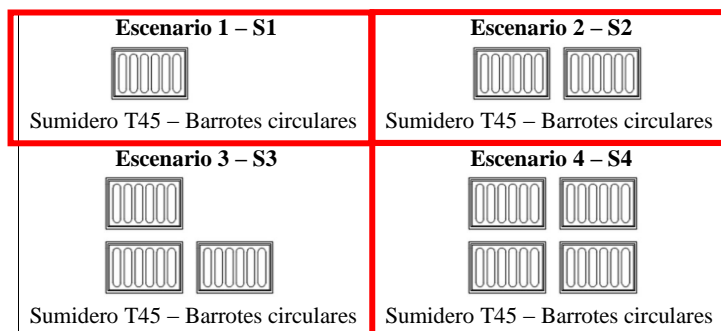
**Figura 116.-** Modelo anterior.



**Fuente:** I. Núñez, E. Sánchez, Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros de agua lluvia, 2018

**Realizado por:** Milton Bustamante

**Figura 117.-** Modelo modificado.



**Realizado por:** Milton Bustamante

Para realizar una comparación entre los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación y una investigación previa, se utilizó el método estadístico “Dósimas de Homogeneidad y de Independencia” para sumideros T45 modificados con barrotes circulares.

**Nomenclatura:**

$p= 0.5$  Probabilidad presentación del signo positivo

$q= 0.5$  Probabilidad presentación del signo negativo

$n=$  Suma del número de positivos más los negativos, excluyendo los ceros

$x=$  El número de signos positivos (puede ser considerado el número de los signos negativos)

$\mu=$  Media de la distribución binomial

$\sigma=$  Desviación típica en la distribución binomial

$Z=$  Variable estadística

### 3.5.1. Escenario de comparación con un sumidero.

Tabla 63.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando un sumidero

# Sumideros	Q Ingreso (escala)	Q Ingreso (real)	Q real dispositivo captado	Q real dispositivo captado (escala)	Q modificado dispositivo captado (escala)	% Eficiencia (Qmod-Qreal)/Qmod	Pendiente Longitudinal	Pendiente Transversal	
1	0.92	29.44	5.43	0.17	0.26	34%	0.5%	2%	
	1.88	60.16	3.27	0.10	0.47	78%			
	3.23	103.36	2.23	0.07	0.36	81%			
	4.1	131.2	1.88	0.06	0.35	83%			
	0.92	29.44	5.77	0.18	0.15	-17%	4%		
	1.88	60.16	3.74	0.12	0.20	41%			
	3.23	103.36	2.69	0.08	0.24	65%			
	4.10	131.20	2.32	0.07	0.26	72%			
	0.92	29.44	3.27	0.10	0.51	80%	8%		
	1.88	60.16	2.15	0.07	0.27	75%			
	3.23	103.36	1.57	0.05	0.16	70%			
	4.1	131.2	1.36	0.04	0.13	67%			
	0.92	29.44	2.38	0.07	0.75	90%	12%		
	1.88	60.16	1.67	0.05	0.14	64%			
	3.23	103.36	1.27	0.04	0.04	4%			
	4.10	131.20	1.13	0.04	0.02	-47%			
	0.92	29.44	7.28	0.23	0.29	20%	0.5%		4%
	1.88	60.16	4.71	0.15	0.33	56%			
	3.23	103.36	3.38	0.11	0.37	71%			
	4.1	131.2	2.92	0.09	0.39	76%			
0.92	29.44	7.07	0.22	0.54	59%	4%			
1.88	60.16	5.36	0.17	0.42	60%				
3.23	103.36	4.35	0.14	0.34	60%				
4.10	131.20	3.96	0.12	0.31	60%				
0.92	29.44	6.04	0.19	0.42	56%	8%			
1.88	60.16	4.49	0.14	0.22	36%				
3.23	103.36	3.58	0.11	0.13	15%				
4.1	131.2	3.25	0.10	0.11	4%				
0.92	29.44	0.57	0.02	0.46	96%	12%			
1.88	60.16	0.29	0.01	0.10	91%				
3.23	103.36	0.18	0.01	0.03	84%				
4.10	131.20	0.14	0.00	0.02	79%				

Realizado por: Milton Bustamante

Empleando signo positivo

$$n = 32$$

$$p = 1/2$$

$$q = 1/2$$

$$x = 30 (+)$$

$$\mu = n * p$$

$$\mu = 32 * (1/2)$$

$$\mu = 16$$

$$\sigma = \sqrt{n * p * q}$$

$$\sigma = \sqrt{32 * (1/2) * (1/2)}$$

$$\sigma = 2.84$$

**Si**

**$x > \mu$  a  $x$  se le resta 0.5**

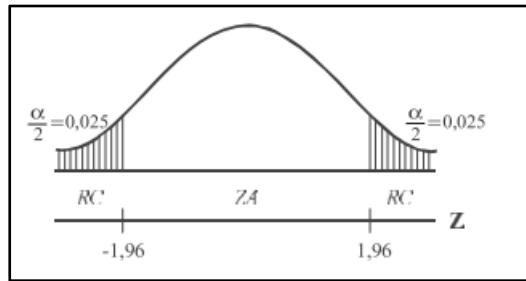
$x < \mu$  a  $x$  se le suma 0.5

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$Z = \frac{30 - 16}{2.84}$$

$$Z = 4.93$$

**Figura 118.-** Curva de distribución normal.



**Realizado por:** Milton Bustamante

Se rechaza la Hipótesis nula, ya que 4.93 se ubica fuera de la zona aceptada, por lo tanto, la diferencia entre ambos modelos es significativa, al nivel del 5%.



### 3.5.2. Escenario de comparación con dos sumideros.

Tabla 64.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando un sumidero

# Sumideros	Q Ingreso (escala)	Q Ingreso (real)	Q real dispositivo captado	Q real dispositivo captado (escala)	Q modificado dispositivo captado (escala)	% Eficiencia (Qmod-Qreal)/Qmod	Pendiente Longitudinal	Pendiente Transversal	
2	0.92	29.44	28.38	0.89	0.33	-168%	0.5%	2%	
	1.88	60.16	23.68	0.74	0.35	-112%			
	3.23	103.36	20.65	0.65	0.36	-78%			
	4.1	131.2	19.44	0.61	0.37	-65%			
	0.92	29.44	24.24	0.76	0.16	-361%	4%		
	1.88	60.16	19.73	0.62	0.23	-168%			
	3.23	103.36	16.89	0.53	0.30	-77%			
	4.10	131.20	15.77	0.49	0.33	-48%			
	0.92	29.44	22.58	0.71	0.48	-46%	8%		
	1.88	60.16	18.24	0.57	0.29	-97%			
	3.23	103.36	15.51	0.48	0.20	-148%			
	4.1	131.2	14.45	0.45	0.17	-173%			
	0.92	29.44	19.97	0.62	0.45	-39%	12%		
	1.88	60.16	16.12	0.50	0.30	-69%			
	3.23	103.36	13.70	0.43	0.22	-96%			
	4.10	131.20	12.76	0.40	0.19	-109%			
	0.92	29.44	48.88	1.53	0.38	-299%	0.5%		4%
	1.88	60.16	45.28	1.41	0.46	-211%			
	3.23	103.36	42.73	1.34	0.52	-157%			
	4.1	131.2	41.65	1.30	0.55	-137%			
0.92	29.44	37.67	1.18	0.53	-123%	4%			
1.88	60.16	33.48	1.05	0.51	-107%				
3.23	103.36	30.62	0.96	0.49	-96%				
4.10	131.20	29.44	0.92	0.48	-91%				
0.92	29.44	30.37	0.95	0.59	-60%	8%			
1.88	60.16	26.22	0.82	0.41	-102%				
3.23	103.36	23.45	0.73	0.30	-141%				
4.1	131.2	22.33	0.70	0.27	-161%				
0.92	29.44	24.68	0.77	0.63	-23%	12%			
1.88	60.16	20.48	0.64	0.43	-50%				
3.23	103.36	17.78	0.56	0.32	-75%				
4.10	131.20	16.71	0.52	0.28	-87%				

Realizado por: Milton Bustamante

Empleando signo negativo

$$n = 32$$

$$p = 1/2$$

$$q = 1/2$$

$$x = 32 (-)$$

$$\mu = n * p$$

$$\mu = 32 * (1/2)$$

$$\mu = 16$$

$$\sigma = \sqrt{n * p * q}$$

$$\sigma = \sqrt{32 * (1/2) * (1/2)}$$

$$\sigma = 2.84$$

**Si**

**$x > \mu$  a  $x$  se le resta 0.5**

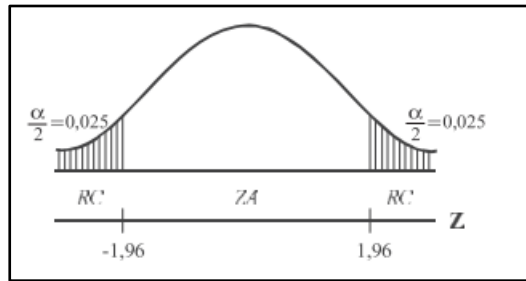
$x < \mu$  a  $x$  se le suma 0.5

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$Z = \frac{32 - 16}{2.84}$$

$$Z = 5.63$$

**Figura 119.-** Curva de distribución normal.



**Realizado por:** Milton Bustamante

Se rechaza la Hipótesis nula, ya que 5.63 se ubica fuera de la zona aceptada, por lo tanto, la diferencia entre ambos modelos es significativa, al nivel del 5%.

### 3.5.3. Escenario de comparación con cuatro sumideros.

Tabla 65.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando un sumidero

# Sumideros	Q Ingreso (escala)	Q Ingreso (real)	Q real dispositivo captado	Q real dispositivo captado (escala)	Q modificado dispositivo captado (escala)	% Eficiencia (Qmod-Qreal)/Qmod	Pendiente Longitudinal	Pendiente Transversal	
4	0.92	29.44	58.53	1.83	0.34	-443%	0.5%	2%	
	1.88	60.16	54.22	1.69	0.41	-311%			
	3.23	103.36	51.17	1.60	0.48	-233%			
	4.1	131.2	49.88	1.56	0.51	-203%			
	0.92	29.44	47.32	1.48	0.29	-406%	4%		
	1.88	60.16	42.85	1.34	0.38	-256%			
	3.23	103.36	39.74	1.24	0.46	-172%			
	4.10	131.20	38.45	1.20	0.50	-142%			
	0.92	29.44	51.81	1.62	0.67	-140%	8%		
	1.88	60.16	48.76	1.52	0.47	-224%			
	3.23	103.36	46.57	1.46	0.36	-306%			
	4.1	131.2	45.63	1.43	0.32	-349%			
	0.92	29.44	42.57	1.33	0.79	-69%	12%		
	1.88	60.16	39.81	1.24	0.51	-142%			
	3.23	103.36	37.83	1.18	0.37	-217%			
	4.10	131.20	37.00	1.16	0.32	-257%			
	0.92	29.44	73.06	2.28	0.39	-485%	0.5%		4%
	1.88	60.16	70.21	2.19	0.50	-338%			
	3.23	103.36	68.13	2.13	0.61	-251%			
	4.1	131.2	67.23	2.10	0.66	-219%			
	0.92	29.44	48.24	1.51	0.62	-142%	4%		
	1.88	60.16	43.90	1.37	0.65	-112%			
	3.23	103.36	40.87	1.28	0.67	-92%			
	4.10	131.20	39.60	1.24	0.67	-83%			
	0.92	29.44	67.06	2.10	0.74	-183%	8%		
	1.88	60.16	64.33	2.01	0.63	-218%			
	3.23	103.36	62.35	1.95	0.56	-247%			
	4.1	131.2	61.49	1.92	0.53	-261%			
0.92	29.44	61.69	1.93	0.82	-136%	12%			
1.88	60.16	58.85	1.84	0.62	-198%				
3.23	103.36	56.78	1.77	0.50	-255%				
4.10	131.20	55.90	1.75	0.46	-284%				

Realizado por: Milton Bustamante

Empleando signo negativo

$$n = 32$$

$$p = 1/2$$

$$q = 1/2$$

$$x = 32 (-)$$

$$\mu = n * p$$

$$\mu = 32 * (1/2)$$

$$\mu = 16$$

$$\sigma = \sqrt{n * p * q}$$

$$\sigma = \sqrt{32 * (1/2) * (1/2)}$$

$$\sigma = 2.84$$

**Si**

**$x > \mu$  a  $x$  se le resta 0.5**

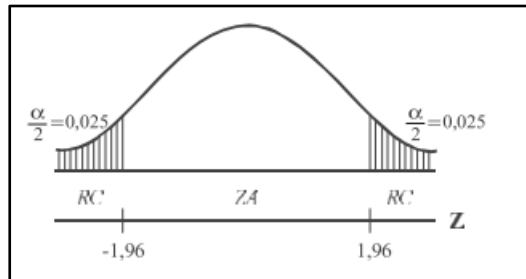
$x < \mu$  a  $x$  se le suma 0.5

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$Z = \frac{32 - 16}{2.84}$$

$$Z = 5.63$$

**Figura 120.-** Curva de distribución normal.



**Realizado por:** Milton Bustamante

Se rechaza la Hipótesis nula, ya que 5.63 se ubica fuera de la zona aceptada, por lo tanto, la diferencia entre ambos modelos es significativa, al nivel del 5%.

Por lo tanto:

- Se concluye que los sumideros T45 modificados con barrotos circulares son más eficientes que el modelo prototipo actual, al presentar mayor número de datos positivos en el escenario de comparación con un sumidero.
- Se concluye que los sumideros T45 modificados con barrotos circulares son menos eficientes que el modelo prototipo actual, al presentar mayor número de datos negativos en el escenario de comparación con dos y cuatro sumideros.

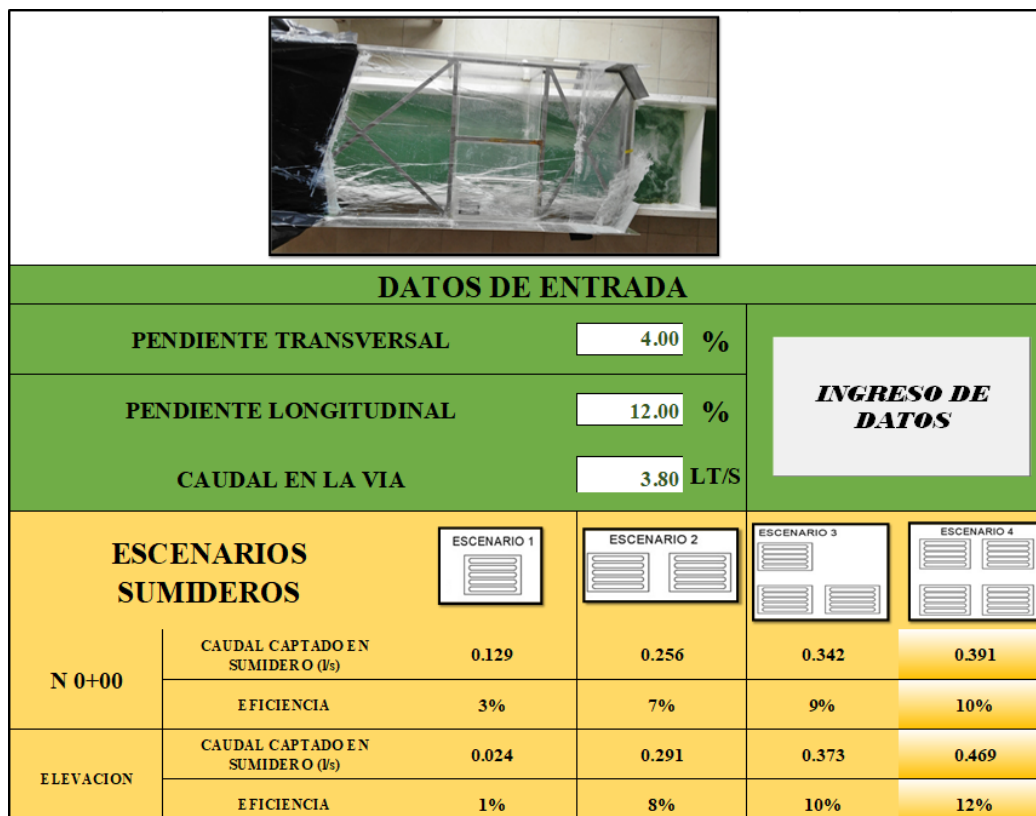
### 3.6. Programa para el cálculo del caudal captado y su eficiencia con sumideros T45 con barrotes circulares.

Se realizó un programa en una hoja de cálculo de Microsoft Excel con programación que considera los diferentes escenarios antes mencionados en la tabla 17 del capítulo II y por medio la ecuación  $y = \beta * Q^{-\alpha}$  calcula el caudal captado y la eficiencia. A continuación, se detalla el procedimiento a seguir en este programa:

- Seleccionar la pendiente transversal entre 2% y 4%.
- Seleccionar la pendiente longitudinal entre 0.5% - 4% - 8% - 12%.
- Ingresar el caudal que recorre la vía en el rango de valores de 0.8 lt/s y 4.10 lt/s.
- Leer los resultados de eficiencia y caudal captado para cada escenario de sumideros.

A continuación, se presenta una captura del programa:

**Figura 121.-** Programa para el cálculo del caudal captado y su eficiencia con sumideros T45 con barrotes circulares.



DATOS DE ENTRADA					
PENDIENTE TRANSVERSAL		4.00 %		<b>INGRESO DE DATOS</b>	
PENDIENTE LONGITUDINAL		12.00 %			
CAUDAL EN LA VIA		3.80 LT/S			
ESCENARIOS SUMIDEROS		ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
N 0+00	CAUDAL CAPTADO EN SUMIDERO (l/s)	0.129	0.256	0.342	0.391
	EFICIENCIA	3%	7%	9%	10%
ELEVACION	CAUDAL CAPTADO EN SUMIDERO (l/s)	0.024	0.291	0.373	0.469
	EFICIENCIA	1%	8%	10%	12%

Realizado por: Milton Bustamante

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó la eficiencia hidráulica en la captación de agua lluvia en sumideros T45 modificado con barrotes circulares implantados en las vías urbanas, teniendo como resultado más eficiente al escenario con cuatro sumideros a nivel 0+00. Este escenario se analizó en una pendiente longitudinal de 0.5% y una pendiente transversal de 4% obteniendo una eficiencia del 91%.
- Se determinó la geometría del modelo hidráulico en estudio analizando su similitud geométrica y dinámica. Además, para el presente proyecto se implementó sumideros T45 modificados con barrotes circulares, teniendo un área de captación de 59.56 cm<sup>2</sup>.
- Se seleccionó el escenario en nivel 0+00 de un sumidero ya que es el más eficiente en comparación con el modelo prototipo, este escenario fue modificado con barrotes circulares en una pendiente longitudinal de 0.5% y una pendiente transversal de 4% teniendo como resultado una eficiencia del 79%.
  - Se seleccionó el escenario en elevación de un sumidero ya que es el más eficiente en comparación con el modelo prototipo, este escenario fue modificado con barrotes circulares en una pendiente longitudinal de 4% y una pendiente transversal de 4% teniendo como resultado una eficiencia del 48%.



- Se seleccionó el escenario en nivel 0+00 de cuatro sumideros ya que es el más eficiente en comparación con el modelo prototipo, este escenario fue modificado con barrotes circulares en una pendiente longitudinal de 0.5% y una pendiente transversal de 4% teniendo como resultado una eficiencia del 91%.
- Se seleccionó el escenario en elevación de cuatro sumideros ya que es el más eficiente en comparación con el modelo prototipo, este escenario fue modificado con barrotes circulares en una pendiente longitudinal de 12% y una pendiente transversal de 2% teniendo como resultado una eficiencia del 78%.
- Se validó la investigación mediante la recomendación de utilizar sumideros T45 modificados con barrotes circulares como implementación en la normativa del país para mejorar la eficiencia de captación en las vías.
- Se creó un programa de aplicación para el diseño de sumideros T45 modificados con barrotes circulares.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar una nueva investigación de eficiencia utilizando sumideros T45 modificados con barrotes circulares de manera diagonal en un ángulo de 45 grados.
- Se recomienda realizar una nueva investigación de eficiencia utilizando sumideros T 45 modificados con barrotes circulares ubicados a un nivel inferior al de la calzada.
- Se recomienda realizar una comparación entre los resultados de los niveles 0+00 y del nivel 1+75 centímetros que fueron obtenidos en este proyecto de investigación.

## Referencias bibliográficas

- [1] G. Espinoza, *Alcantarillado Pluvial de Teoría y Cálculo de Alcantarillado y Drenaje*, Garceta, México, 2010.
- [2] Ven Te Chow, *Hidrología Aplicada*, Londres: McGraw-Hill 3 Latinoamericana, 2013.
- [3] F. Pazmiño Gavilánez, R. Hechavarría Díaz, F. R. Morales Fiallos y J. León Mantilla, «Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales.,» *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, vol. XXXVIII, n° 3, pp. 17-29, 2017.
- [4] R. Cortez y E. Kaliski, «Estudio experimental del funcionamiento de sumideros de agua lluvia, caso: Incorporación de zona de influencia,» *Congreso Latinoamericano de Hidráulica - Cartagena de Indias - Colombia*, vol. XXIII, 2008.
- [5] L. Echarri Prim, «Libro electrónico,» [En línea]. Available: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/08RiesgN/130Inund.htm#POBLACION>. [Último acceso: 13 marzo 2019].
- [6] L. A. Sánchez y Y. Martínez González, «Propuesta de un nuevo enfoque para evaluar la peligrosidad por inundaciones pluviales,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. V, n° 6, pp. 53-67, 2014.
- [7] Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados CIACUA, «Sumideros en alcantarillados de aguas lluvias. Diseños típicos utilizados en Colombia y mecanismos de retención de sólidos.,» Bogotá, 2009.
- [8] Sugar Grove, «Sugar Grove,» [En línea]. Available: <http://www.sugargroveil.gov/departments/public-works/stormwater/street-drainage-system-and-roadway-flooding/>. [Último acceso: 25 marzo 2019].
- [9] Sistema Nacional de Información (SNI) , «Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias,» [En línea]. Available: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/ambato-es-el-canton-mas-afectado-por-etapa-invernal-en-tungurahua/>. [Último acceso: 13 marzo 2019].
- [10] G. Espinosa Gutiérrez, P. Mareike Evers, R. Otterpohl , J. C. Paredes Limas, R. M. Zambrano Cárdenas y L. González Torres, «Evaluación de las infiltraciones al sistema de drenaje mediante análisis comparativo de la concentración de contaminantes en agua residual. Caso de estudio en Tepic, México.,» *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.*, n° 31, pp. 89-98, 2015.
- [11] «Ministerio de Transporte y Obras Públicas,» [En línea]. Available: <https://www.obraspublicas.gob.ec/el-mtop-al-servicio-del-pueblo-ecuadoriano/>.

- [Último acceso: 07 Marzo 2019].
- [12] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Procedimientos para proyectos viales*, Quito: Nevi-12, 2013.
- [13] Instituto ecuatoriano de normalización, *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2499*, Quito-Ecuador, 2009.
- [14] Instituto ecuatoriano de normalización, *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2496*, Quito-Ecuador, 2009.
- [15] S. Navarro, «Wordpress,» 2013. [En línea]. Available: [https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3blo-de-carretera\\_2003-ecuador.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3blo-de-carretera_2003-ecuador.pdf). [Último acceso: 2019 11 2019].
- [16] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*, Perú.
- [17] «Coeficiente de escorrentía,» Biblioteca y publicaciones manual ATHA-índice, [En línea]. Available: [http://www.atha.es/atha\\_archivos/manual/c4474.htm](http://www.atha.es/atha_archivos/manual/c4474.htm). [Último acceso: 24 11 2019].
- [18] J. Gribbin, *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del pluvial*, México: Corporativo Santa Fe, 2017.
- [19] G. Benjamín y A. Rodríguez, *Apuntes de hidrología superficial nuevo plan-UMSNH-Hidrología superficial*, México, 2009.
- [20] I. N. d. M. e. Hidrología, *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*, Quito-Ecuador: Actualización del estudio de lluvias intensas-VERSIÓN (2)2019, 2015.
- [21] gunt HAMBURG, «Ingeniería hidráulica-Flujo de Canales Abiertos,» [En línea]. Available: [https://www.gunt.de/images/download/open-channel\\_flow\\_spanish.pdf](https://www.gunt.de/images/download/open-channel_flow_spanish.pdf). [Último acceso: 24 11 2019].
- [22] D. Maidment y L. Mays, *Hidrología Aplicada*, Bogota: VEN TE CHOW, 1994.
- [23] Y. A. CENGEL y J. M. CIMBALA, «MECÁNICO DE FLUIDOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES,» [En línea]. Available: <file:///C:/Users/samsung/Documents/UTA/Tesis%20Milton/Archivos%20de%20referencia/Mecànica%20de%20fluidos.pdf>. [Último acceso: 24 11 2019].
- [24] O. Jiménez, «Fórmulas generales para los coeficientes de Chézy y de Manning,» *Tecnología y Ciencia del Agua*, vol. VI, n° 3, pp. 33-38, 05 2015.

- [25] J. Martínez, «Análisis Dimensional-Apuntes de Mecánica de Fluidos,» Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón, 11 2004. [En línea]. Available: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hja/file/Mec\\_Fluid\\_CBS/tema\\_3\\_analisis\\_dimensional\\_0405.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hja/file/Mec_Fluid_CBS/tema_3_analisis_dimensional_0405.pdf). [Último acceso: 26 11 2019].
- [26] «Condiciones y leyes de semejanza,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2565/Capitulo3.pdf>. [Último acceso: 1 12 2019].
- [27] R. Springall, Hidrología-Primera parte-Profesores Investigador-Facultad de Ingeniería, México: UNAM.
- [28] PLINT-ENGINEERS, *Flow Channel-Ware Generator*, PLINT Y PARTNERS LTR.
- [29] AXIAMATIC, *Detector de Velocidad de Líquidos por Sensor Térmico*, Instrumentación y Control.
- [30] R. Maldonado y D. Pallares, *Análisis en Modelo Hidráulico de la Estructura de Interconexión de las Centrales Arapullo y Alluriquín*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [31] DESIN-INSTRUMENTS, *Manual de usuario trnsmisor de caudal DMM-4000/LFE-....*
- [32] I. A. Núñez Aosta y E. J. Sánchez Tenesaca, *MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIA*, Ambato, 2018.
- [33] M. Hidalgo, *Introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas*, Quito: Escuela Politécnica Nacional-Departamento de Hidráulica, 2011.

## **Anexos Fotográficos**

## Ensamblaje del modelo hidráulico



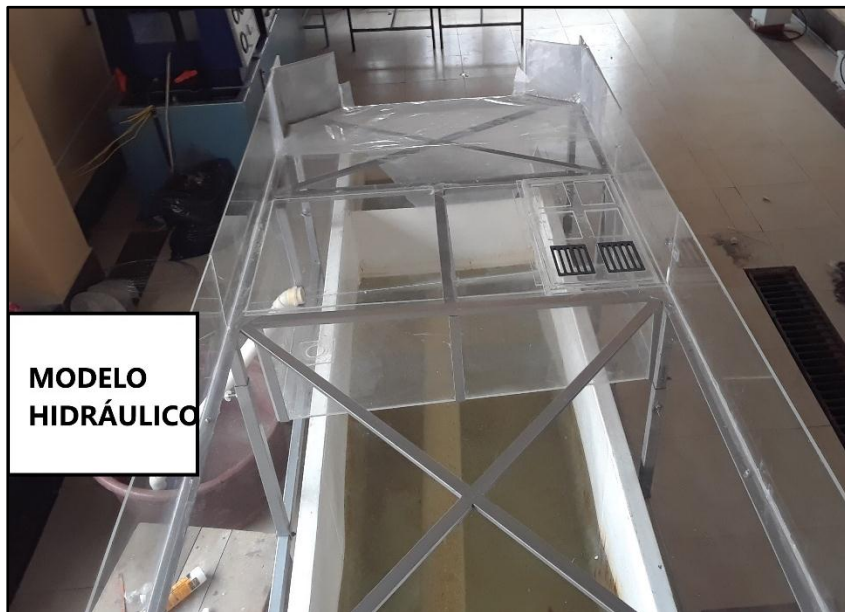
**Fotografía 1.-** Ensamblaje de la estructura metálica para la base de acrílico.



**Fotografía 2.-** Construcción del tanque de captación.



**Fotografía 3.-** Colocación del modelo hidráulico.

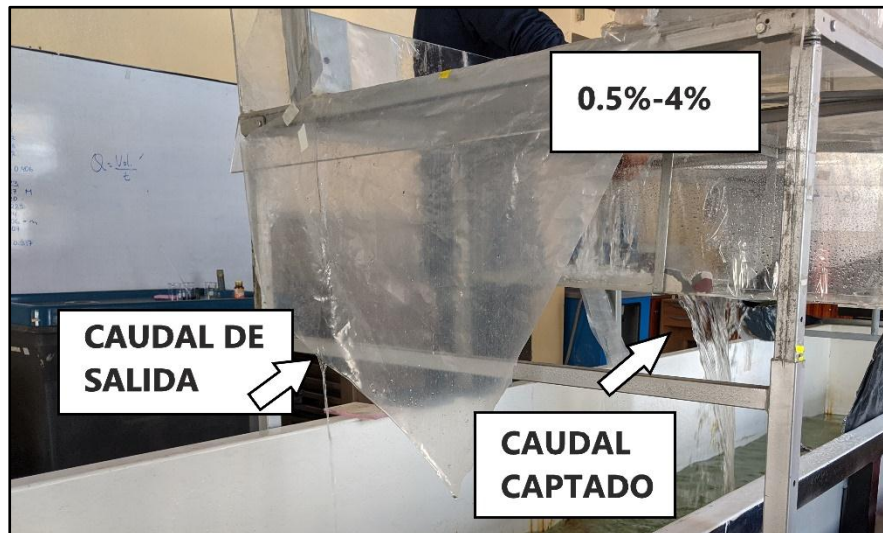


**Fotografía 4.-** Modelo hidráulico – Vista en planta.

## Recolección de datos en Nivel 0+00



Fotografía 5.- Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2%

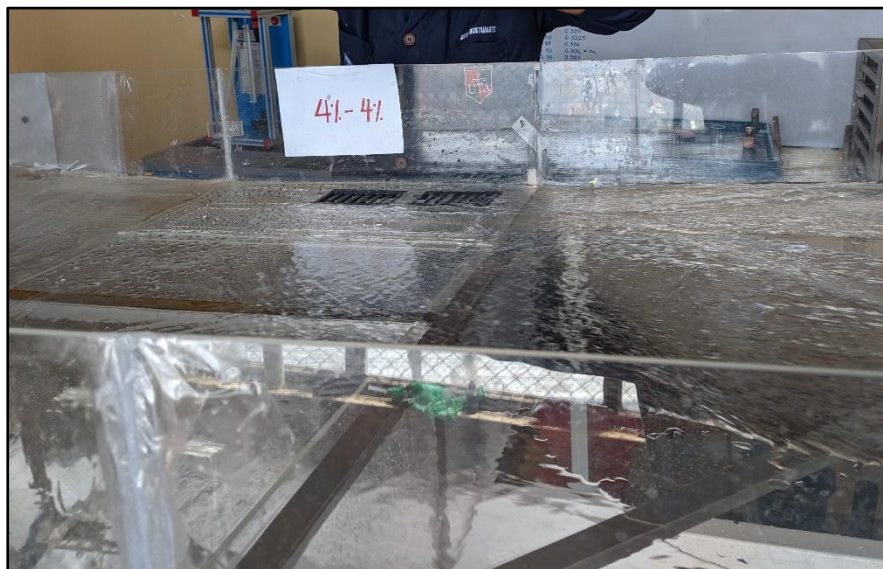


Fotografía 6.- Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4%

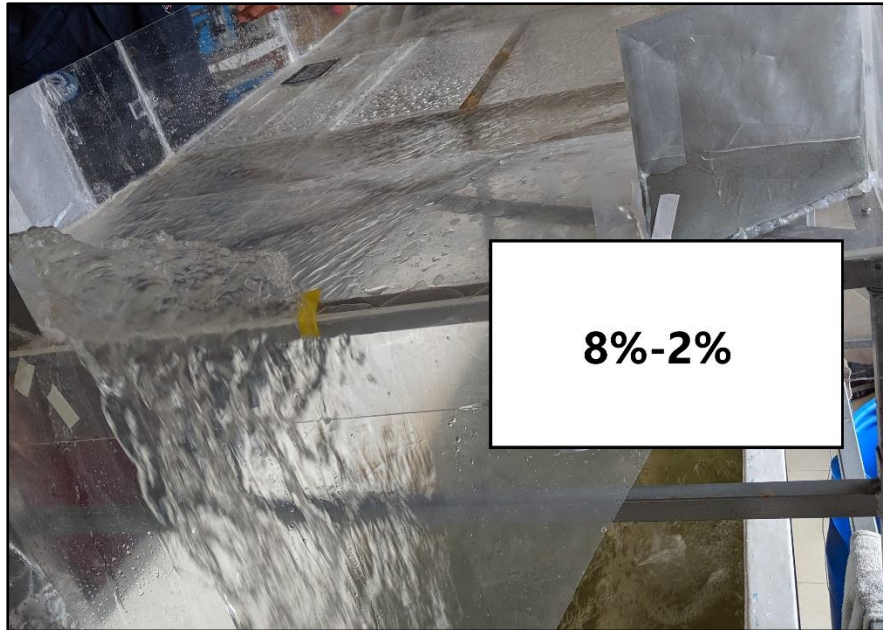




**Fotografía 7.-** Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2%



**Fotografía 8.-** Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4%



**Fotografía 9.-** Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2%



**Fotografía 10.-** Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4%





**Fotografía 11.-** Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2%



**Fotografía 12.-** Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4%

## Recolección de datos en Elevación

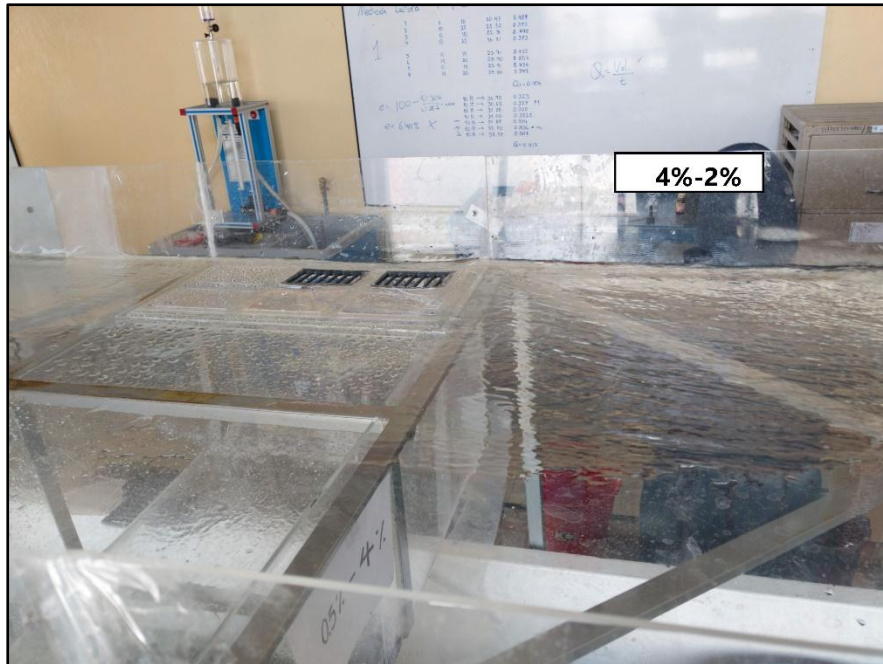


**Fotografía 13.-** Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 2%



**Fotografía 14.-** Pendiente Longitudinal 0.5% - Pendiente Transversal 4%

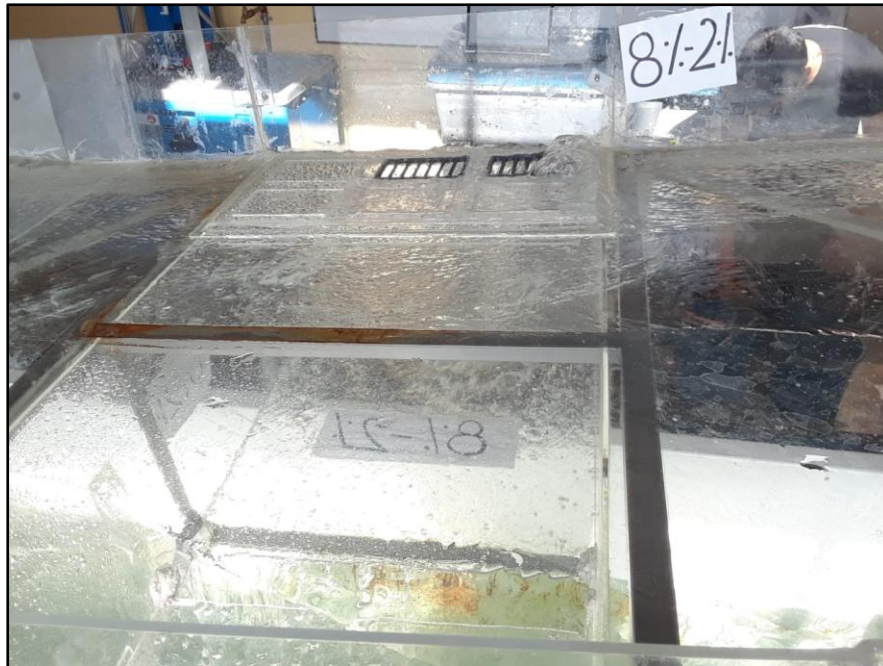




**Fotografía 15.-** Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 2%



**Fotografía 16.-** Pendiente Longitudinal 4% - Pendiente Transversal 4%



**Fotografía 17.-** Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 2%



**Fotografía 18.-** Pendiente Longitudinal 8% - Pendiente Transversal 4%



**Fotografía 19.-** Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 2%



**Fotografía 20.-** Pendiente Longitudinal 12% - Pendiente Transversal 4%



## **Anexos Digitales**

La base de datos del presente proyecto se encuentra en el CD adjunto, el mismo que respalda el trabajo realizado bajo el tema “MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTOS CIRCULARES DE AGUAS LLUVIAS”.

En el CD se encuentran los siguientes archivos:

1. Archivo de Autocad donde se adjunta los planos del modelo en estudio.
2. Archivo de Word, que respalda el presente proyecto de investigación.
3. Hoja de cálculo con el nombre “Recolección de datos – Nivel 0+00”, en la que se encuentra con las siguientes pestañas de cálculo pertenecientes a cada una de las combinaciones de pendientes, y sus respectivas curvas de eficiencia.
4. Hoja de cálculo con el nombre “Recolección de datos – Elevación”, en la que se encuentra con las siguientes pestañas de cálculo pertenecientes a cada una de las combinaciones de pendientes, y sus respectivas curvas de eficiencia.
5. Hoja de cálculo con el nombre “Programación”, en la que se encuentra con las siguientes pestañas de cálculo pertenecientes a cada uno de datos de los parámetros alfa, beta y  $R^2$ .
6. Una carpeta con el nombre “Nivel 0+00”, en la que se encuentran los anexos fotográficos respecto a las mediciones tomadas.
7. Una carpeta con el nombre “Elevación”, en la que se encuentran los anexos fotográficos respecto a las mediciones tomadas.
8. Una carpeta con el nombre “Construcción del modelo”, en la que se encuentran los anexos fotográficos respecto a las mediciones tomadas.



## **Anexo Autocad**