

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 LONGITUDINALES DE AGUAS LLUVIAS”

AUTOR: MARIELA MONSERRATH ROBALINO LARA

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 la Srta. Mariela Monserrath Robalino Lara, egresada 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, Enero del 2020



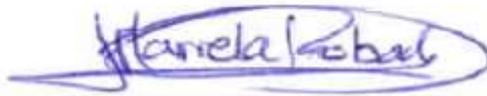
Ing. MEng. Lenin Maldonado

TUTOR DE TESIS

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.



Egda. Mariela Monserrath Robalino Lara

CI: 1804683058

AUTORA

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 BARROTAS LONGITUDINALES DE AGUAS LLUVIAS**”, son de exclusiva responsabilidad de autor.

Ambato, Enero del 2020



Egda. Mariela Monserrath Robalino Lara

CI: 1804683058

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

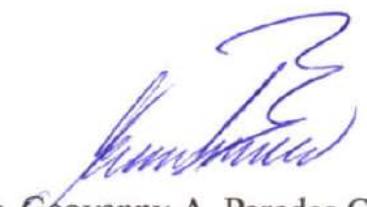
Los miembros del tribunal examinador aprueban el Informe de Investigación, bajo el tema: **“MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTAS LONGITUDINALES DE AGUAS LLUVIAS”**, de Mariela Monserrath Robalino Lara, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Enero 2020.

Para constancia firman:



Ing. Mg. Fabián Morales.



Ing. Geovanny A. Paredes C.

DEDICATORIA

A mi padre Luis Robalino, con su ejemplo y dedicación me inspira cada día a ser una mejor persona, quien durante toda mi vida me enseñó a luchar siempre por mis sueños, demostrándome que todo esfuerzo y dedicación nos permite llegar al éxito. Gracias por ser mi mayor fuente de inspiración y amor incondicional.

A mi madre Susana Lara, que con su amor y ternura inculco en mí grandes valores, guiando mis pasos desde que inicio mi existencia. A ti por compartir todos mis logros y alegrías, por siempre estar aconsejándome con paciencia y dulzura sin dejarme desmayar, creyendo siempre en mis sueños y ayudándome a conseguirlos.

A mi querido hermano José Luis, quien siempre ha sido mi mejor ejemplo a seguir, por siempre sacarme una sonrisa y brindarme todo su cariño, por apoyarme en cada decisión y darme los mejores consejos.

A mi enamorado Víctor Vásquez, quien compartió durante toda mi etapa universitaria mis mejores momentos, apoyándome con paciencia y dedicación en cada logro y dificultad, inculcando en mí la pasión por la carrera. Gracias por todo el amor que me brindas cada día.

A mi querido abuelito Gonzalo, quien durante toda mi vida me ha llenado de mucho amor.

MARIELA MONSERRATH ROBALINO LARA

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser el pilar de mi vida, brindándome sabiduría para cumplir cada día con mis objetivos y bendecirme con una familia maravillosa.

A mis padres que me han apoyado en cada momento, por su gran sacrificio y dedicación, gracias por permitirme cumplir con mi sueño.

A mi hermano José Luis, quien durante toda mi carrera me ha brindado sus mejores experiencias y conocimientos sobre la carrera.

A mi compañero de tesis Milton Bustamante, gracias por la paciencia y dedicación durante toda la ejecución del proyecto.

De igual manera a mi tutor Ingeniero Lenin Maldonado quien me oriento y guio en el correcto desarrollo del proyecto.

A cada uno de los docentes, que desde que inicie mi carrera han ido formando los mejores cimientos para mi desarrollo profesional

A mi familia y amigos que me apoyaron y me permitieron culminar mi proyecto alcanzando así mi objetivo.

MARIELA MONSERRATH ROBALINO LARA

ÍNDICE

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DERECHO DE AUTOR.....	iii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ivi
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiiiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii

B. CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación	3
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	4
1.1.3.1 Análisis de la Normativa.....	5
1.1.3.2 Criterios de alineación	6
1.1.3.3 Análisis Hidrológico	9
1.1.3.3.1 Método racional	9
1.1.3.3.2 Coeficiente de escorrentía superficial	10
1.1.3.3.3 Área de drenaje	13
1.1.3.3.4 Tiempo de concentración.....	14
1.1.3.3.5 Período de retorno.....	15
1.1.3.3.6 Caudal de diseño	16
1.1.3.3.7 Duración de lluvia.....	16
1.1.3.3.8 Intensidad.....	16
1.1.3.3.9 Valor de la intensidad	17
1.1.3.4 Análisis Hidráulico	22
1.1.3.4.1 Hidráulica de canales abiertos.....	22
1.1.3.4.2 Elemento geométrico	23

1.1.3.4.3	Tipo de flujo.....	24
1.1.3.4.4	Flujo permanente.....	24
1.1.3.4.5	Flujo no permanente.....	24
1.1.3.4.6	Flujo uniforme	25
1.1.3.4.7	Flujo variado	26
1.1.3.4.8	Estados de flujo.....	27
1.1.3.4.9	Efecto de viscosidad.....	28
1.1.3.4.10	Flujo laminar	28
1.1.3.4.11	Flujo turbulento.....	29
1.1.3.4.12	Número de Reynolds.....	29
1.1.3.4.13	Número de Froude	30
1.1.3.4.14	Régimen de flujo.....	31
1.1.3.4.15	Ecuación de Chezy.....	32
1.1.3.4.16	Ecuación de Manning.....	33
1.1.3.5	Análisis dimensional, similitud y diseño hidráulico	33
1.1.3.5.1	Análisis dimensional	34
1.1.3.5.2	Modelo	36
1.1.3.5.3	Similitud.....	37
1.1.3.5.4	Ley de similitud en modelos físicos.....	37
1.1.3.5.5	Modelo físico	42
1.1.3.5.6	Escala de modelos hidráulicos	43
1.1.3.5.7	Efectos de escala	43
1.1.3.5.8	Calibración del modelo	45
1.1.3.5.9	Análisis teórico de similitudes mecánica	45
1.1.3.5.10	Curva de calibración	49
1.1.4	Hipótesis	51
1.2	Objetivos:.....	51
1.2.1	Objetivo General	51
1.2.2	Objetivos Específicos.....	51
CAPÍTULO II		53
METODOLOGÍA		53
2.1	Materiales y Equipos.....	59
2.1.1	Canal hidráulico	59
2.1.2	Detector de velocidad de líquidos por sensor térmico	62
2.1.3	Transmisor de caudal DMM-4000/LFE.....	63
2.1.4	Limnómetro	64
2.1.5	Escala del modelo hidráulico	65

2.1.6	Modelo físico	66
2.1.7	Estructura metálica.....	68
2.1.8	Zonas de ingreso del tanque disipador de energía	70
2.1.9	Estructura de captación	71
2.2	Métodos.....	72
2.2.1	Plan de Recolección de Datos	72
2.2.3	Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	74
CAPÍTULO III.....		75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		75
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	75
3.1.1	Análisis y resultados	75
3.1.1.1	Calibración del canal de ingreso	75
3.1.1.2	Caudal captado vs caudal de la vía	77
3.1.1.2.1	Nivel +0.00 empleando 4 escenarios de sumideros	77
3.1.1.2.2	Nivel +0.00cm empleando todas las combinaciones de sumideros	89
3.1.1.2.3	Nivel +1.75cm empleando 4 escenarios de sumideros	94
3.1.1.2.4	Nivel +1.75 cm empleando todas las combinaciones de sumideros	106
3.1.1.2.5	Comparación entre N+ 0.00 y N+ 1.75cm	111
3.1.1.3	Eficiencia vs caudal	112
3.1.1.3.1	N+0.00 empleando 4 escenarios de sumideros	112
3.1.1.3.2	N+0.00 empleando todas las combinaciones de sumideros	131
3.1.1.3.3	Nv +1.75 cm empleando cuatro escenarios de sumideros	136
3.1.1.3.4	N+1.75cm empleando todas las combinaciones de sumideros	154
3.1.1.3.5	Comparación entre el Nivel +0.00 y N +1.75cm	159
3.1.1.4	Ajuste alfa, beta y R ²	160
3.1.1.5	Programación para el cálculo del caudal y su eficiencia con sumideros T45 con barros longitudinales	165
3.1.1.6	Responder Hipótesis	166
CAPÍTULO IV.....		175
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		175
4.1	Conclusiones.....	175
4.2	Recomendaciones.....	177
C. MATERIAL BIBLIOGRÁFICO		
Bibliografía		178
ANEXOS		181

Anexos.- Fotográficos.....	181
Anexos. - Plano.....	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Tipo de ancho de la vía	7
Tabla 2.- Pendiente Trasversal	8
Tabla 3.- Pendiente Longitudinal Máximo	9
Tabla 4.- Factor de escorrentía según la topografía, suelos y coberturas.....	11
Tabla 5.- Factor de escorrentía según la topografía	11
Tabla 6.- Factor de escurrimiento en zonas urbanas	12
Tabla 7.- Factor de escorrentía para zonas de drenaje	12
Tabla 8.- Coeficiente de Rugosidad usados en laboratorio	13
Tabla 9.- Período de retorno en diferentes obras	15
Tabla 10.- Estaciones pluviométricas utilizadas para el estudio con sus respectivas series de datos de intensidades máximas	18
Tabla 11.- Ecuación idf para estaciones seleccionadas.....	18
Tabla 12.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 5 < 30 min -Estación Ambato ..	19
Tabla 13.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 30 min < 120 min -Estación Ambato.....	20
Tabla 14.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 120 min < 1440 min -Estación Ambato.....	21
Tabla 15.- Valores Límites del Número de Reynolds	30
Tabla 16.- Tipo de flujo según el efecto de gravedad	31
Tabla 17.- Condiciones del tipo de flujo según Número de Reynolds y Froude	31
Tabla 18.- Análisis dimensional en relación con la magnitud fundamental y derivada	35
Tabla 19.- Principio de homogeneidad dimensional, magnitud absoluta y gravitacional.....	35
Tabla 20.- Calibración en función de calados y velocidades	45
Tabla 21.- Fuerzas predominantes en el análisis de la teoría de similitud	47
Tabla 22.- Similitud particular en función de la escala geométrica para modelos compresibles.....	48
Tabla 23.- Parámetro α y β para sumideros con su coeficiente R^2_{adj}	50
Tabla 24.- Combinaciones totales propuestas en la calzada	54

Tabla 25.- Combinaciones utilizadas para la investigación experimental-Nivel +0.00	55
Tabla 26.- Combinaciones utilizadas para la investigación experimental-Elevación +1.75cm.....	56
Tabla 27.- Combinación total de análisis	58
Tabla 28.- Código de trabajo.....	59
Tabla 29.- Calibración de los datos de ingreso del modelo hidráulico	75
Tabla 30.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS1	113
Tabla 31.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS1	113
Tabla 32.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS1	114
Tabla 33.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - NS1	114
Tabla 34.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS1	115
Tabla 35.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - NS1	115
Tabla 36.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS1	116
Tabla 37.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS1	116
Tabla 38.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS2.....	118
Tabla 39.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS2.....	118
Tabla 40.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS2.....	119
Tabla 41.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - NS2.....	119
Tabla 42.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS2.....	120
Tabla 43.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - NS2.....	120
Tabla 44.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS2.....	121
Tabla 45.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS2.....	121
Tabla 46.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS3.....	122
Tabla 47.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS3.....	122
Tabla 48.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS3.....	123
Tabla 49.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - NS3.....	123
Tabla 50.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS3.....	124
Tabla 51.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - NS3.....	124
Tabla 52.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS3.....	125
Tabla 53.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS3.....	125
Tabla 54.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS4.....	127
Tabla 55.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS4.....	127

Tabla 56.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS4.....	128
Tabla 57.- Eficiencia vs Caudal con pendiente 4% - 4% - NS4.....	128
Tabla 58.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS4.....	129
Tabla 59.- Eficiencia vs Caudal con pendiente 8% - 4% - NS4.....	129
Tabla 60.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS4.....	130
Tabla 61.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS4.....	130
Tabla 62.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - ES1	136
Tabla 63.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES1	136
Tabla 64.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES1	137
Tabla 65.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES1	137
Tabla 66.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - ES1	138
Tabla 67.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES1	138
Tabla 68.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES1	139
Tabla 69.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES1	139
Tabla 70.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% -2% - ES2	141
Tabla 71.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES2	141
Tabla 72.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES2	142
Tabla 73.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES2	142
Tabla 74.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% -2 % - ES2	143
Tabla 75.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES2	143
Tabla 76.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES2	144
Tabla 77.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES2	144
Tabla 78.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - ES3	145
Tabla 79.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES3	146
Tabla 80.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES3	146
Tabla 81.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES3	147
Tabla 82.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - ES3	147
Tabla 83.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES3	148
Tabla 84.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES3	148
Tabla 85.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES3	149
Tabla 86.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - ES4	150
Tabla 87.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES4	150
Tabla 88.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES4	151

Tabla 89.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES4	151
Tabla 90.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - ES4	152
Tabla 91.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES4	152
Tabla 92.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES4	153
Tabla 93.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES4	153
Tabla 94.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - NS1.....	161
Tabla 95.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - NS2.....	161
Tabla 96.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - NS3.....	162
Tabla 97.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - NS4.....	162
Tabla 98.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - ES1	163
Tabla 99.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - ES2.....	163
Tabla 100.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - ES3	163
Tabla 101.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - ES4	164
Tabla 102.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando un sumidero.....	168
Tabla 103.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando dos sumideros	170
Tabla 104.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando cuatro sumideros	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 5 min < 30 min- Estación Ambato.....	20
Figura 2. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 30 min < 120 min- Estación Ambato.....	21
Figura 3. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 120 min < 1440 min- - Estación Ambato.....	22
Figura 4. Corte de la sección longitudinal del flujo uniforme permanente.....	25
Figura 5. Corte de la sección longitudinal del flujo uniforme no permanente.....	26
Figura 6. Corte de la sección longitudinal del flujo rápidamente variable	26
Figura 7. Corte de la sección longitudinal del flujo gradualmente variable	27
Figura 8. Flujo gradualmente acelerado.....	27
Figura 9. Flujo gradualmente retardado.....	27
Figura 10. Flujo laminar.....	28
Figura 11. Flujo turbulento	29
Figura 12. Similitud geométrica	39
Figura 13. Similitud cinemática	40
Figura 14. Similitud dinámica.....	41
Figura 15. Elevación vs gasto	50
Figura 16. Vista lateral del sumidero con Nivel +0.00	55
Figura 17. Vista lateral del sumidero con elevación 1.75cm.....	56
Figura 18. Escenarios para el análisis de sumideros T45 con barrotes longitudinales	57
Figura 19. Dimensiones del sumidero T45 con barrotes longitudinales en cm	57
Figura 20. Diseño del sumidero t45 con barrotes longitudinales diseñado en solidwork.....	58
Figura 21. Canal Hidráulico.....	60
Figura 22. Detector de velocidad de líquidos	62
Figura 23. Trasmisor de Caudal	64
Figura 24. Limnómetro	64
Figura 25. Laboratorio de hidráulica, Facultad Ingeniería Civil y Mecánica	65

Figura 26. Dimensiones de la base del modelo físico.....	66
Figura 27. Vista en planta del modelo hidráulico	67
Figura 28. Impresión 3D de la rejilla con barrotes longitudinales.....	68
Figura 29. Estructura de soporte del acrílico	69
Figura 30. Estructura de nivelación	70
Figura 31. Tanque disipador de energía.....	71
Figura 32. Tanque de captación de agua.....	72
Figura 33. Curva de calibración altura vs caudal.....	76
Figura 34. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL al 0.5% - PT 2% - 4% - NS1 .	78
Figura 35. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - NS1	78
Figura 36. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS1	79
Figura 37. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS1	79
Figura 38. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS2	81
Figura 39. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - NS2	81
Figura 40. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS2	82
Figura 41. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS2	82
Figura 42. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS3	84
Figura 43. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4 - NS3.....	84
Figura 44. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS3	85
Figura 45. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS3	85
Figura 46. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS4	87
Figura 47. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - NS4	87
Figura 48. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS4	88
Figura 49. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS4	88
Figura 50. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 2%	90
Figura 51. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 4%	90
Figura 52. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 2%	91
Figura 53. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 4%	91
Figura 54. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 2%	92
Figura 55. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 4%	92
Figura 56. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 2%	93
Figura 57. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 4%	93
Figura 58. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES1	95

Figura 59. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES1.....	95
Figura 60. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES1.....	96
Figura 61. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES1.....	96
Figura 62. Sumidero con elevación N +1.75cm	97
Figura 63. Sumidero con elevación N +1.75cm - pendientes 12% - 4%	98
Figura 64. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES2.....	98
Figura 65. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES2.....	99
Figura 66. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES2.....	99
Figura 67. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES2.....	100
Figura 68. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES3....	101
Figura 69. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES3.....	101
Figura 70. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES3.....	102
Figura 71. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES3.....	102
Figura 72. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES4...	104
Figura 73. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES4.....	104
Figura 74. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES4.....	105
Figura 75. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES4.....	105
Figura 76. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 2% - ETS	107
Figura 77. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 4% - ETS	107
Figura 78. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 2% - ETS	108
Figura 79. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 4% - ETS	109
Figura 80. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 2% - ETS	109
Figura 81. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 4% - ETS	110
Figura 82. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 2% - ETS	110
Figura 83. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 4% - ETS	111
Figura 84. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS1	114
Figura 85. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - NS1	115
Figura 86. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4%	116
Figura 87. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS1	117
Figura 88. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS2.....	118
Figura 89. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% -NS2.....	119
Figura 90. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - NS2.....	120
Figura 91. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS2.....	121

Figura 92. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS3.....	123
Figura 93. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - NS3.....	124
Figura 94. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - NS3.....	125
Figura 95. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS3.....	126
Figura 96. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS4.....	127
Figura 97. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - NS4.....	128
Figura 98. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - NS4.....	129
Figura 99. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS4.....	130
Figura 100. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - NTS	131
Figura 101. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 4% - NTS	132
Figura 102. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - NTS	132
Figura 103. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 4% - NTS	133
Figura 104. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - NTS	133
Figura 105. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 4% - NTS	134
Figura 106. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - NTS	134
Figura 107. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 4% - NTS	135
Figura 108. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES1	137
Figura 109. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES1	138
Figura 110. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES1	139
Figura 111. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - ES1	140
Figura 112. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES2	141
Figura 113. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES2	142
Figura 114. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES2	143
Figura 115. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% -ES2	144
Figura 116. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES3	146
Figura 117.- Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES3.....	147
Figura 118. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES3	148
Figura 119. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - ES3	149
Figura 120. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES4	151
Figura 121. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES4	152
Figura 121. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES4	153
Figura 123. Eficiencia vs Caudal con PL 12%- PT 2%-4%-ES4	154
Figura 124 . Eficiencia vs Caudal con PL 0.50% - PT 2% - ETS.....	155

Figura 125. Eficiencia vs Caudal con PL 0.50% - PT 4% - ETS.....	155
Figura 126. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 4% - ETS.....	156
Figura 127. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 4% - ETS.....	156
Figura 128. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - ETS.....	157
Figura 129. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 4% - ETS.....	157
Figura 130. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - ETS	158
Figura 131. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 4% - ETS	158
Figura 132. Programa para determinar la eficiencia y el caudal de captación de los sumideros T45 con barrotes longitudinales	165
Figura 133. Modelo anterior	166
Figura 134. Modelo modificado	167
Figura 134. Curva de distribución normal con un sumidero.....	169
Figura 135. Curva de distribución normal con dos sumideros	171
Figura 136. Curva de distribución normal con tres sumideros	174

RESUMEN EJECUTIVO

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

AUTOR: Mariela Monserrath Robalino Lara

TUTOR: Ing. MEng. Lenin Rafael Maldonado Narváez

El presente proyecto tiene como objetivo principal determinar la eficiencia de los sumideros ubicados en las vías urbanas, mostrándose con una geometría diferente a los modelos convencionales y cumpliendo con los parámetros establecidos en las normas vigentes del Ecuador.

La plataforma experimental de los sumideros simboliza una media vía a escala 1:4 representando la similitud geométrica, cinemática y dinámica del modelo hidráulico, fue construido en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica utilizando acrílico como material principal. Se estudiaron varios escenarios de sumideros T45 con barrotes longitudinales distribuidos en distinta posición.

Adicionalmente se consideraron diferentes caudales de ingreso combinando la pendiente longitudinal de 2 - 4 por ciento y pendiente transversal de 0.5 – 4 – 8 – 12 por ciento.

El estudio experimental se desarrolló en dos fases; la Fase I comprende la ubicación de los sumideros con un nivel +0.00, alcanzando la eficiencia máxima de 84 por ciento con cuatro sumideros con una pendiente longitudinal y transversal de 0.5 y (2 - 4) respectivamente; la fase II examina a los sumideros con un nivel +1.75cm respecto al nivel de la vía, obteniendo la mayor eficiencia de 75 por ciento con cuatro sumideros, combinando la pendiente longitudinal y transversal de 12 y 2 por ciento respectivamente.

ABSTRACT

THEME: “HYDRAULIC MODELING TO DETERMINE THE EFFICIENCY OF MODIFIED DRAIN TYPE T45 WITH LONGITUDINAL BARS OF WATER RAINS”.

AUTHOR: Mariela Monserrath Robalino Lara

TUTOR: Ing. MEng. Lenin Rafael Maldonado Narváez

The main objective of this project is to determine the efficiency of storm drain inlets located on urban roads – our proposed curb inlets were designed with an alternate geometry to the conventional models and complying with the parameters established in current regulations of Ecuador.

The experimental platform of the curb inlet frames symbolizes a half way at 1: 4 scale representing the geometric, kinematic and dynamic similarity of the hydraulic model. The model was built at the Laboratory of Hydraulics of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering using acrylic as the main material. Several scenarios of curb inlets with longitudinal bars distributed in different positions were studied.

Additionally, different rain water flows were considered by combining the longitudinal slope of 2-4 percent and the transverse slope of 0.5-4-8-12 percent.

The experimental study was developed in two phases; Phase I includes the location of the curb inlets with a 0.00 level, reaching the maximum efficiency of 84 percent with four curb inlets with a longitudinal and transverse slope of 0.5 and (2-4) respectively. Phase II examines the curb drains with a level + 1.75cm above the level of the road, obtaining the highest efficiency of 75 percent with four curb inlets (drains), combining the longitudinal and transverse slope of 12 and 2 percent respectively.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

El diseño y comportamiento hidráulico que presentan los sumideros, ha dado un impacto notable en el mejoramiento de la eficiencia respecto a la capacidad de captación de agua lluvia en zonas urbanas, incorporando manuales de carreteras con instrucciones y criterios de obras hidráulicas. [1]

A nivel mundial las obras de drenaje que mayor problema han presentado son los caños¹ y alcantarillas, por mostrar una limitada capacidad de desagüe, características topográficas irregulares y en ciertos casos la construcción inadecuada de la vía, esto ha provocado inundaciones, disgregación o socavación en la calzada, generando pérdidas económicas representativas y congestión vehicular en las zonas afectas. [2]

En algunos países, por las precipitaciones constantes y los cambios de estación, se han buscado alternativas para mejorar el manejo del desalojo de agua lluvia, como es el caso de Iberoamérica que determinó que la mejor eficiencia se obtiene colocando los sumideros fuera de la calle. [3] [4]

¹ Tubo por donde circula el agua hasta llegar a la conexión de tuberías

En España se ha destacado la Institución de Carreteras, por analizar la recolección de agua mediante sumideros presentes en las vías, estableciendo criterios hidromorfológicos para mejorar su eficiencia. De igual manera Estados Unidos ve importante establecer una norma en la que se cumplan las condiciones de pendientes transversales y longitudinales, sección tipo, geomorfología del cauce, topografía, entre otras condiciones tomando en cuenta que el diseño y construcción vial influye directamente en el desalojo de la escorrentía. [2]

En Bogotá en la Universidad Militar Nueva Granada se realizaron estudios con sistemas de drenaje de aforos con el fin de comparar la eficiencia entre los sumideros convencionales y modelos nuevos utilizando las normas vigentes del país, como es el caso de sumideros limpios, con presencia de basura, convencionales y tipo ventana. Con el objetivo de eliminar problemas viales por afectación de la precipitación; el modelo que presenta una eficiencia superior en relación a los otros prototipos se encuentra en los sumideros totalmente limpios alcanzando una eficiencia máxima del 76% con un caudal de ingreso de 76 l/s y simulando una precipitación más alta. [5]

En Chile Enrique Kaliski y Ricardo Cortez establecen una investigación con los modelos hidráulicos en relación a sumideros de aguas lluvias por medio de experimentos aplicados en el funcionamiento de la eficacia de captación incorporada en las calles. Utilizan depresiones de 7cm en las rejillas respecto al nivel de la vía, la investigación está en función de la calle, pendiente longitudinal, transversal, cause y alineación del modelo. La mayor eficiencia es de 83.4% que se presenta en sumideros tipo, con un área de influencia transversal de 0.50m más ancha, el caudal de ingreso es de 120lt/s y la combinación de la pendiente longitudinal y transversal es de 0.1% y 2% respectivamente. [3]

Por la probabilidad de inundaciones y el desarrollo urbanístico en el Ecuador se han desarrollado varios métodos que determinan la eficiencia de sumideros. En la Universidad Técnica de Ambato se han realizado investigaciones con modelos físicos y matemáticos de sumideros T45 variando la geometría y número de escenarios, se han empleado maquetas a escala que mantienen una similitud con el objeto real, y mediante el empleo de ecuaciones matemáticas para generar resultados más apropiados, utilizando el software FLOW 3D. [4]

1.1.2 Justificación

A nivel mundial la dificultad con las inundaciones urbanas por el agua lluvia se da por la falta de capacidad, mal funcionamiento de la red de drenaje o la presencia de basura, estos sistemas de drenaje tienen la funcionalidad de reducir o eliminar las corrientes de agua. Se han buscado metodologías y criterios que ayuden a reducir la peligrosidad ante la presencia de precipitaciones excesivas, con el apoyo de mapas de peligrosidad y riesgo pluvial, con un conocimiento completo en el desarrollo de caudales y profundidades de flujo en las calles de las zonas urbanas y rurales. [7] Para el diseño del alcantarillado pluvial se considera que el agua de lluvia, al encontrarse sobre la superficie pasa de forma instantánea por una serie de tuberías internas de conducción, esto en la realidad no ocurre, porque el agua lluvia fluye por la calzada y solo un porcentaje del caudal total es atrapado por el sumidero. [8] [9]

En Ecuador se han evidenciado inundaciones de gran magnitud en las distintas regiones del país, estas han sido consecuencia de excesivas lluvias, de la crecida de ríos, cambios climáticos y el crecimiento de la población sobre las cuencas urbanas en los últimos años, se busca mejorar el diseño de los sumideros, presentando un mejor desalojo del agua lluvia, construyendo de esta manera en las áreas de drenaje que permiten la eliminación del agua presente en la superficie que puede provocar su

deterioro , existen varias dificultades en relación a la creciente trayectoria del drenaje.[10]

En Ambato la hidráulica de drenaje se presenta de forma compleja debido que no se ha logrado solucionar problemas de forma analítica en las alcantarillas, disipadores de energía entre otros. Sin embargo de manera experimental se han obtenido datos mediante gráficas, monogramas y figuras que permiten obtener información sin adentrarnos totalmente en la teoría del problema. [11]

Se requiere presentar nuevas alternativas de diseño para los sumideros de la zona central del país, buscando un mejoramiento en su capacidad de captación, mediante la implementación de modelos geométricos distintos a los convencionales, con pendientes y alineaciones óptimas que contribuyen en el desalojo de agua lluvia presente en la vía. [12]

Por tal motivo el presente trabajo experimental permite hacer una comparación con los modelos de sumideros T45 analizados anteriormente en la Universidad Técnica de Ambato, como es el caso del proyecto de investigación “Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas lluvias”. Mediante estos criterios se identifica que modelo alcanza mayor eficiencia ante la presencia de la precipitación.

1.1.3 Fundamentación Teórica

Se presentarán normativas vigentes en el Ecuador y criterios de diseño hidráulicos e hidrológicos para conocer el comportamiento que tiene el agua lluvia en la calzada durante la precipitación:

1.1.3.1 Análisis de la Normativa

En el Ecuador se presentan varios criterios para mantener un uniforme diseño de carreteras y caminos, estableciendo parámetros que en ella intervienen, como las condiciones topográficas o la presencia de la Cordillera de los Andes. Se presentan normas destinadas para cada región del país, buscando satisfacer las necesidades de la población y evitando el deterioro o mal funcionamiento de las vías, cumpliendo con los estándares internacionales, parámetros de medio ambiente y alineaciones consideradas. [13]

La norma que regula el Diseño Vial en el Ecuador es el Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, ha desarrollado un plan estratégico para un mejoramiento vial. Clasifica a las carreteras de acuerdo al grado de importancia, involucrándose en el volumen del tráfico, número de calzadas y apropiada visibilidad del camino. Adicionalmente, presenta las condiciones de las instalaciones de drenaje y alcantarillado vial.

Se mencionan otras normas vigentes en el Ecuador usadas en el diseño vial:

La Norma Ecuatoriana Vial, NEVI-12, se encarga del proceso vial y de transporte. Presenta pautas, metodologías y políticas, que aseguran la duración y mantenimiento de las vías, garantizando la calidad, sostenibilidad ambiental y funcionamiento impecable de las mismas. [13]

El Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, está encargado de satisfacer las necesidades locales e internacionales, es responsable de la ejecución y evaluación de los principios de calidad de los materiales.

El material con el cual se trabajará cumplirá la norma NTE INEN 2499 para fundición de hierro dúctil, el grado de resistencia que se va a utilizar es 65-45-12, las dimensiones que presenten serán establecidas con anterioridad, cumpliendo con especificaciones particulares como dureza, acabado superficial, composición química entre otros. [14]

La fabricación para la rejilla de los sumideros cumplirá con la norma NTE INEN 2496 para rejillas de alcantarillado, realizando ensayos previos y verificando el cumplimiento de la resolución establecida, libre de defectos de fabricación. [15]

1.1.3.2 Criterios de alineación

En el diseño vial el alineamiento transversal y longitudinal cumplen un papel relevante, se encuentran directamente relacionados con la visibilidad óptima, capacidad, seguridad y velocidad vial, estas alineaciones trabajan de manera conjunta manteniendo el diseño inicial.

Se busca consistencia en el alineamiento utilizando las normas vigentes establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Se toma criterios de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales AASHTO, para el diseño de carreteras, garantizando la comodidad y seguridad del usuario.

La ubicación en donde se implanten los sumideros permitirá que el agua lluvia tenga una entrada y salida directa, en caso que este requerimiento no cumpla se puede realizar un cambio en el trazado del cauce, una alineación esviajada², impidiendo que el cauce cambie bruscamente de dirección, evitando que se retrase el flujo de la corriente, y provoque un colapso excesivo. [16]

Para determinar el ancho de vía se considera el volumen de tráfico y el tipo de carretera al que pertenece como explica en la tabla 1, este puede ser : autopistas (RI y RII), vías de dos carriles de circulación en ambos sentidos (I y II), vías colectoras (I, II, III y IV) y caminos vecinales (IV y V). Utilizadas para un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).

Tabla 1.- Tipo de ancho de la vía

Ancho de la vía		
Clase de Carretera	Ancho de la Calzada (m)	
	Recomendable	Absoluto
R-I o R-II > 8000 TPDA	7.30	7.30
I 3000 a 8000 TPDA	7.30	7.30
II 1000 a 3000 TPDA	7.30	6.50
III 300 a 1000 TPDA	6.70	6.00
IV 100 a 300 TPDA	6.00	6.00
V < de 100 TPDA	4.00	4.00

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras

Pendiente transversal

La sección de la vía presenta inclinaciones transversales conocidas como bombeo que van desde el eje de la vía hasta sus bordes, esto permite que el agua escurra por la calzada. Para garantizar un buen drenaje el bombeo que se presente debe ser igual o

² Desviación de forma horizontal en la vía.

mayor que 2%. En caso de áreas de constantes lluvias se incrementa a 2.5% para establecer un sistema drenaje apropiado.

Las vías que se encuentran pavimentadas indican una pendiente transversal entre 1.5% y 3%. El Ministerio de Transporte y Obras Publicas recomienda seguir los siguientes criterios, nombrados en la tabla 2, mostrada a continuación. [13]

Tabla 2.- Pendiente Trasversal

Tipo de vía- tráfico promedio diario anual	
Clase de carretera	Pendiente (%)
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: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras

Pendiente longitudinal

La inclinación que presente el diseño estará en función de las características del terreno y el volumen de tránsito, como se expresa en la tabla 3. Se pueden realizar pendientes pronunciadas, pero por razones del espacio entre intercambiadores y cambios de velocidades se recomienda la construcción de pendientes bajas. La pendiente mínima no debe ser menor que 0.5%, ya que mantiene una relación directa con el drenaje vial.

La pendiente máxima será la inclinación mayor en la investigación, su construcción se da solo en casos extremos en áreas urbanas y en bajadas manteniendo la circulación en un solo sentido. [13]

Tabla 3.- Pendiente Longitudinal Máximo

Pendientes longitudinales máximas						
Clase de Carretera	Valor Recomendado %			Valor Absoluto %		
	L	O	M	L	O	M
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: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras

DONDE:

L = Terreno llano

O = Terreno ondulado

M = Terreno montañoso

1.1.3.3 Análisis Hidrológico

El análisis del aspecto hidrológico es clave para el diseño de la infraestructura de carreteras, se enfoca a la cuantificación, simulación y evaluación por medio de los procesos de funcionamiento hidrológico de la cuenca. Para este estudio se tomará en cuenta varias características como son:

1.1.3.3.1 Método racional

Se define como método para el cálculo de escurrimiento máximo Q, se encarga de calcular la mayor cantidad de flujo, presenta un origen de razonamiento puro. Para su

desarrollo ocupa un factor de proporcionalidad C, que se lo conoce como coeficiente de escurrimiento, que depende de las bases de la cuenca. Este método es el más usado para el diseño de drenaje rural y urbano, se lo utiliza para cuencas con un área menor a 10 Km², sin la necesidad de datos hidrométricos. [14]

El método racional se presenta mediante la siguiente expresión.

$$Q=0.278* C*I*A$$

DONDE:

Q= Caudal máximo (m³/s)

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de precipitación (mm/h)

A= Área de la cuenca (km²)

1.1.3.3.2 Coeficiente de escorrentía superficial

Considerado como la porción de precipitación que se incorpora a la escorrentía superficial, sin presentarse de forma permanente ya que va cambiando conforme el tiempo y el espacio. El valor del coeficiente de escorrentía varía dependiendo las características geomorfológicas, hidrológicas, tipo de precipitación, materia orgánica y de la alineación de las carreteras de estudio. Los valores de escorrentía pueden tomarse entre $0 \leq c \leq 1$.

En las tablas 4, 5, 6, 7 y 8 se destacan los valores del coeficiente de escurrimiento según la topografía, tipo de suelo, zona y material de construcción.

Tabla 4.- Factor de escorrentía según la topografía, suelos y coberturas

FACTORES DE CLASIFICACIÓN		VALORES DE C' (*)
Topografía	Terreno plano, con pendiente de 0.15%	0.3
	Terreno ondulado, con pendiente de 0.35%	0.2
	Terreno accidentado, con pendiente de 4.00%	0.1
Suelos	Arcilloso - Firme	0.1
	Arcilloso - Arenoso	0.2
	Arcilloso - arenoso suelto	0.4
Cobertura	Terrenos cultivados	0.1
	Bosques	0.2

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

Tabla 5.- Factor de escorrentía según la topografía

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

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

Tabla 6.- Factor de escurrimiento en zonas urbanas

Tipo de zona	Valores de C
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas.	0.7-0.9
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles. pavimentadas	0.7
Zonas residenciales medianamente pobladas.	0.55-0.65
Zonas residenciales con baja densidad.	0.35-0.55
Parques, campos de deportes.	0.1-0.2

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, EX-IEOS

Tabla 7.- Factor de escorrentía para zonas de drenaje

Tipo de superficie	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o Impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas Condiciones	0.85-0.9
Pavimentos de hormigón	0.80-0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75-0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4-0.5
Pavimentos de macadam	0.25-0.6
Superficies no pavimentadas	0.1-0.3
Parques o jardines	0.05-0.25

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

Tabla 8.- Coeficiente de Rugosidad usados en laboratorio

Material	Coeficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams CH	Coef. rugosidad absoluta (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022		45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.45
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods

1.1.3.3 Área de drenaje

Se la conoce también como cuenca de drenaje, cuenca colectora o área de captación, para su diseño depende de características hídricas, geomorfológicas, comportamientos hidrológicos, topografía del terreno, geología, cobertura vegetal entre otros. [17]

Para trazar el recorrido del área de drenaje, se tomará en cuenta el punto de análisis o concentración, este se puede encontrar en cualquier sitio a lo largo de la corriente. Para el estudio de alcantarillas se seleccionará la ubicación de la estructura hidráulica propuesta en zonas urbanas, recordando que si el agua lluvia cae dentro de la cuenca de drenaje se mantiene en la corriente, mientras que si se desvía se aleja de la misma

y se incorpora a una corriente distinta. Los resultados que se obtengan deben encontrarse dentro del 5% de área real, para proceder a su diseño. [18]

1.1.3.3.4 Tiempo de concentración

Se considera el tiempo que tarda en recorrer el agua desde el extremo superior de la cuenca colectora hasta el punto final de análisis, realizando una trayectoria hidráulica, medida en unidades de tiempo. El tiempo de concentración real depende del tamaño y geometría que esta presenta es decir si se manifiesta con gran longitud tendrá mayor tiempo de concentración, sin embargo, a mayor pendiente incrementará las velocidades de flujo y disminuye su tiempo de concentración.

Varias cuencas colectoras pueden tener similares características como área de drenaje o la misma cubierta vegetal, pero si presentan formas distintas los resultados no serán los mismos. [18]

El tiempo de concentración de un drenaje pluvial:

$$t_c = t_o + t_f$$

Donde:

t_o = tiempo de entrada (tiempo en que la lluvia entra al sistema)

t_f = tiempo de flujo (tiempo que se encuentra dentro del sistema)

1.1.3.3.5 Período de retorno

Se define como el intervalo de recurrencia (T), es el número promedio determinado en años, en donde el caudal máximo de creciente iguala o excede el acontecimiento, estos eventos son impredecibles. A este parámetro se lo estima como el inverso de probabilidad, considerando que, si el tiempo de retorno es corto, la probabilidad de ocurrencia es elevado y si el período de retorno es largo ocurre lo contrario. [20]

Para la determinación del período de retorno se considera la relación de la vida útil de la estructura y la posibilidad de excedencia de un suceso como se expresa en la tabla 9, además de las características de la cuenca y su drenaje. [20]

Tabla 9.- Período de retorno en diferentes obras

Tipo de obra	Período de retorno (años)
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 Transportes, Instituto Nacional de Vías, Manual de drenaje para carreteras, 2009

1.1.3.3.6 Caudal de diseño

Caudal óptimo recolectado en el área de drenaje que determina la demanda final del período de diseño, se efectuará dependiendo del período de retorno que la obra presente. El caudal va aumentando conforme se acumula la distancia del colector, dependiendo de los datos hidrológicos obtenidos y la topografía del terreno.

De acuerdo a la ex - norma IEOS, para la determinación del caudal de diseño de aguas lluvias, se puede realizar utilizando tres criterios como es el método racional, método del hidrograma unitario sintético y análisis estadístico. [17]

1.1.3.3.7 Duración de lluvia

Es el intervalo de tiempo desde que comienza hasta que finaliza la precipitación, busca mantener una igualdad con el tiempo de concentración del proyecto que se está analizando. Se considera que la duración de lluvia es inversamente proporcional a la intensidad, a mayor duración la intensidad disminuye, mientras que a menor duración de lluvia aumenta la intensidad.

1.1.3.3.8 Intensidad

Se define como la cantidad de lluvia que cae en un punto, por unidad de tiempo siendo inversamente proporcional a la duración de la lluvia, para la ejecución de obras hidráulicas es importante conocer sobre las intensidades extremas de precipitación, la duración y la frecuencia. Para conocer los valores máximos de intensidades se realizan estudios con períodos de retornos de 2, 5, 10, 25 y 100 años. [22]

La intensidad promedio es la que se usa frecuentemente y esta expresada mediante la siguiente fórmula:

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

La fórmula para determinar la intensidad máxima, también se la conoce como ecuación tipo.

$$i = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Donde:

i = Intensidad (mm/h)

P = Precipitación (mm)

t = Duración (h)

T = Período de retorno (años)

K, m, n = Constantes de ajuste propias de cada estación

1.1.3.3.9 Valor de la intensidad

El objetivo principal de la INAMHI es determinar las intensidades máximas de la precipitación mediante las estaciones pluviográficas en el Ecuador.

En la tabla 10 se encuentran las coordenadas de ubicación, el lugar y la altitud de la estación M0066 de Ambato que mide la intensidad máxima de la lluvia.

Tabla 10.- Estaciones pluviométricas utilizadas para el estudio con sus respectivas series de datos de intensidades máximas

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: Mariela Robalino

En la tabla 11 se expresan las fórmulas para la determinación de intensidad, para una estación de M0066 ubicado en la ciudad de Ambato.

Tabla 11.- Ecuación idf para estaciones seleccionadas

Estación		Intervalos de tiempo	Ecuaciones	R	R ²
Código	Nombre	(minutos)			
M0066	AMBATO AEROPUERTO	5 < 30	$i = 95.7035 * T^{0.2644} * t^{-0.5192}$	0.9737	0.948
		30 < 120	$i = 226.883 * T^{0.2204} * t^{-0.7568}$	0.9897	0.9794
		120 < 1440	$i = 438.0411 * T^{0.1712} * t^{-0.8664}$	0.9983	0.9966

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Mariela Robalino

Para realizar la curva de intensidad- duración- frecuencia se utilizan períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, y 100 años para intervalos de tiempo de 5 < 30, 30 < 120, 120 < 1440, expresados en las tablas 12, 13 y 14.

Tabla 12.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 5 < 30 min -Estación Ambato

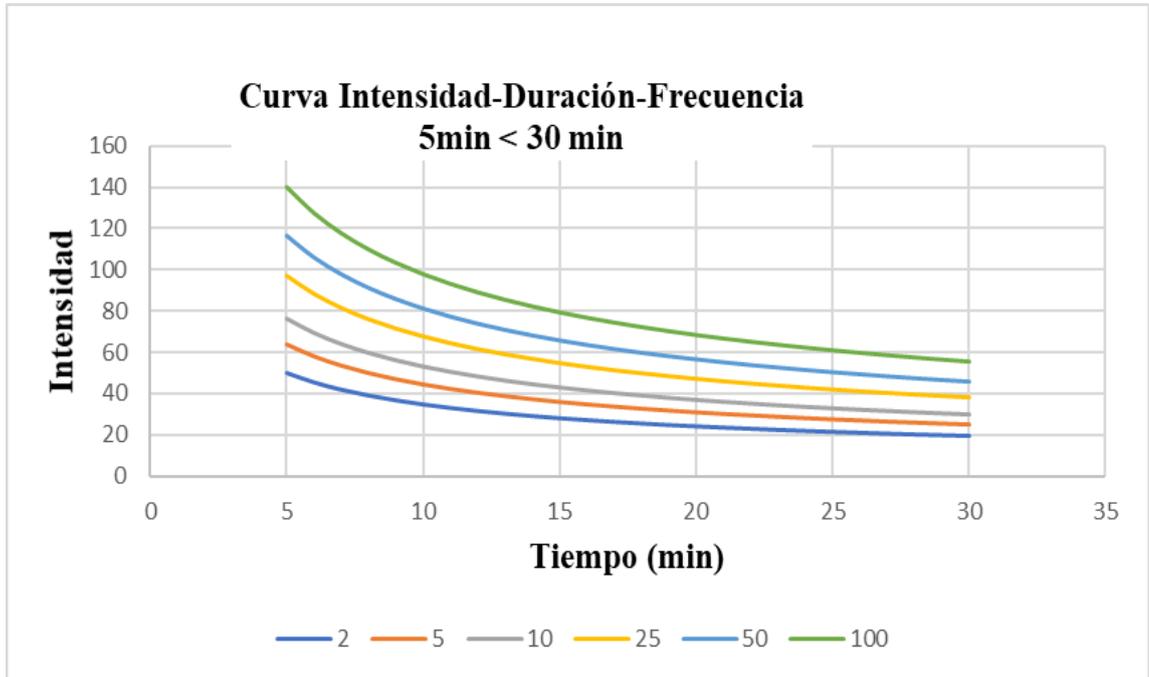
Período de retorno T (años)						
T (min)	2	5	10	25	50	100
5	49.8	63.5	76.3	97.2	116.7	140.2
6	45.3	57.8	69.4	88.4	106.2	127.6
7	41.9	53.3	64.1	81.6	98.0	117.7
8	39.1	49.8	59.8	76.1	91.5	109.9
9	36.7	46.8	56.2	71.6	86.0	103.3
10	34.8	44.3	53.2	67.8	81.5	97.8
11	33.1	42.2	50.7	64.5	77.5	93.1
12	31.6	40.3	48.4	61.7	74.1	89.0
13	30.4	38.7	46.4	59.2	71.1	85.4
14	29.2	37.2	44.7	56.9	68.4	82.2
15	28.2	35.9	43.1	54.9	66.0	79.3
16	27.2	34.7	41.7	53.1	63.8	76.7
17	26.4	33.6	40.4	51.5	61.8	74.3
18	25.6	32.7	39.2	50.0	60.0	72.1
19	24.9	31.8	38.1	48.6	58.4	70.1
20	24.3	30.9	37.1	47.3	56.8	68.3
21	23.7	30.1	36.2	46.1	55.4	66.6
22	23.1	29.4	35.3	45.0	54.1	65.0
23	22.6	28.8	34.5	44.0	52.9	63.5
24	22.1	28.1	33.8	43.0	51.7	62.1
25	21.6	27.5	33.1	42.1	50.6	60.8
26	21.2	27.0	32.4	41.3	49.6	59.6
27	20.8	26.5	31.8	40.5	48.6	58.4
28	20.4	26.0	31.2	39.7	47.7	57.3
29	20.0	25.5	30.6	39.0	46.9	56.3
30	19.7	25.1	30.1	38.3	46.0	55.3

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 1, 2 y 3 se presenta la curva intensidad – duración – frecuencia para intervalos de tiempo de 5 < 30, 30 < 120, 120 < 1440, expresados en las tablas 13-15.

Figura 1.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 5 min < 30 min- Estación Ambato



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Mariela Robalino

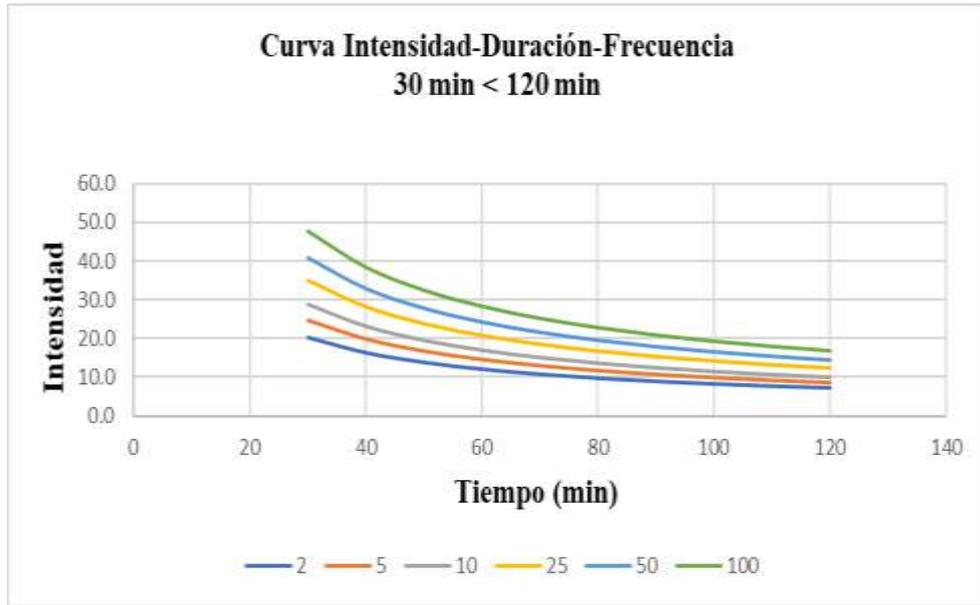
Tabla 13.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 30 min < 120 min -Estación Ambato

Período de retorno T (años)						
T (min)	2	5	10	25	50	100
30	20.1	24.7	28.7	35.2	41.0	47.7
40	16.2	19.8	23.1	28.3	32.9	38.4
50	13.7	16.8	19.5	23.9	27.8	32.4
60	11.9	14.6	17.0	20.8	24.2	28.2
70	10.6	13.0	15.1	18.5	21.6	25.1
80	9.6	11.7	13.7	16.7	19.5	22.7
90	8.8	10.7	12.5	15.3	17.8	20.8
100	8.1	9.9	11.6	14.1	16.5	19.2
110	7.5	9.2	10.7	13.2	15.3	17.9
120	7.1	8.6	10.1	12.3	14.3	16.7

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 2. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 30 min < 120 min- Estación Ambato



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Mariela Robalino

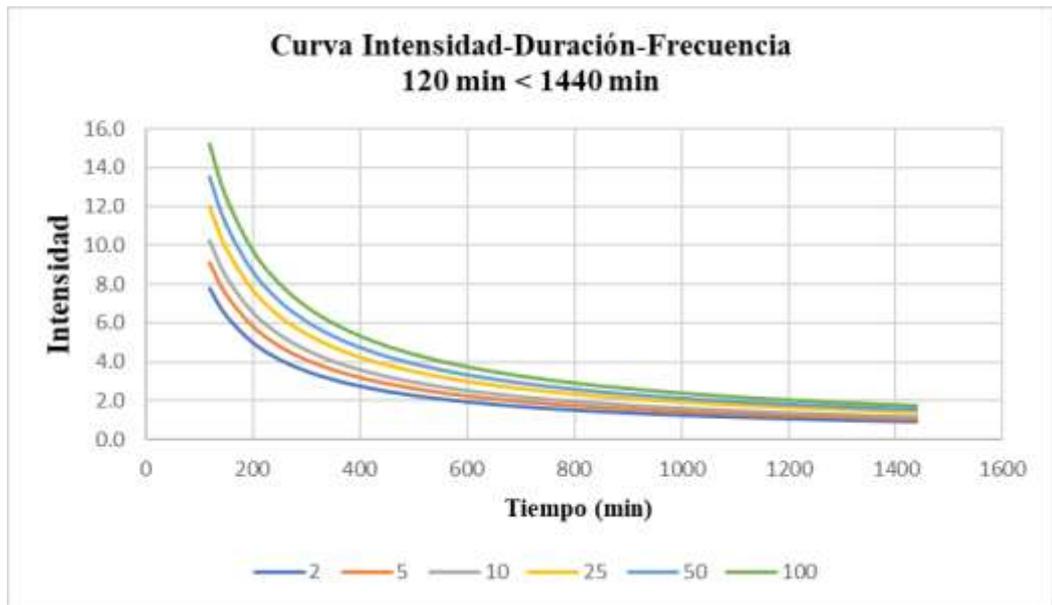
Tabla 14.- Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 120 min < 1440 min -Estación Ambato

Período de retorno T (años)						
T (min)	2	5	10	25	50	100
120	7.8	9.1	10.3	12	13.5	15.2
200	5	5.9	6.6	7.7	8.7	9.8
300	3.5	4.1	4.6	5.4	6.1	6.9
400	2.7	3.2	3.6	4.2	4.8	5.4
500	2.3	2.6	3	3.5	3.9	4.4
600	1.9	2.3	2.5	3	3.4	3.8
700	1.7	2	2.2	2.6	2.9	3.3
800	1.5	1.8	2	2.3	2.6	2.9
900	1.4	1.6	1.8	2.1	2.4	2.7
1000	1.2	1.5	1.6	1.9	2.2	2.4
1100	1.1	1.3	1.5	1.8	2	2.2
1200	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1
1300	1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9
1400	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8
1440	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 3. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia 120 min < 1440 min- - Estación Ambato



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI

Realizado por: Mariela Robalino

1.1.3.4 Análisis Hidráulico

Determina las condiciones que se consideran al llevar a cabo una obra hidráulica.

1.1.3.4.1 Hidráulica de canales abiertos

El flujo de canal abierta presenta una superficie libre, por esta circula el caudal por acción de la gravedad, se presenta de forma natural como es el caso de ríos, lagos o incluso mares y de forma artificial en la construcción de canal de desagües, acequias, canaletas utilizando materiales acordes a su necesidad.

La pendiente, profundidad de flujo y la superficie libre del caudal actúan de manera independiente en el análisis de canales abiertos por los cambios que se manifiestan a lo largo del tiempo. Dependiendo de la corriente que presenten pueden tener forma trapezoidal, rectangular, cuadrado, circular o irregulares.

Se considera como canal abierto el diseño de alcantarillas de aguas lluvia, esperando que se mantenga el flujo en su mayor parte de forma superficial. [23]

1.1.3.4.2 Elemento geométrico

Sección de un canal por donde circular libremente el caudal, se diseña considerando las dimensiones, sección que mantenga el canal y la profundidad de flujo, son utilizados en la determinación del escurrimiento.

En el caso de los canales naturales se manifiesta de manera irregular, mientras que para canales artificiales se usan secciones con una geometría regular, las más frecuentes son: rectangulares, circulares, triangulares, parabólicas y trapezoidales. Para el análisis y el estudio de elementos geométricos se determina:

- Profundidad de flujo (y): Es conocida como tirante o calado, es la diferencia entre el punto más bajo y espacio libre.
- Nivel de elevación: Medida vertical sobre una cota establecida.
- Ancho superficial (T): Ancho que presenta el canal.
- Área mojada (A): Área de la sección de un flujo en movimiento.
- Perímetro mojado (P_m): Longitud que rodea la superficie mojada del canal.
- Radio hidráulico (R_h): Relación entre el área y perímetro mojado.
- Profundidad hidráulica (D): Relación entre área mojada y ancho superficial.

- Factor de sección ($AR^{2/3}$): Producto entre el área mojada y radio hidráulica del canal, esta expresión es elevada a $2/3$. [19]

1.1.3.4.3 Tipo de flujo

En canales abiertos como se mantiene una superficie libre se presentan diferentes tipos de flujo con comportamientos variados, se considera como parámetro primordial la profundidad del flujo y velocidad a lo largo de su trayectoria durante un determinado tiempo y espacio. [23]

1.1.3.4.4 Flujo permanente

El criterio primordial en este tipo de flujo es el tiempo, las propiedades de movimiento y profundidad del fluido no cambian en un intervalo de tiempo determinado, es decir el caudal permanece constante a lo largo de la trayectoria, en caso que varíe los cambios son en pequeñas mediadas sin alterar significativamente al flujo. [23]

1.1.3.4.5 Flujo no permanente

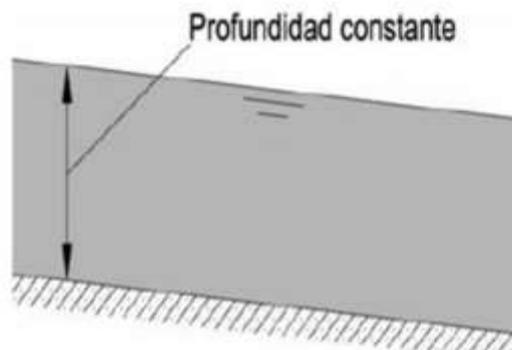
La profundidad de flujo y las características de movimiento presentan una alteración notablemente en el transcurso de su trayectoria. En canales abiertos se estudia más el flujo permanente, sin embargo, ante la presencia del análisis de crecidas o diseño vial se considera determinar los parámetros del flujo no permanente. [24]

1.1.3.4.6 Flujo uniforme

Conocido como profundidad normal, es aquel cuyo fondo del fluido se manifiesta de la misma manera durante toda la sección del canal en relación al espacio estudiado, esta puede ser permanente o no permanente.

El flujo uniforme permanente es continuo como se muestra en la figura 4, las características como la profundidad del flujo y velocidad se muestran constantes en un tiempo determinado, presentándose como un flujo paralelo al canal. Este flujo es el de mayor relevancia en los canales abiertos. [25]

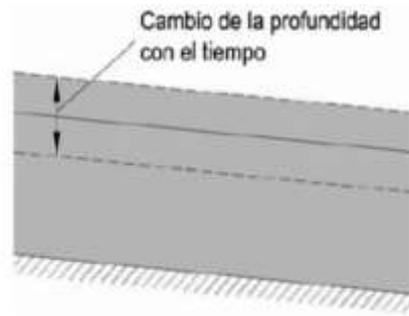
Figura 4. Corte de la sección longitudinal del flujo uniforme permanente



Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

El flujo uniforme no permanente es poco frecuente en la naturaleza como se expresa en la figura 5, es casi imposible que se lo encuentre. Las propiedades del flujo son modificadas drásticamente de un tiempo a otro, sin embargo, el fluido continúa de manera paralela con la base del canal. [21]

Figura 5. Corte de la sección longitudinal del flujo uniforme no permanente



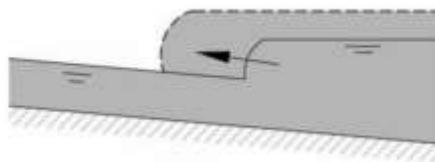
Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA,2008

1.1.3.4.7 Flujo variado

Se muestra como un flujo discontinuo, un ejemplo claro de este flujo es el resalto hidráulico y caída hidráulica. En este tipo de fluido se encuentran secciones, profundidades y velocidades variables a lo largo de su recorrido, clasificándose como rápidamente variable o gradualmente variado. [19]

El flujo rápidamente variable muestra cambios representativos en periodos cortos, se muestra en ciertas ocasiones como pequeños remolinos o de manera turbulenta, formando curvas grades en la corriente, como se indica en la figura 6. Para este tipo de caudal el análisis se realizará de manera minucioso con la fabricación de modelos hidráulicos entregando resultados aproximados a la realidad. [24]

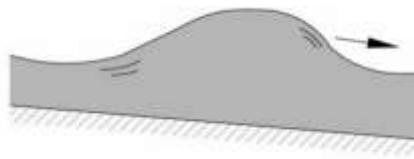
Figura 6. Corte de la sección longitudinal del flujo rápidamente variable



Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA,2008

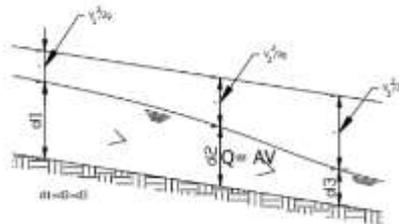
En el flujo gradualmente variado el tirante cambia de manera sucesiva a lo largo de su recorrido, disminuyendo o incrementando el caudal como se indica en la figura 7, esto ocasiona variaciones en la pendiente, cambio de geometría, alteración de rugosidad, obstrucciones a lo largo del conducto entre otras. Pueden ser aceleradas cuando disminuye la profundidad del flujo en dirección del canal como se indica en la figura 8, o retardada, que se presente aguas arriba ante la presencia de un vertedor como la figura 9.

Figura 7. Corte de la sección longitudinal del flujo gradualmente variable



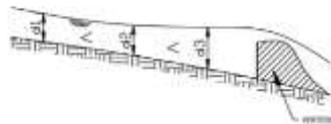
Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA,2008

Figura 8. Flujo gradualmente acelerado



Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA,2008

Figura 9. Flujo gradualmente retardado



Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA,2008

1.1.3.4.8 Estados de flujo

Los parámetros que dominan el estado de flujo en conductos abiertos son la gravedad y viscosidad, mantienen un vínculo con las fuerzas de inercia de la escorrentía. En el

proceso de la ingeniería hidráulica existen propiedades que alteran el funcionamiento del fluido como es el caso de la tensión superficial, sin embargo, este no tiene gran relevancia en el análisis de canales abiertos. [23]

1.1.3.4.9 Efecto de viscosidad

Depende del tipo de comportamiento que la viscosidad presente en el fluido cuando se encuentra en movimiento, puede identificarse como flujo laminar, turbulento o de transición, cada uno con características y propiedades óptimas interviniendo de forma conjunto con la inercia. [23]

1.1.3.4.10 Flujo laminar

En el flujo laminar la fuerza de viscosidad es mayor que la fuerza de inercia, las partículas de agua circulan de forma uniforme y definida, formando laminas o capas paralelas al fluido con un espesor infinitamente pequeño. La velocidad que presenta es baja permitiendo que fluya suavemente, con una trayectoria regular y con separación apropiada impidiendo que las partículas de agua choquen o se intercambien entre sí, esto se representa en la figura 10. [24]

Figura 10. Flujo laminar



Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta y A. Saiz, Canales abiertos, Universidad de Sonora, SONORA,2012

1.1.3.4.11 Flujo turbulento

En el flujo turbulento la fuerza de inercia es mayor que la viscosidad, sus partículas rotan libremente a lo largo de trayectorias irregulares, cambian de rumbo de forma significativa impidiendo que el fluido permanezca fijo.

Un flujo se puede tornar turbulento ante la presencia de velocidades elevadas, alta rugosidad en la superficie, gradientes de presión desfavorable o cuando una superficie grande se calienta, expresada en la figura 11. [24]

Figura 11. Flujo turbulento



Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta y A. Saiz, Canales abiertos, Universidad de Sonora, SONORA, 2012

1.1.3.4.12 Número de Reynolds

Relación que existe entre las fuerzas viscosas y fuerzas inerciales de un flujo durante su recorrido, es adimensional. Si el fluido es turbulento el número de Reynolds es grande, mientras que si es laminar ocurre lo contrario. [24]

Se lo representa mediante la siguiente expresión:

$$Re = \frac{V \cdot L}{\mu}$$

DONDE:

Re= Número de Reynolds (adimensional).

V= Velocidad media (m/s).

L= Longitud de la trayectoria (m).

μ = Viscosidad cinemática (m²/s).

Existen parámetros que determinan el intervalo apropiado para el cambio de flujo, estos han sido obtenidos mediante experimentos. Para el presente trabajo se utilizarán los siguientes límites expresados en la tabla 15:

Tabla 15.- Valores límites del Número de Reynolds

Valores límites	
Tipo de flujo	Rango
Flujo laminar	Re < 2000
Flujo turbulento	Re > 4000
Flujo de transición	2000 < Re < 4000

Fuente: P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008

Realizado por: Mariela Robalino

1.1.3.4.13 Número de Froude

Se define como la relación del efecto de las fuerzas inerciales y gravitacionales de un fluido en movimiento, su valor es adimensional.

A esta relación se la expresa mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

DONDE:

F= Número de Froude (adimensional)

V= Velocidad media (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m²/s)

L= Longitud de la trayectoria (m)

El número de Froude es importante en la ingeniería hidráulica, este analiza los diferentes tipos de regímenes de flujo en canales abiertos. [26]

Para el análisis del número de Froude, se considera los criterios planteados en la tabla 16.

Tabla 16.- Tipo de flujo según el efecto de gravedad

Régimen de flujo	
Tipo de flujo	Condición
Flujo crítico	$F = 1 ; V = \sqrt{g * D}$
Flujo Subcrítico	$F < 1 ; V < \sqrt{g * D}$
Flujo Supercrítico	$F > 1 ; V > \sqrt{g * D}$

Fuente: J. Saiz, M. Olavarrieta y A. Saiz, Canales abiertos, Universidad de Sonora, SONORA,2012

Realizado por: Mariela Robalino

1.1.3.4.14 Régimen de flujo

Al relacionarse las fuerzas viscosas y de gravedad generan 4 regímenes de flujo, que se muestran en la tabla 17.

Tabla 17.- Condiciones del tipo de flujo según Número de Reynolds y Froude

Régimen de flujo		
Tipo de flujo	Reynolds	Froude
Subcrítico-laminar	$Re < 2000$	$F < 1$
Supercrítico-laminar	$Re < 2000$	$F > 1$
Subcrítico-turbulento	$Re > 4000$	$F < 1$
Supercrítico-turbulento	$Re > 4000$	$F > 1$

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, Bogotá, Mc Graw-Hill,2004

Realizado por: Mariela Robalino

El flujo subcrítico- laminar y supercrítico-laminar no se manifiestan fácilmente en la hidráulica de canales, la profundidad que en ellas existe es pequeña, por lo cual el análisis de este tipo de flujos se volverá relevante al estudiar modelos hidráulicos o ante el control de erosión en fluidos. Ocurre lo contrario con los flujos turbulentos, debido que se encuentran frecuentemente en problemas de ingeniería. [23]

1.1.3.4.15 Ecuación de Chezy

Desarrollada por Antonie Chezy, es empleada para el estudio y análisis de la velocidad media en canales abiertos con la restricción que el flujo sea uniforme y permanente. Se la expresa con la siguiente ecuación: [24]

$$V = C * \sqrt{R * S}$$

Para el cálculo del coeficiente de Chezy “C”, se establecen diversas fórmulas, las más representativas son de Kutter, Bazin y Manning. La ecuación que se utilizará en el presente trabajo será la de Manning cuyo parámetro fundamental es el radio hidráulico y rugosidad del material del cual estará elaborado el canal. [24]

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

DONDE:

V= Velocidad media (m/s)

C= Coeficiente de Chezy ($m^{1/2}/s$)

R= Radio hidráulico (m)

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

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

1.1.3.4.16 Ecuación de Manning

Ecuación establecida por Robert Manning, es la fórmula más empleado en el análisis de flujo uniforme y permanente en canales con superficie libre. Obtenida mediante datos experimentales de Bazin con un ajuste de curvas, siendo empírica en la naturaleza. [26]

Se la calcula mediante la siguiente expresión:

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

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)

J. Saiz, M. Olavarrieta y A. Saiz, en Canales abiertos establece que para la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning se considerarán diversos criterios como son los “factores de rugosidad superficial, vegetación, irregularidad y alineamientos de canal, sedimentación y socavación, obstrucción, tamaño y forma, nivel y caudal, cambio estacional”

1.1.3.5 Análisis dimensional, similitud y diseño hidráulico

Para el diseño y construcción, de modelos hidráulicos se manifiestan los siguientes criterios:

1.1.3.5.1 Análisis dimensional

El análisis dimensional permite realizar un estudio con mayor facilidad respecto a los fenómenos hidráulicos, los parámetros que en ella se generan pueden ser evaluados mediante lógica matemática, reduce el número de ensayos mediante la simulación de modelos físicos que son equivalentes con el prototipo. Se establece un grupo de variables para determinar los mecanismos que gobiernan al flujo, mediante pruebas experimentales.

Las dimensiones que caracterizan el campo físico en la hidráulica son las magnitudes fundamentales y derivadas, mediante esto se podrá realizar un estudio de todos los parámetros que describe un problema hidráulico.

Es importante mencionar que en las magnitudes derivadas pueden expresarse como combinación de las fundamentales, lo que no ocurre con las magnitudes fundamentales como son la longitud (L), tiempo (T) y masa (M), estas no se pueden expresar en otras que no sean las mismas. [27]

Se pueden encontrar variables geométricas, cinemáticas o dinámicas en los campos hidráulicos, con magnitudes fundamentales y derivadas como se describe en la tabla 18.

Tabla 18.- Análisis dimensional en relación con la magnitud fundamental y derivada

Magnitud	Variable geométrica	Variable cinemática	Variable dinámica
Fundamental	Longitud (L)	Longitud (L) - Tiempo (T)	Longitud (L) - Masa (M) -Tiempo (T)
Derivada	Área (L ²) - Volumen (L ³)	Velocidad (L/T o L*T ⁻¹)	Fuerza (M*L*T)

Fuente: J. Anta, Análisis dimensional y semejanza, Desarrollo de modelos a escala, Universidad de Coruña, España ,2008

Realizado por: Mariela Robalino

Para establecer las dimensiones de una magnitud derivada se debe cumplir con el principio de homogeneidad. M. Hidalgo en la introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas dice que “Cualquier ecuación deducida analíticamente, que presente un fenómeno físico y por ende una magnitud; debe dicha ecuación satisfacer cualquier sistema de unidades”. Pueden estar expresado como magnitudes del sistema absoluto (C.G.S.) y gravitacional (MKS), como se describe en la tabla 19.

Tabla 19.- Principio de homogeneidad dimensional, magnitud absoluta y gravitacional

Magnitud	C.G.S en función de la longitud, masa, tiempo	M.K.S En función de la longitud, fuerza, tiempo
Densidad	ML^{-3}	$FL^{-4}T^2$
Aceleración	T^{-1}	T^{-1}
Caudal	L^3T^{-1}	L^3T^{-1}
Fuerza o peso	MLT^{-2}	F
Presión o tensión	$ML^{-1}T^{-2}$	FL^{-2}
Peso específico	$ML^{-2}T^2$	FL^{-3}
Energía por unidad de peso	L	L
Energía por unidad de volumen	$ML^{-1}T^{-2}$	FL^{-2}

Tabla 19: Principio de homogeneidad dimensional, magnitud absoluta y gravitacional

Magnitud	C.G.S en función de la longitud, masa, tiempo	M.K.S En función de la longitud, fuerza, tiempo
Viscosidad	$ML^{-1}T^{-1}$	$FL^{-2}T$
Viscosidad cinemática	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
Tensión superficial	MT^{-2}	FL^{-1}
Trabajo de energía	ML^2T^{-2}	FL

Fuente: M. Hidalgo, Introducción a la Teoría de Modelos Hidráulicos y Aplicación Básica

Realizado por: Mariela Robalino

1.1.3.5.2 Modelo

Los modelos no son exclusivos en el ámbito hidráulico, son una esquematización de la realidad. Pueden tener una reducción o ampliación de escala con relación del prototipo (objeto real) dependiendo lo que se va a estudiar.

Su elaboración evita la construcción de una obra que pueda colapsar de forma inmediata, siendo económicamente menor que un prototipo. Se los emplea para determinar la capacidad hidráulica, la reducción de pérdidas de carga en canales, desarrollar un buen diseño de presas, sifones, estructuras de embalse e incluso puentes.

Los modelos pueden clasificarse como físicos mediante maquetas y matemáticos con el uso de ecuaciones. [28]

1.1.3.5.3 Similitud

La construcción de las obras hidráulicas demanda una gran cantidad de dinero, se han buscado alternativas que permitan estudiar y analizar el comportamiento de estas obras antes de su ejecución, para lo cual se elaboran modelos a escala en los laboratorios, que cumplan y satisfagan todas las condiciones homólogas de la estructura real.

Su fabricación debe ser precisa, tomando en cuenta que un mal diseño puede presentar alteraciones en la circulación del flujo y mostrar resultados errados, se toman en cuenta criterios para la reducción o ampliación de la escala asegurando que el modelo se asemeje lo más posible al prototipo y permita observar el fenómeno hidráulico de forma aceptable. El costo de este modelo en relación al real es grande y entrega beneficios apropiados para la investigación.

Hay momentos en los que el modelo sobrepasa las dimensiones del prototipo, esto ocurre en casos particulares, como es en el estudio del flujo alrededor de un álabe de turbina, fluidos en tubos capilares o flujos alrededor de microorganismos. [28]

1.1.3.5.4 Ley de similitud en modelos físicos

Para que se cumpla el principio de similitud respecto a la relación del modelo y del prototipo, el sistema tiene que cumplir con las condiciones establecidas de similitud geométrica, cinemática y dinámica, las ecuaciones que se emplean son las mismas para el modelo y prototipo con el objetivo de mantener una aproximación en sus resultados finales. [29]

Similitud geométrica

La relación de las medidas del modelo respecto al prototipo es semejante como se expresa en la figura 12, una similitud exacta no se presenta con facilidad, para su análisis se considera las características equivalentes del sólido, modelos de flujo o figuras planas. Se estima que a más de una semejanza con sus longitudes se debe presentar una igualdad respecto a la rugosidad superficial que limita el flujo. [29]

La similitud geométrica se expone mediante la siguiente fórmula:

$$e_L = \frac{L}{L_m}$$

DONDE:

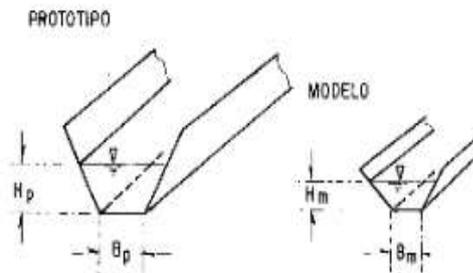
e_L = Escala longitudinal (m)

L = Longitud del prototipo (m)

L_m = Longitud del modelo (m)

La similitud en los modelos falsos o distorsionados no va a tener la misma escala en todas sus dimensiones, presenta una variación en sus medidas horizontales y verticales, pero sigue siendo geoméricamente similar. Existen casos en los que el producto no cumple la condición de similitud por el lugar en donde se está investigando y el espacio es reducido, esto se convierte en un limitante. Si el valor de escala entre las longitudes es inadecuado los resultados finales serán erróneos, presentándose situaciones en el que se obtiene un flujo turbulento en vez de un laminar.

Figura 12. Similitud geométrica



Fuente: G. Echávez, Introducción a los modelos hidráulicos de fondo fijo y a la Ingeniería Experimental, Universidad Nacional Autónoma de México, MÉXICO, 1996

Similitud cinemática

Describe el movimiento que se genera en el sistema, para que la similitud se cumpla los parámetros geométricos y de tiempo deben ser semejantes respecto al prototipo, esto quiere decir que, si las longitudes se encuentran en relación fija, la velocidad del fluido durante su recorrido mantiene una relación fija de magnitudes de tiempo correspondiente, esto se expresa en la figura 13.

Para que se cumpla el criterio de similitud cinemáticas se establece la siguiente relación:

$$e_V = \frac{e_L}{e_T}$$

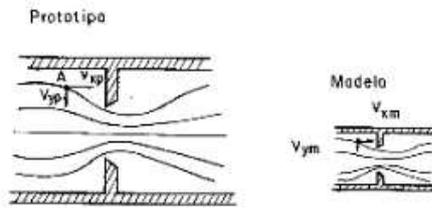
DONDE:

e_V = Escala de velocidad (m/s)

e_L = Escala de longitud (m/s)

e_T = Escala de tiempo (m/s)

Figura 13. Similitud cinemática



Fuente: G. Echávez, Introducción a los modelos hidráulicos de fondo fijo y a la Ingeniería Experimental, Universidad Nacional Autónoma de México, MÉXICO, 1996

Similitud dinámica

Se cumple una similitud dinámica si las fuerzas que actúan en el fenómeno hidráulico cumplen con las condiciones homólogas del modelo y del prototipo, así como se muestra en la figura 14, presentando de igual manera una similitud cinemática y geométrica. La ley de Newton es predominante en este sistema.

$$M \cdot a = \sum F$$

$$M \cdot a = F_p + F_g + F_v + F_t + F_e$$

DONDE:

M= Masa

a= Aceleración

F_p= Fuerza de presión

F_g= Fuerza de gravedad

F_v= Fuerza viscosa

F_t= Fuerza por tensión superficial

F_e = Fuerza de compresión elástica

Debe existir similitud dinámica en el proyecto de estudio, la relación de las fuerzas que actúan a lo largo de su recorrido tiene la misma proporción en todos los puntos del campo del fluido. Se asume que durante el análisis del sistema se encuentran presentes las fuerzas de presión, inercia, viscosidad y gravedad estas deben cumplir la siguiente condición: [25]

$$Constante = \frac{F_{p_p}}{F_{p_m}} = \frac{F_{i_p}}{F_{i_m}} = \frac{F_{\mu_p}}{F_{\mu_m}} = \frac{F_{g_p}}{F_{g_m}}$$

DONDE:

p= Prototipo

m= Modelo

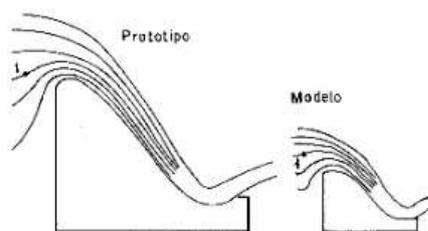
i= Inercia

g= Gravedad

μ = Viscosidad

p = Presión

Figura 14. Similitud dinámica



Fuente: G. Echávez, Introducción a los modelos hidráulicos de fondo fijo y a la Ingeniería Experimental, Universidad Nacional Autónoma de México, MÉXICO, 1996

1.1.3.5.5 Modelo físico

Es la representación parecida o semejante de un fenómeno hidráulico, se muestra reducida en relación a las medias que exponen los sistemas prototipos, los resultados que se obtengan permitirán controlar y observar su comportamiento en relación a las construcciones hidráulicas reales como es el caso de sifones, presas, canales entre otros.

El modelo físico debe ser sencillo, aproximable y que garantice eficiencia, para su construcción se tomará en cuenta las dimensiones, el caudal que va a generar, las líneas de energía y que sobre todo cumpla las leyes de similitud, se lo puede clasificar de la siguiente manera:

Geometrías similares: Las condiciones de escala son las mismas en todas las dimensiones del modelo al igual que los ángulos que presenta el prototipo. Este tipo de modelo se emplea en canales al aire libre.

Falso o Distorsionado: Presentan una apariencia similar a los prototipos, sin embargo, la escala que se utiliza no es la misma en todas las dimensiones geométricas, es decir las medidas horizontales como el caso de las longitudes presenta una reducción o ampliación diferente a las verticales como las profundidades. Es utilizado en estructuras marinas.

Disímil: Se emplea en casos particulares, los modelos no presentan un parecido físico en relación al prototipo, se lo investiga como flujo similar análogo en la hidráulica.

Este modelo se lo puede utilizar en el cálculo del flujo de tuberías mediante un circuito de forma analógica Hidráulica-Eléctrica. [28]

1.1.3.5.6 Escala de modelos hidráulicos

Es la relación que existe entre las dimensiones del modelo y del prototipo, pueden expresarse como escalas de tiempo, velocidad, aceleración, volumen entre otras. Existen criterios para la determinación de la escala del proyecto que depende de información teórica o tipo de práctica que se va a realizar.

1.1.3.5.7 Efectos de escala

En el trabajo que se va a realizar para que exista una escala apropiada se debe mantener una semejanza dinámica, considerando lo siguiente:

$$Re_p = Re_m; Fr_p = Fr_m$$

DONDE:

Re_p = Número de Reynold del prototipo

Re_m = Número de Reynold del modelo

Fr_p = Número de Froude del prototipo

Fr_m = Número de Froude del modelo

Si la condición anteriormente mencionada no ocurre aparece un efecto de escala, puede haberse presentado una alteración geométrica en sus dimensiones con resultados que no se manifiestan en la naturaleza. Al realizar investigaciones experimentales, se

estima como variable dependiente a la fuerza que se ejerce sobre el fluido. Para la ejecución del proyecto se considera la ecuación relevante de la hidráulica, despreciando los efectos de Cauchy.

$$Eu = \frac{F}{\rho * L^2 * V^2} = \emptyset(Re, Fr, We) = \emptyset\left(\frac{\rho * V}{\nu}, \frac{V}{\sqrt{g * L}}, \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho * L}}}\right)$$

DONDE:

Eu = Número de Euler

ρ = Densidad del flujo

V = Velocidad del flujo

L = Longitud

ν = Viscosidad

σ = Tensión superficial

g = Gravedad

Re = Reynolds

Fr = Froude

We = Weber

Para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos se considera los efectos de escala, variables de entrada y salida del fluido, además de los límites en la construcción del modelo, buscando en lo más posible que el modelo sea falso o de distorsión por todos los parámetros que debe cumplir al momento de ensayarlo, provocando una transformación hidrodinámica del flujo. [23]

1.1.3.5.8 Calibración del modelo

Para que un modelo presente los mismos resultados que el prototipo, deben alcanzar una similitud dinámica considerando los parámetros de la tabla 20. En base al coeficiente de resistencia y escala de la geometría que presenta el prototipo, se selecciona un material para la elaboración del modelo, que cumpla con las condiciones del coeficiente de resistencia calculado.

Tabla 20.- Calibración en función de calados y velocidades

Calibración del modelo	
Parámetro	Criterio
Velocidad modelo medida < Velocidad prototipo calculada	EL MODELO ES MÁS RUGOSO QUE EL PROTOTIPO
Calado modelo medido > Calado prototipo calculada	
Velocidad modelo medida > Velocidad prototipo calculada	EL MODELO ES MÁS LISO QUE EL PROTOTIPO
Calado modelo medida < Calado prototipo calculada	

Fuente: M. Hidalgo, Introducción a la Teoría de Modelos Hidráulicos y Aplicación Básica

1.1.3.5.9 Análisis teórico de similitudes mecánica

Estos conceptos son aplicables en la hidráulica estructural y sus correspondientes campos físicos, manteniendo el criterio que las magnitudes físicas del prototipo deben ser iguales o semejantes al modelo. El modelo y prototipo establecen una igualdad mecánica respecto a las dimensiones física y condiciones geométricas.

Según las condiciones de Bertrand relaciona las magnitudes físicas, su función principal es mantener magnitudes de escala geométricas y de tiempo, estas se expresan por las siguientes ecuaciones:

$$e_L = \frac{L_p}{L_m} \text{ Escala de geometría}$$

$$e_T = \frac{T_p}{T_m} \text{ Escala de tiempo}$$

$$e_V = \frac{V_p}{V_m} = \frac{e_T}{e_T} \text{ Escala de velocidad}$$

$$e_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{e_L}{(e_T)^2} \text{ Escala de aceleración}$$

$$e_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{(e_L)^3}{e_T} \text{ Escala de caudal}$$

$$e_{Fi} = e_M * \frac{e_l}{(e_t)^2} = \frac{(e_l)^4}{(e_t)^2} \text{ Escala de fuerzas inerciales } (e_M = e_l^3)$$

DONDE:

e= Escala

p= Prototipo

m= Modelo

L= Longitud del prototipo (m)

T= Tiempo del prototipo (s)

V= Velocidad del prototipo (m/s)

a= Aceleración del prototipo (m/s)

Q= Caudal del prototipo (m³/s)

Fi= Fuerzas de inercia del prototipo (m⁴/s²)

M = Masa

El modelo hidráulico es el que más se parece a la representación de fenómenos hidráulicos que ocurren en el prototipo, busca que el error de similitud sea mínimo. Se exige que la similitud geométrica sea 1, evitando de esta manera que exista un efecto de escala y que alteren de manera significativa los resultados de análisis.

Se identifica las fuerzas que mayor importancia exponen en el fenómeno hidráulico, para poder construir un modelo acorde a las necesidades del investigador, considerando la teoría de similitud de la tabla 21.

Tabla 21.- Fuerzas predominantes en el análisis de la teoría de similitud

Fuerza predominante	Identidad	Similitud particular	Tipo de modelo
Fg gravitacional	Fr=Fr _m	Froude	froudiano
F _μ viscosa	Re=Re _m	Reynolds	viscoso
Fσ tensión superficial	W=W _m	Weber	-----
Fε elástica	Ma=Ma _m	Mach	elástico
Fg, F _μ	Fr=Fr _m Re=Re _m	Froude- Reynolds	grávido-viscoso

Fuente: M. Hidalgo, Introducción a la Teoría de Modelos Hidráulicos y Aplicación Básica

Para el análisis de modelos en canales abiertos las fuerzas que predominan los sistemas son gravitacionales o de peso, por esta razón la similitud de Froude forma un papel importante en el estudio de modelos hidráulicos ya que satisface las condiciones de Newton en la dinámica. Para que cumpla esta condición el prototipo y modelo deben ser iguales. [28]

$$\frac{Fr}{Fr_m} = 1 \quad \text{o} \quad \frac{Fr^2}{Fr_m^2} = 1$$

DONDE:

Fr_r = Número de Froude del prototipo

Fr_m = Número de Froude del modelo

En la similitud de Froude y Reynolds, su modelación es físicamente imposible, por tanto, es necesario determinar el comportamiento de rugosidad, para poder determinar la fuerza predominante en el análisis de estudio del modelo y prototipo.

A continuación, en la tabla 22 se expresan parámetros que imponen Froude y Reynolds.

Tabla 22.- Similitud particular en función de la escala geométrica para modelos compresibles

Similitud particular -idénticos fluidos prototipo y modelo		
Magnitud	Froude	Reynolds
Longitud (L)	e_L	e_L
Tiempo (t)	$e_L^{1/2}$	e_L^2
Velocidad (v)	$e_L^{1/2}$	e_L^{-1}
Aceleración (A)	1	e_L^{-3}
Caudal (Q)	$e_L^{5/2}$	e_L
Presión (Δp)	e_L	e_L^{-2}
Energía (€)	e_L^4	e_L
Fuerza (F)	e_L^3	1

Fuente: M. Hidalgo, Introducción a la Teoría de Modelos Hidráulicos y Aplicación Básica

Realizado por: Mariela Robalino

1.1.3.5.10 Curva de calibración

Para la determinación de aforos existen diversos métodos y equipos, que son empleados dependiendo su necesidad. Estos son los siguientes:

En el caso de escurrimiento lento se usa la sección de control, ante la presencia de cualquier tipo de corriente se usa la relación sección-velocidad y en el caso de no disponer de aparatos de medición se empleará la relación sección-pendiente.

Dentro del análisis de la relación de sección-velocidad, se encuentra la medición de elevaciones, los equipos que se emplean pueden ser manuales o artificiales. Los aparatos manuales son los limnómetros que son regletas graduadas que se colocan dentro del agua, para su medición, la lectura es realizada por un operador.

Elevación-caudal

Al conocer el gasto y la elevación que presenta la superficie del agua, se puede ejecutar la curva de elevación respecto al caudal, todo depende de la sección de control, es importante mencionar que se puede usar la curva elevación-caudal en períodos de tiempos grandes e ir ajustando los gatos con la curva en base a una serie de mediciones de caudales tomados datos esporádicamente; para que cumpla esta condición la sección de control debe ser estable caso contrario los valores obtenidos serán erróneos.

Extrapolación de curvas elevación-caudal

Existen métodos en base a principios hidráulicos que permiten conocer la ecuación de la curva elevación-caudal que relaciona una variación de puntos como se muestra en la figura 15, este método funciona cuando existen caudales altos ya que la medición

del gasto es difícil de ejecutar. Para el presente trabajo se empleará una ecuación potencial. [1] La ecuación para este sistema esta descrito en la tabla 23.

$$y = \alpha * X^\beta$$

Tabla 23.- Parámetro α y β para sumideros con su coeficiente R^2 adj

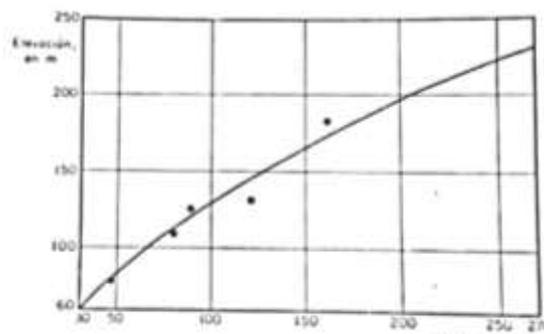
	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	α	α	α	α
	β	β	β	β
	R^2	R^2	R^2	R^2
i = 4%	α	α	α	α
	β	β	β	β
	R^2	R^2	R^2	R^2

Realizado por: Mariela Robalino

Los valores de α , β y R^2 , se obtuvieron mediante una ecuación que se genera por una línea de tendencia que permite obtener nuevos datos mediante la extrapolación, tanto en el modelo hidráulico como el prototipo, los parámetros de α y β tiene igual eficacia; para el coeficiente de determinación ajustado R^2 adj es recomendable que mantenga valores cercanos a 1, para que presente resultados óptimos y satisfactorios

Para la investigación los datos se obtuvieron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica con ayuda del modelo físico con el objetivo de determinar la mayor eficiencia entre sumideros. [30]

Figura 15. Elevación vs gasto



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

1.1.4 Hipótesis

1.1.4.1 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.

1.1.4.2 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.

1.2 Objetivos:

1.2.1 Objetivo General

Determinar la eficiencia hidráulica en la captación de agua lluvia en sumideros T45 modificado con barrotes longitudinales 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

Se describirán los distintos niveles de investigación que abarca el presente proyecto experimental, de forma clara y concisa.

Investigación exploratoria

Se examinará modelos de sumideros T45, tomando en cuenta métodos que determinen factores geométricos en la elaboración de modelos físicos y el análisis de los parámetros viales que intervienen en la construcción de sumideros en zonas urbanas, con ayuda de la normativa ecuatoriana del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Investigación correlacional

Con estudios previos a modelos anteriormente presentados, se obtendrá datos de la eficiencia del caudal, velocidades de flujo y alineación de pendientes, permitiendo investigar una relación en la similitud geometría, cinemática y dinámica de los modelos físicos.

Investigación descriptiva

Esta investigación se ha establecido con la finalidad de determinar la eficiencia de los sumideros de aguas lluvias. Se lo realizará en base a datos e investigaciones de modelos

anteriormente propuestos enfocándose en la elaboración de un modelo físico que cumpla con una escala apropiada.

Investigación explicativa

Permite conocer las características que manifiesta el modelo físico en relación del prototipo hidráulico, siendo su principal factor la similitud geométrica.

La población constará de 36 escenarios descrita en la tabla 24, que son las combinaciones establecidas para la calzada, con pendiente transversal y longitudinal que se muestran en porcentajes, se lo expresa con la siguiente tabla:

Tabla 24.- Combinaciones totales propuestas en la calzada

Combinaciones		
Pendiente transversal	Pendiente longitudinal	Combinaciones
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)%
Número de combinaciones		36

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

En el actual trabajo experimental de las 36 combinaciones establecidas anteriormente, se tomarán para el análisis e investigación únicamente 8, que han sido seleccionadas por ser las más relevantes y por el tiempo de estudio.

Adicionalmente a las 8 combinaciones mencionados, en la investigación se presentan dos pruebas diferentes respecto a los niveles que están ubicados los sumideros, la primera combinación tiene un nivel +0.00, esto quiere decir que esta al ras de la vía, esta combinación se muestra en la tabla 25. El siguiente análisis presenta una elevación con un nivel +1.75cm que se expresa en la tabla 26. Las combinaciones utilizadas se muestran a continuación:

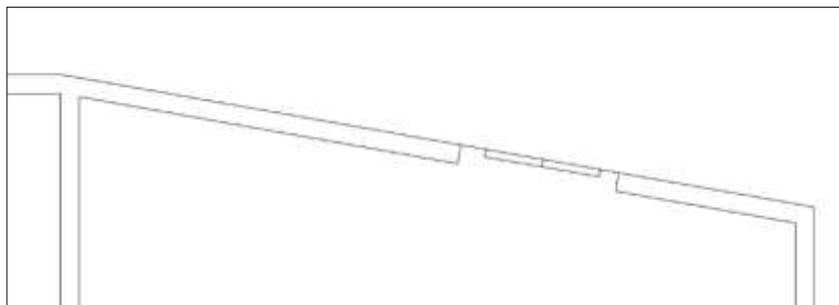
Tabla 25.- Combinaciones utilizadas para la investigación experimental-Nivel +0.00

Combinaciones			
NIVEL + 0.00	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) %
	Número de combinaciones		

Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 16 y 17 se muestran los niveles que se investigaron en el presente trabajo.

Figura 16. Vista lateral del sumidero con Nivel +0.00



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 26.- Combinaciones utilizadas para la investigación experimental-Elevación +1.75cm

Combinaciones			
ELEVACIÓN	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) %
	Número de combinaciones		

Realizador por: Mariela Robalino

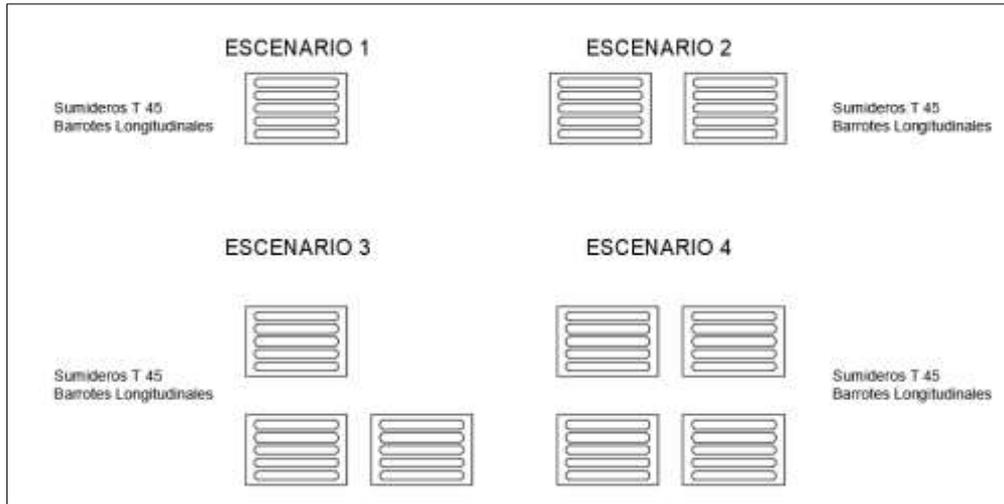
Figura 17. Vista lateral del sumidero con elevación 1.75cm



Realizado por: Mariela Robalino

Tomando en cuenta las combinaciones anteriormente mencionadas se propone cuatro escenarios para la recolección de datos, que se manifiestan en la imagen 18.

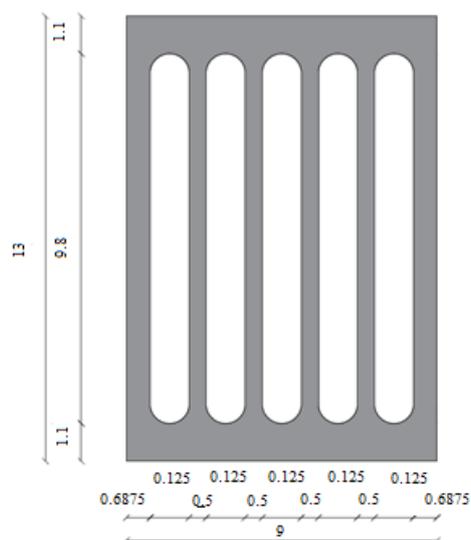
Figura 18. Escenarios para el análisis de sumideros T45 con barrotes longitudinales



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 19 se presentan las dimensiones de la rejilla del sumidero T45 con barrotes longitudinales obteniendo un área de captación de 59.55cm^2 . En la figura 20 se puede observar al modelo del sumidero diseñado en solidwork antes de ser impreso en 3D.

Figura 19. Dimensiones del sumidero T45 con barrotes longitudinales en cm



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 20. Diseño del sumidero t45 con barrotes longitudinales diseñado en solidwork



Realizado por: Mariela Robalino

En la tabla 27 se muestra el total de combinaciones empleadas en el modelo experimental.

Tabla 27.- Combinación total de análisis

Caudal	Escenario	Pendiente longitudinal	Pendiente transversal
Q1	s1	0.50%	2%-4%
	s2	4%	
	s3	8%	
	s4	12%	
Q2	s1	0.50%	2%-4%
	s2	4%	
	s3	8%	
	s4	12%	
Q3	s1	0.50%	2%-4%
	s2	4%	
	s3	8%	
	s4	12%	
Q4	s1	0.50%	2%-4%
	s2	4%	
	s3	8%	
	s4	12%	

Realizado por: Mariela Robalino

Para facilitar la identificación las diferentes combinaciones se ha creado un código, que se muestra en la tabla 28.

Tabla 28.- Código de trabajo

Código	Característica
ES1	Elevación 1 sumideros
ES2	Elevación 2 sumideros
ES3	Elevación 3 sumideros
ES4	Elevación 4 sumideros
ETS	Elevación con todos los sumideros
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 con todos los sumideros
S	Sumidero
Q	Caudal
i	Pendiente transversal - programa
j	Pendiente longitudinal - programa
R ²	Coefficiente de determinación ajustado
PL	Pendiente longitudinal
PT	Pendiente transversal

Realizado por: Mariela Robalino

2.1 Materiales y Equipos

Los materiales y equipos que serán empleados durante la investigación se describen a continuación:

2.1.1 Canal hidráulico

El canal hidráulico se encuentra ubicado en los laboratorios de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica como se muestra en la figura 21. Está compuesta en la parte inferior por un tanque de almacenamiento, que será utilizado para proporcionar agua mediante una bomba centrífuga hacia un depósito amortiguador del canal.

El canal hidráulico puede ser ubicado a una altura apropiada cumpliendo las necesidades de la investigación, consta de una solera de aluminio con paredes de acrílico por donde transcorre el agua.

Figura 21. Canal Hidráulico



Realizado por: Mariela Robalino

Presenta un manual en donde muestra todas las características y datos técnicos del canal hidráulico, estos son:

- El suministro de eléctrica es de 320 volt, 3 Ph, 60 Hz.
- Las dimensiones para la sección de trabajo son: longitud 4m, ancho 0.20m, profundidad 0.30m, el diámetro de la boquilla de medición es de 7.494 cm, el diámetro de la tubería de suministro es de 12.7cm y el coeficiente de descarga de la boquilla de medición es 0.963.
- Para el uso del manómetro de mercurio se ocupa la siguiente fórmula $Q = 7.710 \sqrt{H} \text{ lt/sg}$, donde Q es el caudal y H la altura.
- Para el uso del manómetro de agua se ocupa la siguiente fórmula $Q = 2.008 \sqrt{H} \text{ lt/sg}$, donde Q es el caudal y H la altura.

- La inclinación del canal manifiesta las siguientes características: distancia de muñón al punto de apoyo $l=2m$, inclinación de conexión de la rosca o tornillo es $p=6mm$, relación de transmisión del eje operativo/ tornillo $R=6$ y vuelta por grado 35.

Existe un generador de ondas que simula señales específicas con características determinadas, como indica en el manual:

- Para adaptarse al tamaño del canal es de 20cm, 40cm y 4m.
- El suministro de electricidad es de 220 volt, 3 Ph, 60Hz.
- Motor elaborado por BROOK COMPTON PARKINSON, con número de serie 658713R, número de armazón D71AD, la potencia 0.25 Kw y una velocidad 1650 rev/min.
- El motor de arranque está fabricado por BROOK CONTROL GEAR, su tipo es S12/NLI y tiene una sobrecarga de 1.8/2.7 amps.
- La caja de engranaje fabricada por ALLSPEEDS LTD, con un tamaño G1 y radio de 15.91:1.
- El variador elaborado por ALLSPEEDS LTD y su número de serie 3120072883.
- El variador KOPP 300 series tiene un manual y un esquema de disposición general de 50700 issue.

Este canal hidrodinámico permitirá manipular las medidas de altura y el estado del flujo en el canal, ayudando a que la investigación cumpla con los parámetros de similitud del prototipo hidráulico. [31]

2.1.2 Detector de velocidad de líquidos por sensor térmico

Figura 22. Detector de velocidad de líquidos



Fuente: AXIAMATIC-Detector de Velocidad de líquidos por sensor térmico

Realizado por: Mariela Robalino

El número de serie del equipo es TVL-420, se lo empleará para medir y detectar el flujo en el canal de forma efectiva, para el presente trabajo experimental se encargará de monitorear la fluencia y el comportamiento del líquido, por lo cual el uso del equipo requiere una aproximación alta por su diseño e instalaciones complejas, sin presentar partes móviles ni de mantenimiento, este instrumento se lo muestra en la figura 22.

Muestra dos alarmas con una salida lógica por transmisión, que son activadas al momento que la velocidad de estudio excede su rango, es usada en cualquier tipo de agua ya sea agua residual o en agua potable. Tiene un sistema fundamentado en sensor térmico omnidireccional de baja resistencia y alta sensibilidad para bajos flujos, entregando una salida de 4.20 mA y una velocidad proporcional. El rango de velocidad que entrega es de 0.01 a 4.00 m/seg, con una exactitud de 2%.

Posee una alimentación de 12 a 32 Vdc con flujos máximos de 150 °C y 100 Bar, la sonda de la varilla para inserción es de Φ 6mm y la caja estanca es IP68, además presenta una conexión por racor ajustable ½" GAS, que son las características generales del detector de velocidad de líquidos por Sensor Térmico. [32]

2.1.3 Transmisor de caudal DMM-4000/LFE

Equipo usado para el cálculo del caudal. El transmisor y la sonda se encuentran configuradas y calibradas, por lo cual solo es necesario introducir el dato de la sección del conducto, el transmisor de caudal DMM-4000/LFE se muestra en la figura 23.

El transmisor de caudal está compuesto por un display, un teclado que permite insertar los datos de trabajo, además de presentar una sonda de caudal que es colocada por donde circula el líquido. El manual del equipo presenta características de las zonas en donde se puede instalar de forma efectiva y realizar una calibración de los puntos de trabajo. Se comprobará periódicamente la calibración y que la sonda no muestre la presencia de sólidos.

Las funciones principales que muestra el equipo son: [33]

- Indicador de caudal instantáneo Q_i .
- Acumulador parcial de caudal Q_p .
- Totalizador de acumulador parcial Q_t .
- Indicador de velocidad de flujo Vel .
- Salida de pulso por rebose de acumulador parcial.
- Alarma de máximo y mínimo del caudal instantáneo.
- Salida de alarma máx. y/o mín. de caudal instantáneo.
- Salida analógica 4-20 mA del rango de velocidad de fluido.
- Salida analógica 4-20 mA del rango del caudal instantáneo.

Figura 23. Trasmisor de Caudal



Fuente: DESIN – INSTRUMENTS – Manual de usuario transmisor de caudal DMN – 400 / LFE

Realizado por: Mariela Robalino

2.1.4 Limnómetro

Figura 24. Limnómetro



Realizado por: Mariela Robalino

El Limnómetro es utilizado para determinar la medida de los niveles de caudal, sobre cada uno de los vertederos en el canal de descarga o en el tanque de almacenamiento, pueden ser ubicado en diferentes secciones determinadas para el estudio, la apreciación que el instrumento presenta es de 1mm, a este instrumento se lo puede observar en la figura 24.

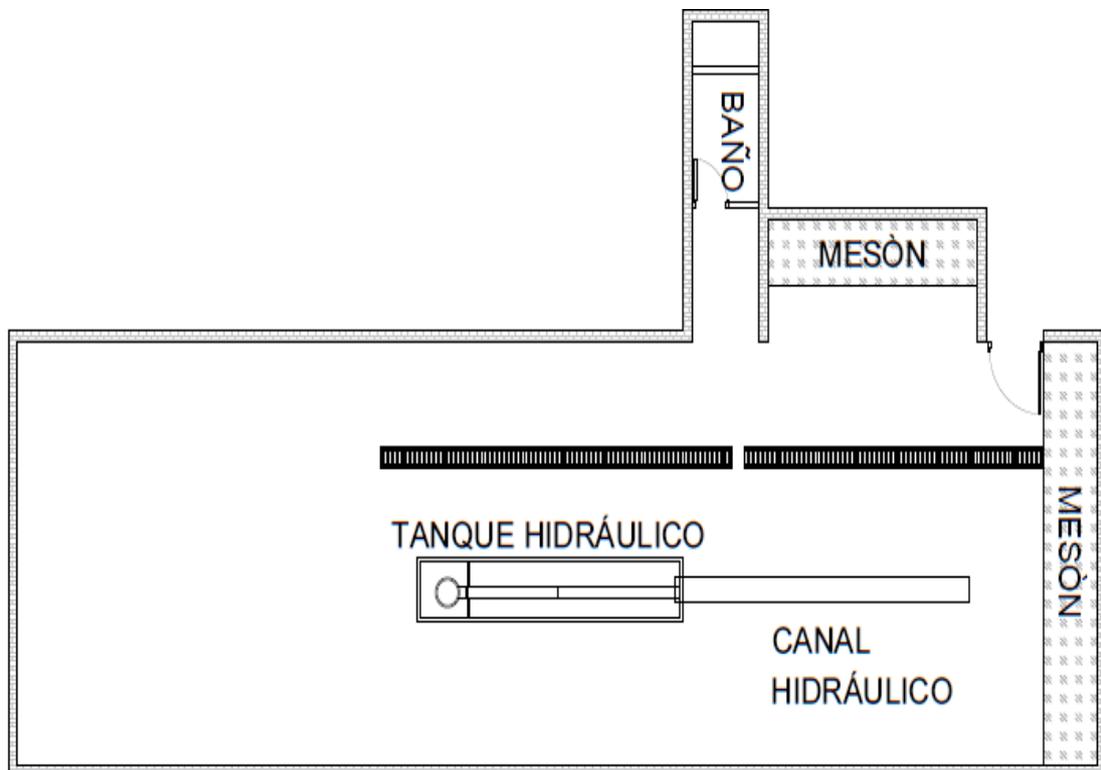
Generalmente para una óptima medición de la profundidad de agua los limnómetros están en un rango de 40 cm y 60 cm, se encuentran encima de un apoyo de madera, ubicadas aguas arriba de cada vertedero, manteniendo siempre la parte inferior del limnómetro sumergida bajo el agua.

Para la determinación del caudal que circula en cada tramo de la investigación se utiliza la curva de elevación/caudal y los valores obtenidos por el limnómetro, es decir que al determinar el nivel que alcanza el agua se puede conocer el caudal que transcurre en ese momento. [34]

2.1.5 Escala del modelo hidráulico

Para la selección de la escala del modelo físico del presente trabajo experimental, se consideró las dimensiones propuestas en el artículo del cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales, que propone una escala de 1:4, tomando como consideración el espacio de trabajo ya que el laboratorio presenta un área de 101.75cm² aproximadamente presentando ciertas restricciones en la zona de operación.

Figura 25. Laboratorio de hidráulica, Facultad Ingeniería Civil y Mecánica



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 25 se muestra la implantación del laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica con su respectivo canal hidráulico.

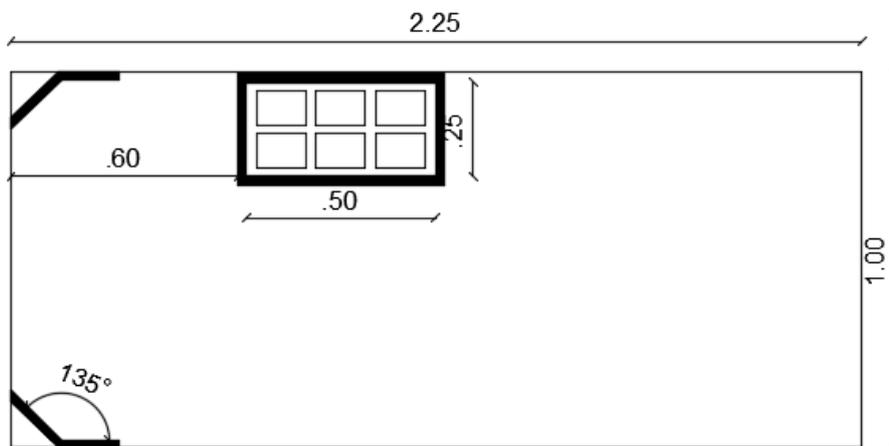
El cálculo y la construcción de los modelos físicos deben evitar la presencia de errores, para no presentar resultados alterados y con ello obtener datos inadecuados respecto al modelo real.

Para el desarrollo de la investigación se busca mantener una similitud geométrica, cinemática y dinámica respecto al prototipo, representado de manera apropiada los fenómenos hidráulicos y a la vez entender su comportamiento.

2.1.6 Modelo físico

Se ejecuta el proyecto mediante la construcción de un modelo físico cumpliendo con las condiciones de similitud dinámica, cinemática y principalmente geométrica, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, con el objetivo de determinar la eficiencia de sumideros T45 con barrotes longitudinales de agua lluvia, el esquema del modelo hidráulico está representado en la figura 26.

Figura 26. Dimensiones de la base del modelo físico



Realizado por: Mariela Robalino

El material que se ocupará en la elaboración del modelo físico será acrílico, ha sido seleccionado por las características similares que presenta el pavimento o el cemento en las vías, la sección que simula la vía tiene una dimensión de 2.25x1.00m por donde circulará el agua, en cada extremo se colocará una pared de 20cm para evitar que el agua se filtre a lo largo de la investigación.

En la figura 27 se muestra un esquema general del modelo hidráulico, en donde se identifica cada parte del sistema.

Figura 27. Vista en planta del modelo hidráulico



Realizado por: Mariela Robalino

Para la implementación de la rejilla de los sumideros el material a utilizar será fibra de cemento, este tendrá que ser lo más liso posible como se muestra en la figura 28.

Figura 28. Impresión 3D de la rejilla con barrotes longitudinales



Realizado por: Mariela Robalino

En la parte final del sistema se incorpora en las paredes laterales tol galvanizado, con una inclinación de 135° , además será recubierta por plástico permitiendo que el agua no salga del sistema y pueda caer nuevamente al tanque de almacenamiento general y este vuelva a circular en el sistema.

2.1.7 Estructura metálica

Se ha construido un soporte metálico para poder simular las pendientes transversales y longitudinales de estudio, estas deberán cumplir con un alineamiento uniforme en cada escenario de estudio, el modelo está representado en la figura 29.

En la base de acrílico se ha instalado un marco con un perfil metálico de L pequeño en todo el contorno del sistema, en la parte interna se requiere que tenga flexibilidad pero que no genere pandeo al momento de las pruebas, por lo cual se ha usado un tubo rectangular, este conjunto funciona monolíticamente.

Figura 29. Estructura de soporte del acrílico



Realizado por: Mariela Robalino

Para generar la nivelación de las diferentes alturas del trabajo experimental, primero se construirá una estructura fija como se muestra en la figura 30 con tubo cuadrado hasta un nivel considerable, en cada esquina de la armadura se colocarán tubos de menor dimensión, para poder regular a un nivel conveniente mediante perillas ubicadas en sus costados.

Para obtener las pendientes transversales y longitudinales en el sistema, una pata permanecerá fija durante todo el proceso y las tres restantes van a tener diferente nivel, sin embargo, la plataforma que simula la vía siempre va a presentar una correcta alineación, por ello adicionalmente se agregan en tres puntos internos un sistema regulador igual al anteriormente mencionado, para que cumpla con las condiciones establecidas en el estudio, esto se presenta en la figura 30.

Para unir las dos estructuras (la estructura de la base del acrílico y el sistema para su nivelación), en cada esquina se ha colocado un resorte y platinas metálicas, con un apoyo que puede ajustarse mediante tornillos.

Figura 30. Estructura de nivelación



Realizado por: Mariela Robalino

2.1.8 Zonas de ingreso del tanque dissipador de energía

El agua llega a través del canal hidráulico y cae de forma perpendicular al dissipador de energía, ocasionando que la carga estática se convierta en energía cinemática por adquirir una velocidad alta. El dissipador de energía controlará el exceso del agua que ingresa.

En la parte posterior del tanque existe una abertura por donde ingresará el agua después de salir del canal hidráulico, en el lado frontal también presenta un hueco que permite desalojar el fluido del tanque dissipador hacia la estructura del modelo hidráulico y que llegue de forma efectiva hacia la rejilla de los sumideros, el diseño del tanque dissipador de energía está en la figura 31.

Figura 31. Tanque disipador de energía



Realizado por: Mariela Robalino

Para que el flujo se estabilice y la velocidad vaya disminuyendo se incorpora una estructura de 60cm de profundidad, 100cm de ancho y 12 cm de espesor, recubierta de una malla metálica y a su vez rellena con ripio que mantiene uniforme el flujo durante el análisis de resultados.

Para poder conectar el tanque disipador de energía con la estructura metálica se ha diseñado una estructura base en donde se apoyará el tanque con una altura de 30cm utilizando un tubo redondo y perfil en L.

2.1.9 Estructura de captación

Bajo la base de la vía será colocado un tanque en forma trapezoidal de 30cm en la parte de los sumideros y 35cm en el extremo opuesto permitiendo que el agua corra libremente a través del depósito. Para la descarga del fluido se realizará una abertura en todo el sentido transversal del tanque por donde se recolectará toda el agua con el objetivo de determinar la cantidad del líquido que ingresa y sale del sistema.

Figura 32. Tanque de captación de agua



Realizado por: Mariela Robalino

El agua al salir del tanque de captación caerá directamente al depósito del almacenamiento para volver a circular en el sistema como se aprecia en la figura 32.

2.2 Métodos

Para la ejecución del presente proyecto se seguirá los siguientes pasos:

2.2.1 Plan de Recolección de Datos

Para determinar la eficiencia de los sumideros T45 con barrotes longitudinales en zonas urbanas se iniciará con:

- Recolección de información sobre investigaciones anteriormente presentadas en relación a la eficiencia de sumideros de aguas lluvias en zonas urbanas.
- Análisis de la norma establecida por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO) y la NEVI-12, encargadas de los procesos, parámetros y condiciones en

la construcción de vías, además de la implementación de canales de escorrentía superficial para el desalojo de aguas lluvias.

- Determinación del material y las dimensiones de las rejillas para los sumideros T45 cumpliendo con lo establecido en la NTE INEN 2499 y 2496.

Para precisar la geometría del modelo hidráulico de estudio, se procederá:

- Establecer el modelo hidráulico en base a investigaciones previas, tomando en cuenta las condiciones que presenta el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- En base a la escala seleccionada, realizar un análisis dimensional de las condiciones y efectos de similitud geométrica, cinemática y dinámica en relación a el prototipo hidráulico.

En el desarrollo del estudio de investigación, se procederá a la construcción del modelo físico:

- Fabricación del modelo hidráulico utilizando como material principal láminas de acrílico, también posee una estructura metálica que permite nivelar a la vía con pendientes transversales y longitudinales como se manifiesta en las normas vigentes.
- Construcción de obras complementarias e implementación de un dissipador de energía, que permite el ingreso y salida del agua, una vez que el fluido sale del canal hidráulico y va a ser transportado hacia la vía que se está simulando.
- Elaboración de un sistema de captación y recirculación de agua, situado bajo la entrada de la rejilla de los sumideros, este permite la salida del fluido por un orificio bajo el tanque de captación hasta llegar al depósito de almacenamiento y pueda realizar nuevamente su circulación hacia el canal.
- Calibración de forma volumétrica para el ingreso y equipos de salida, considerando los resultados de investigaciones previas.

- Calibración del canal: Obtención de los caudales de ingreso de la vía; para la obtención de los resultados, mediante la medición con el transmisor de caudal DMM-4000/LFE que determina el gasto de circulación, con una buena eficiencia para caudales altos, mientras que para caudales bajos se utiliza la medición volumétrica.
- Calibración de los sumideros: Se obtendrá únicamente mediante un ensayo volumétrico.
- Ejecución del modelo hidráulico, en función del plan de pruebas seleccionado para el trabajo experimental.

2.2.3 Plan de Procesamiento y Análisis de Información

- Análisis y cálculo de la eficiencia de captación de cada uno de los escenarios propuestos en la investigación cumpliendo con los parámetros establecidos en investigaciones anteriores.
- Comparación de resultados en base a la eficiencia del caudal cuando los sumideros presenta una elevación de 1.75 cm y cuando se mantienen a nivel de la vía, además de combinar una, dos, tres y cuatro rejillas durante el proceso de investigación.
- Determinación de las ecuaciones y funciones tipo del caudal de ingreso y salida del sistema, considerando el cálculo de los diferentes coeficientes.
- Ejecución de un programa de aplicación para el diseño de sumideros T45 con barrotes longitudinales, con varios escenarios de análisis.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Análisis y resultados

3.1.1.1 Calibración del canal de ingreso

Para la obtención de los resultados del caudal en el ingreso de la vía se emplea la curva de calibración altura vs caudal que entrega una ecuación que permite la extrapolación de los datos ingresados, con esta ecuación es necesario solo ingresar los valores de altura que entrega el limnómetro e inmediatamente se obtiene el caudal de la sección, como se encuentra configurado en la tabla 29.

La curva de tendencia utilizada es potencial y presenta un el coeficiente de determinación ajustado (R^2) de 0.918, como se establece en la figura 33.

Tabla 29.-Calibración de los datos de ingreso del modelo hidráulico

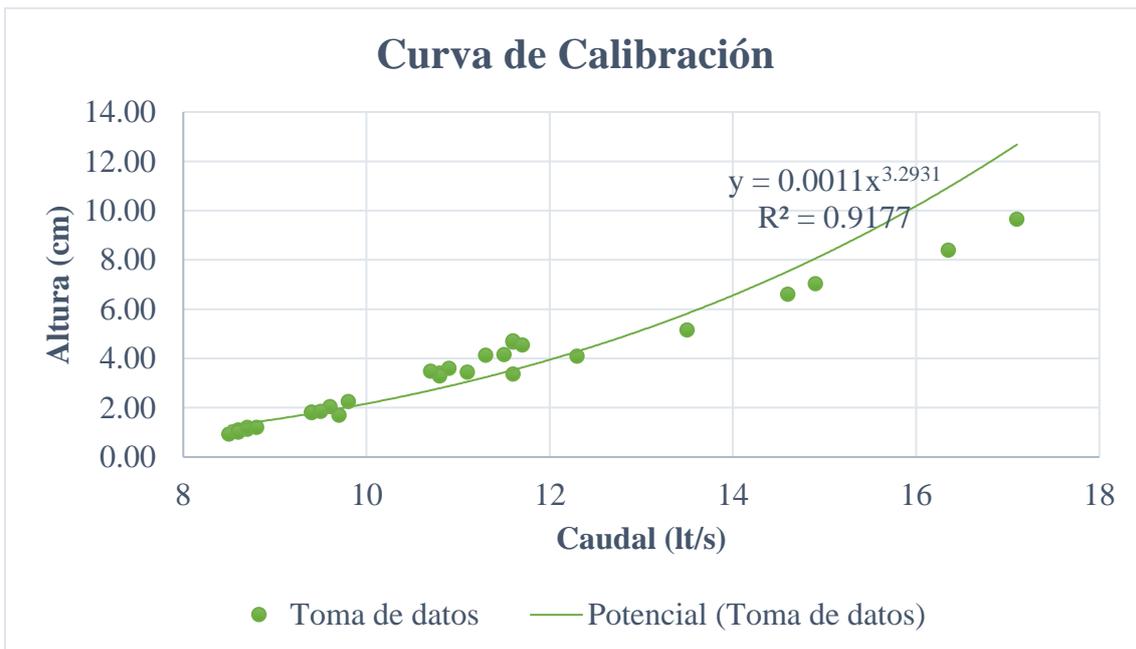
Caudal medido por el transmisor de caudal	Alturas (cm)	Caudales	Ec. potencial	Error ec. potencial
	17.1	9.65	12.64	-0.309
	16.35	8.39	10.91	-0.3
	14.9	7.03	8.03	-0.142
	14.6	6.61	7.51	-0.137
	13.5	5.15	5.8	-0.126
	12.3	4.09	4.27	-0.044
	11.6	3.36	3.52	-0.048
	9.7	1.7	1.954	-0.151
	8.5	0.93	1.265	-0.364
	8.7	1.12	1.366	-0.215
	9.4	1.82	1.762	0.033
	11.1	3.44	3.046	0.114

Continuación Tabla 29.- Calibración de los datos de ingreso del modelo hidráulico

Caudal medido de forma manual	Alturas (cm)	Caudales	Ec. potencial	Error ec. potencial
	9.6	2.04	1.888	0.075
	10.9	3.60	2.869	0.204
	11.5	4.15	3.423	0.176
	8.7	1.20	1.366	-0.133
	9.4	1.80	1.762	0.023
	10.8	3.29	2.783	0.155
	11.6	4.71	3.522	0.253
	8.8	1.20	1.418	-0.180
	9.5	1.86	1.824	0.017
	10.7	3.48	2.699	0.225
	11.7	4.55	3.623	0.204

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 33. Curva de calibración altura vs caudal



Realizado por: Mariela Robalino

Ecuación generada por la línea de tendencia potencial:

$$y = 0.0011X^{3.2931}$$

3.1.1.2 Caudal captado vs caudal de la vía

Para la toma de datos del caudal de la vía (caudal de ingreso) se realiza una curva de calibración como se muestra en la figura 33, los resultados se obtuvieron mediante la altura que se muestra en el limnómetro ubicado en el canal hidráulico.

Se toma muestras con caudales bajos y altos para obtener el comportamiento que presenta cada uno. Para el proceso de captación se efectuará varias combinaciones con 4 escenarios de los sumideros.

Considerando la combinación de pendientes transversales (2% - 4%) y longitudinales (0.5% - 4% - 8% - 12%), al cumplir con las condiciones mencionadas se procederá a la toma de datos del caudal captado, mediante una medición volumétrica.

Una vez conseguidos los resultados se realiza la gráfica del caudal captado vs caudal de la vía.

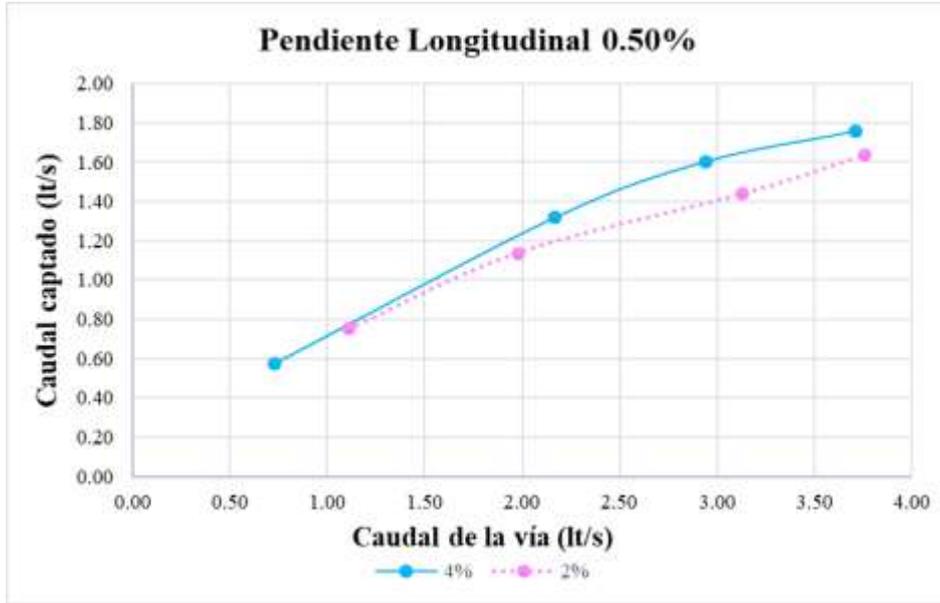
3.1.1.2.1 Nivel +0.00 empleando 4 escenarios de sumideros

ESCENARIO 1

En las figuras 34, 35, 36 y 37 se presentan las curvas del caudal captado vs caudal de ingreso, con un sumidero T45 con barrotes longitudinales, ubicados a un nivel +0.00

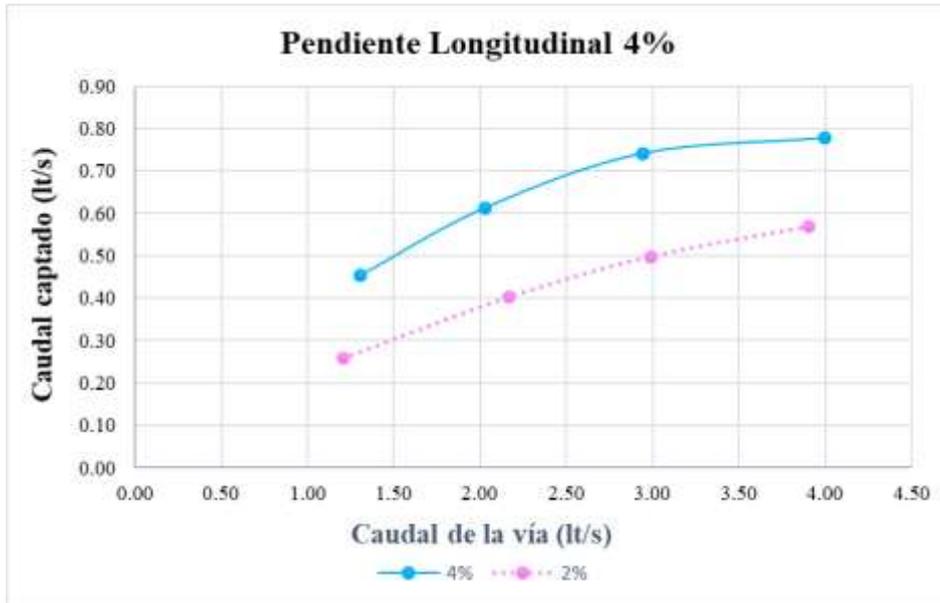
respecto a la vía, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 34. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL al 0.5% - PT 2% - 4% - NS1



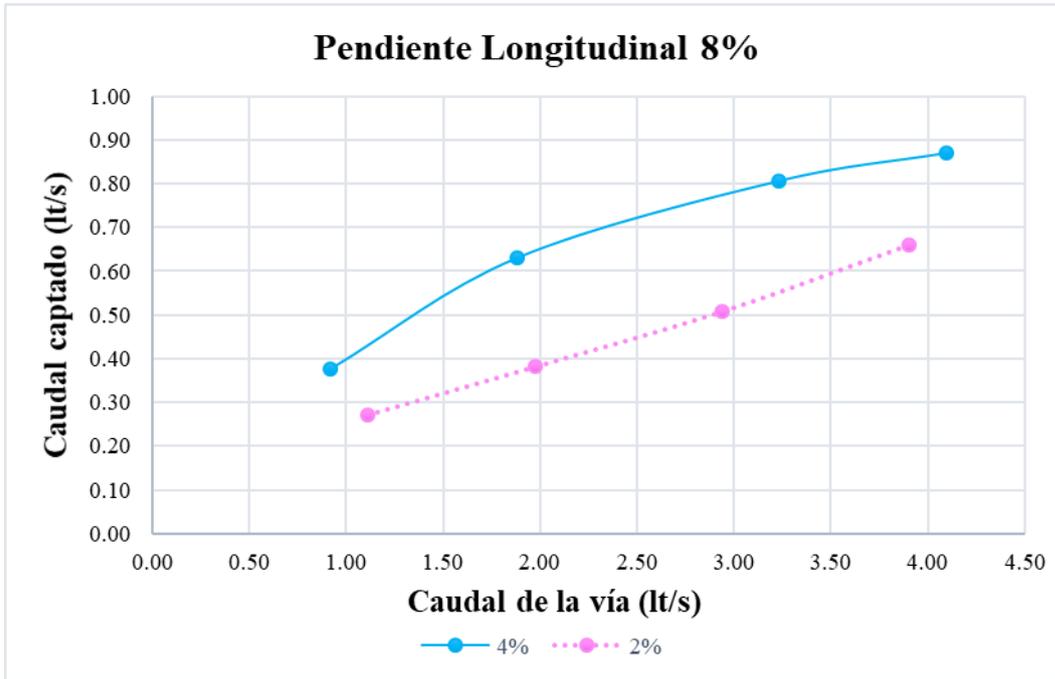
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 35. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - NS1



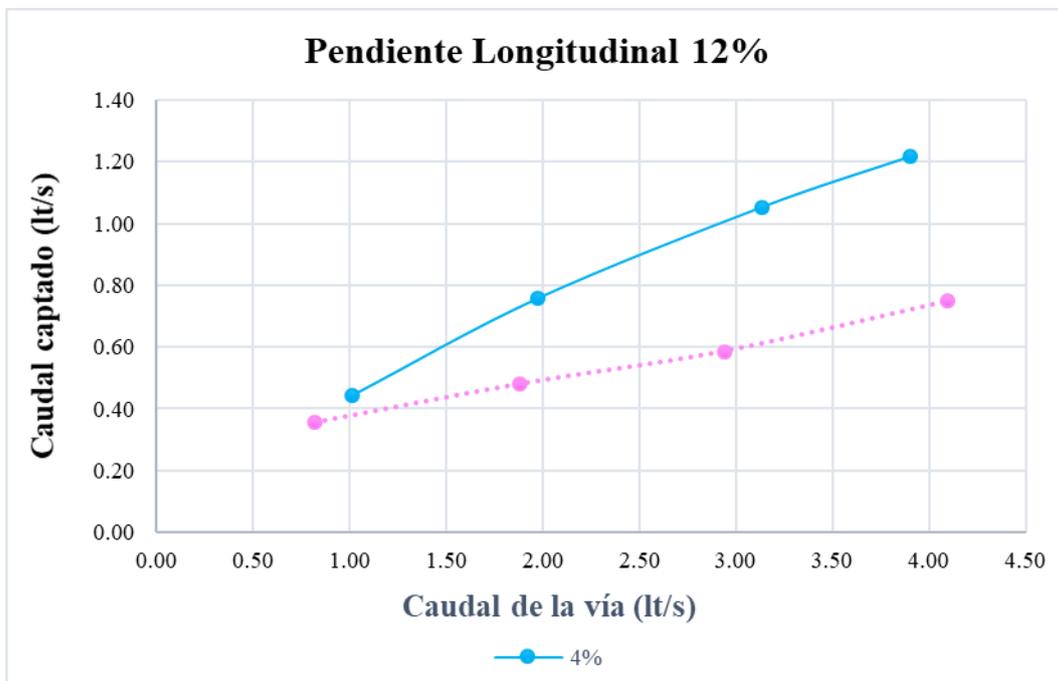
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 36. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS1



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 37. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS1



Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 34, 35, 36 y 37 se observa que para los cuatro casos la pendiente transversal del 4% capta más caudal que la de 2%, en caudales bajos el caudal captado muestra una variación muy pequeña entre las pendientes, pero conforme se aumenta el caudal de ingreso el valor captado manifiesta una variación representativa.

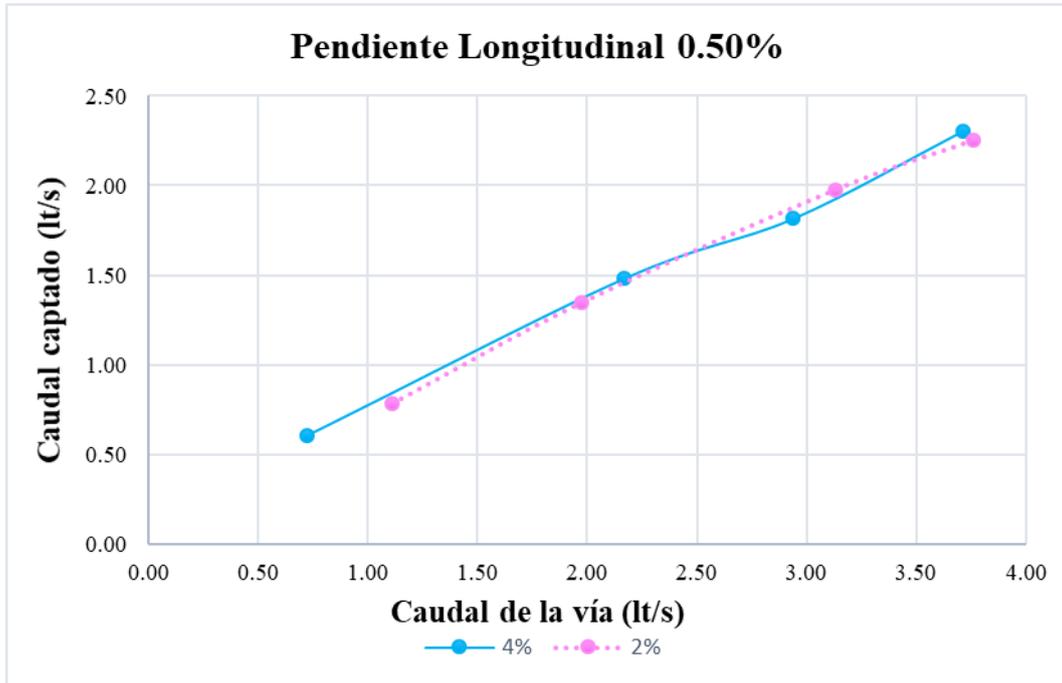
De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal receptado es la pendiente longitudinal de 0.5% y transversal de 4% con un Q ingreso de 3.71 lt/s y un Q captado de 1.76 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 31.

La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 4% y transversal de 2% con un Q ingreso de 3.90 lt/s y un Q captado de 0.57 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 32.

ESCENARIO 2

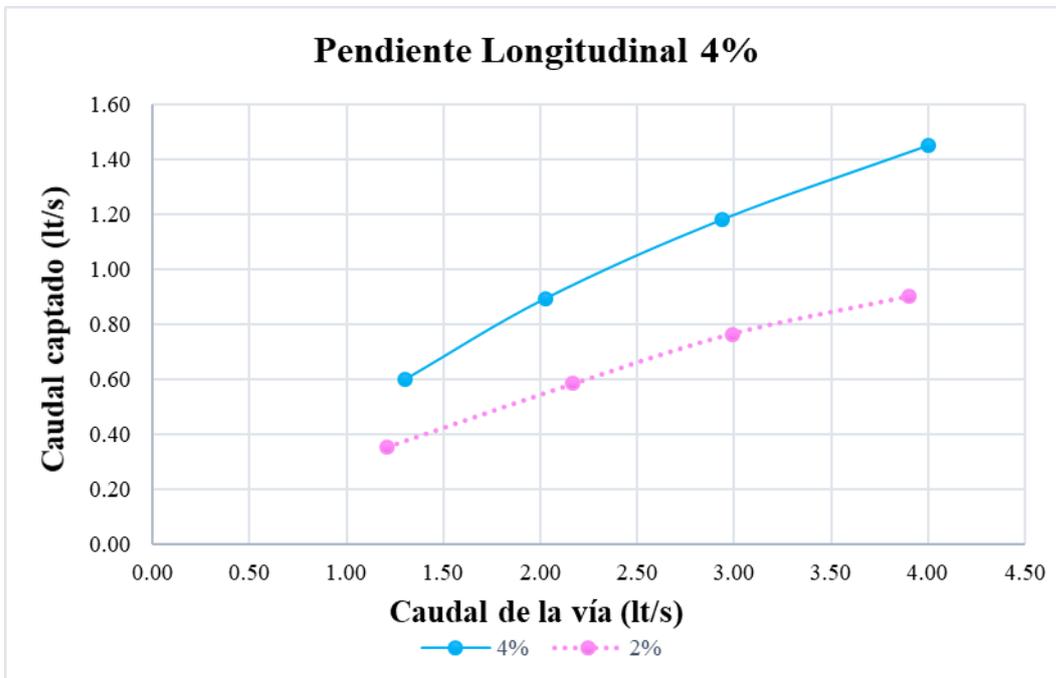
En las figuras 38, 39, 40 y 41 se presentan las curvas del caudal captado vs caudal de ingreso, con dos sumideros T45 con barrotes longitudinales, ubicados a un nivel +0.00 respecto a la vía, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 38. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS2



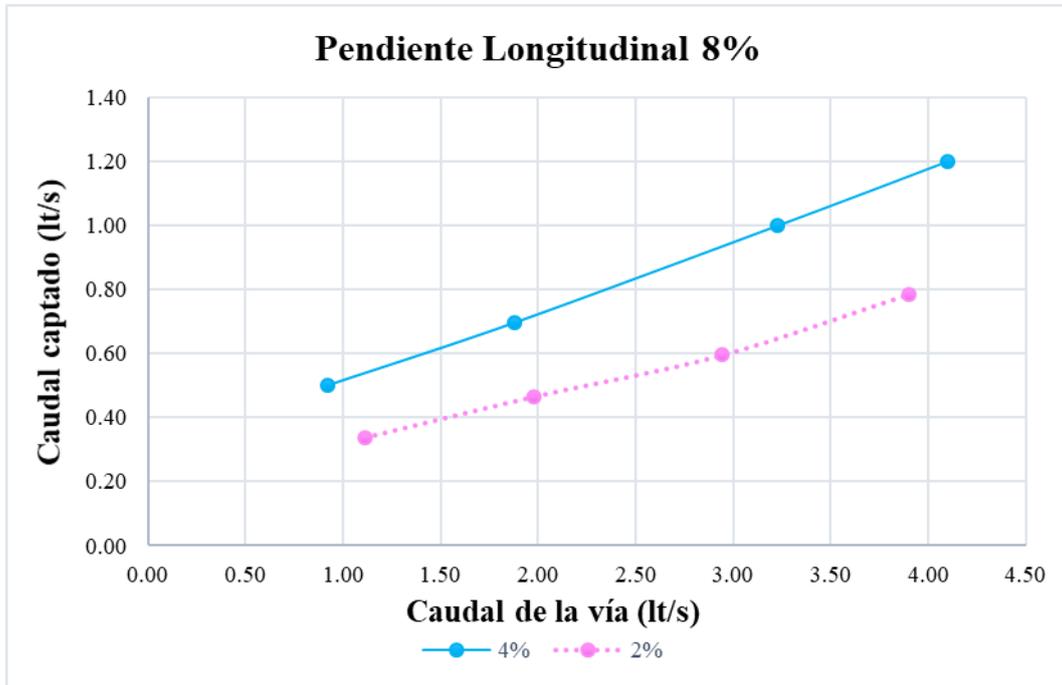
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 39. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - NS2



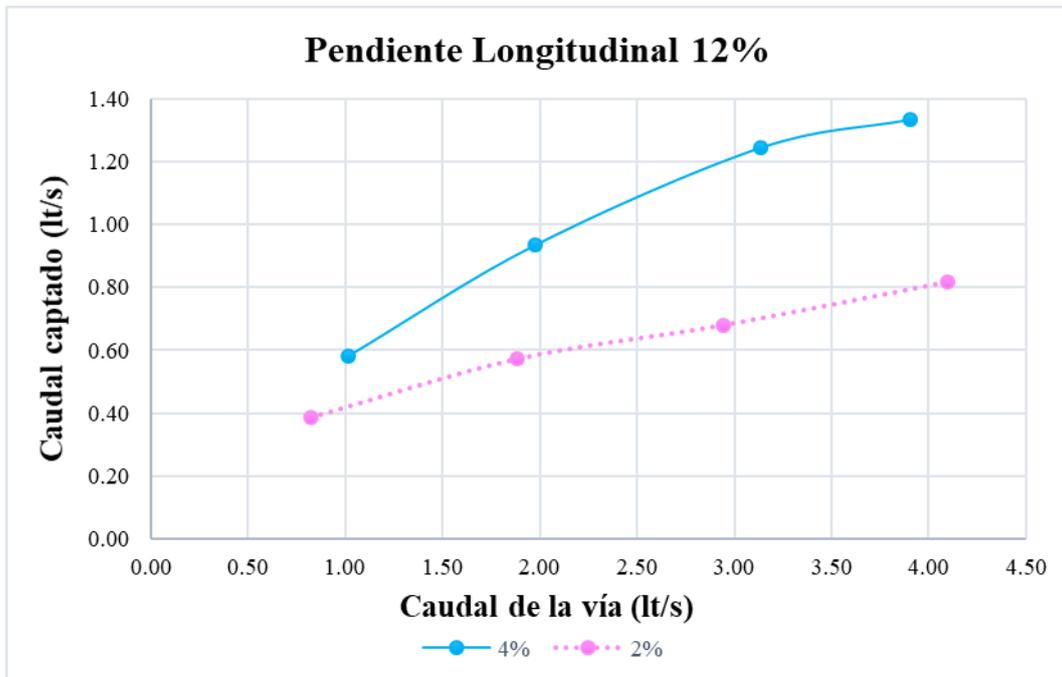
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 40. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS2



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 41. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS2



Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 38, 39, 40 y 41 se observa que para los cuatro casos la pendiente transversal del 4% capta más caudal que la de 2%, conforme se va aumentando el caudal de ingreso, se incrementa el caudal captado; sin embargo, para la combinación de la pendiente longitudinal de 0.5% con las dos pendientes transversales, el caudal recogido entrega datos similares entre ambas.

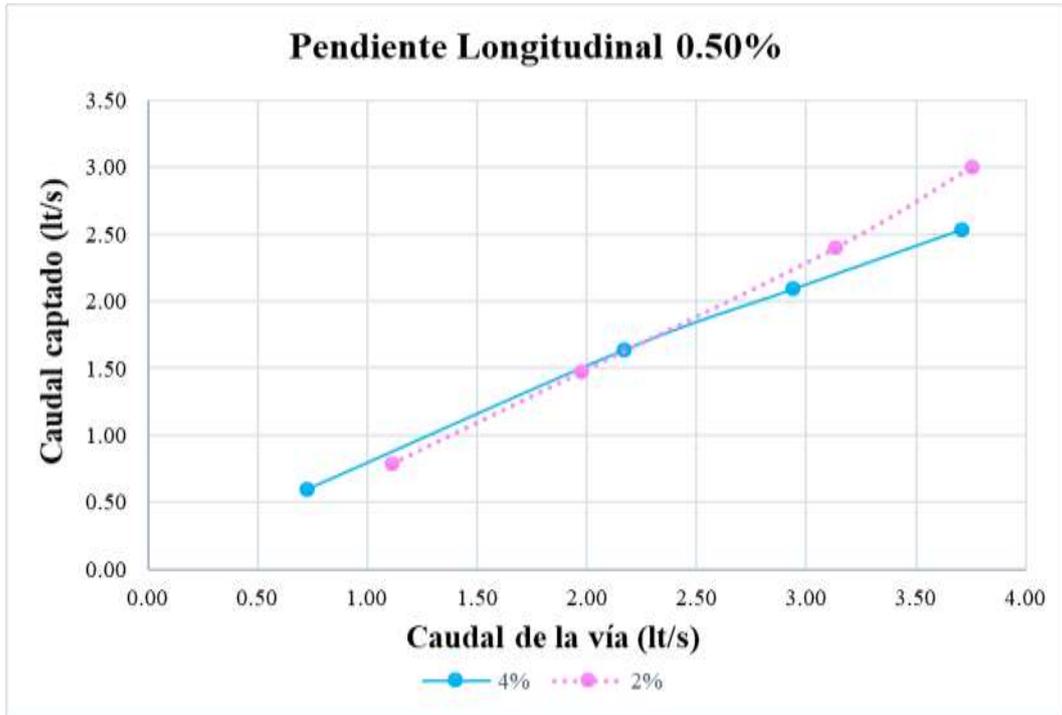
De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal receptado es la pendiente longitudinal de 0.5% y transversal de 4% con un Q ingreso de 3.71 lt/s y un Q captado de 2.30 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 39.

La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 8% y transversal de 2% con un Q ingreso de 3.90 lt/s y un Q captado de 0.79 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 42.

ESCENARIO 3

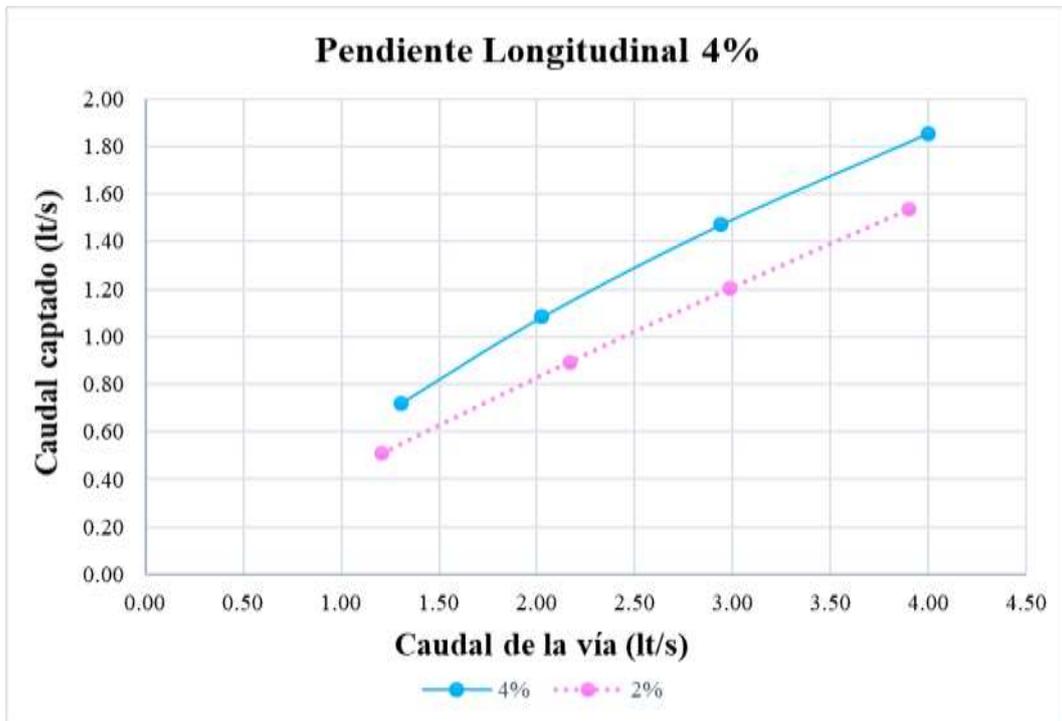
En las figuras 42, 43, 44 y 45 se presentan las curvas de caudal captado vs caudal de ingreso, con tres sumideros T45 con barrotes longitudinales, ubicados a un nivel +0.00 respecto a la vía, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 42. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS3



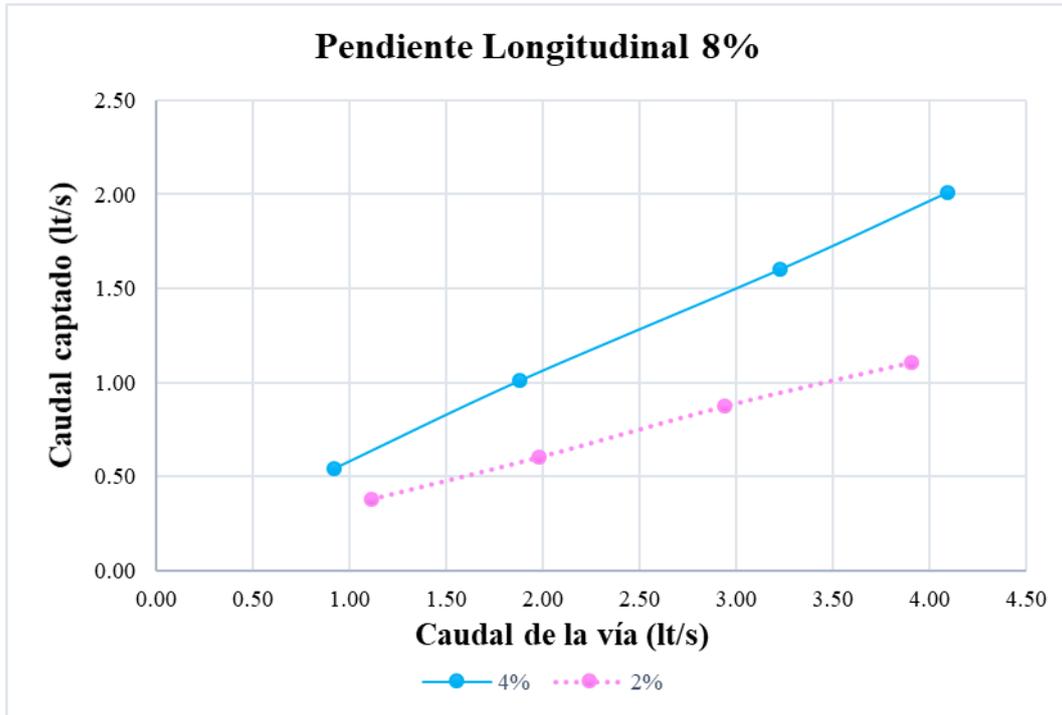
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 43. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4 - NS3



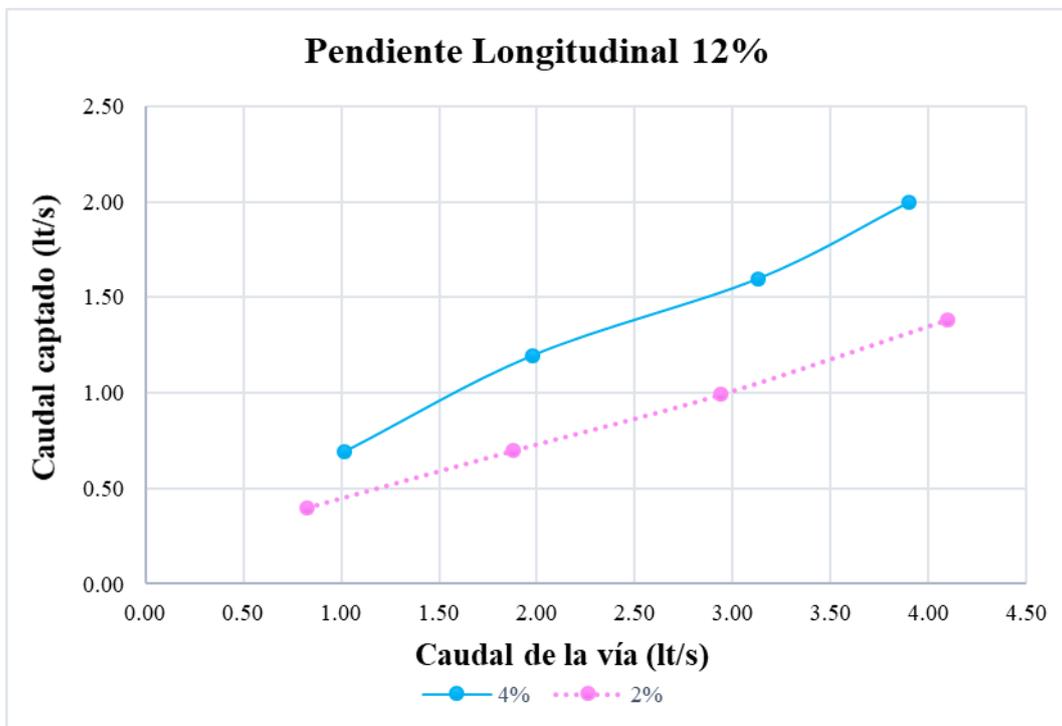
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 44. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS3



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 45. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS3



Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 42, 43, 44 y 45 se observa que para los cuatro casos la pendiente transversal del 4% capta más caudal que la de 2%, conforme se va aumentando el caudal de ingreso, se incrementa el caudal captado; sin embargo, para la combinación de la pendiente longitudinal de 0.5% con caudales bajos la pendiente transversal de 4% recolecta más gasto, mientras que en caudales altos la pendiente transversal de 2% recepta un gasto mayor.

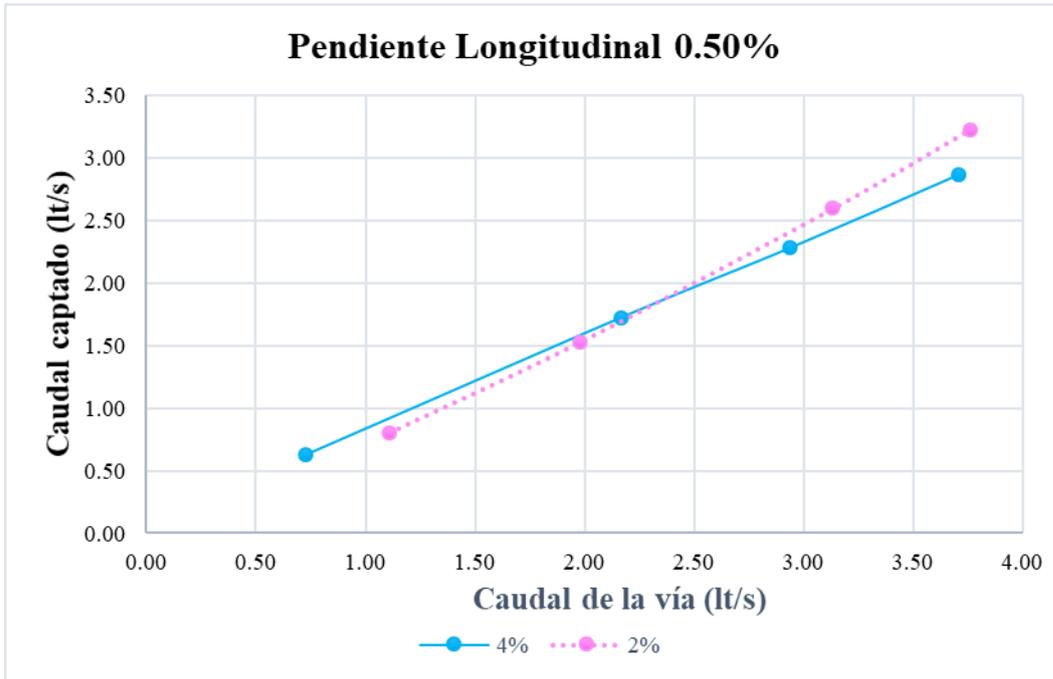
De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal receptado es la pendiente longitudinal de 0.5% y transversal de 2% con un Q ingreso de 3.76 lt/s y un Q captado de 3.00 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 46.

La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 8% y transversal de 2% con un Q ingreso de 3.90 lt/s y con un Q captado de 1.10 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 50.

ESCENARIO 4

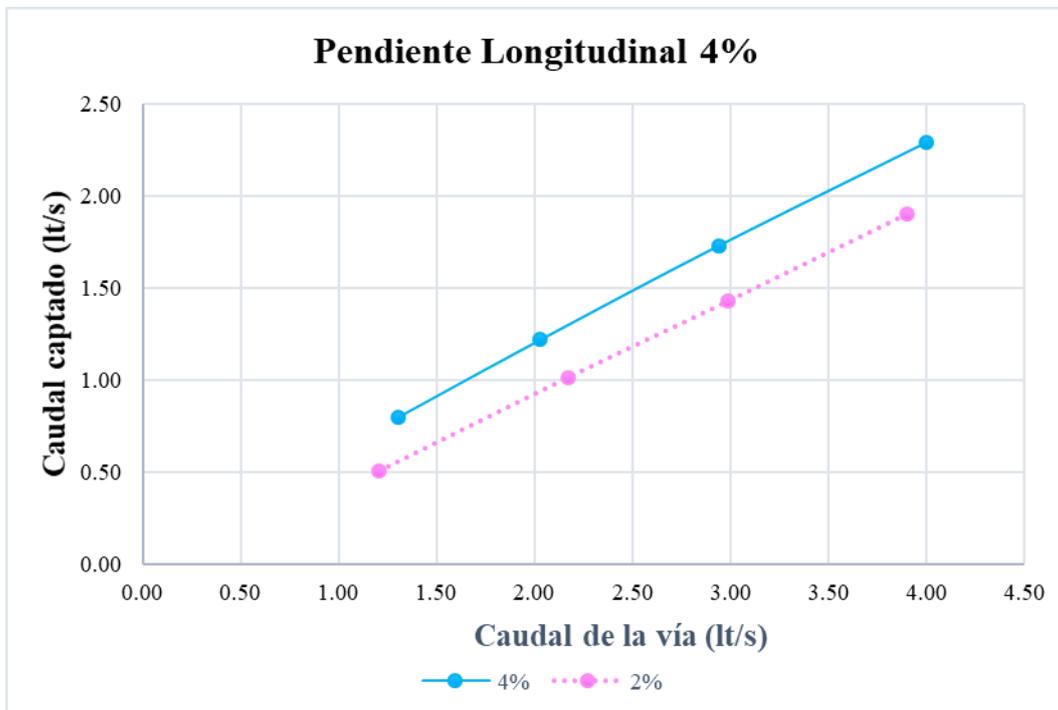
En las figuras 46, 47, 48 y 49 se presentan las curvas del caudal captado vs caudal de ingreso, con cuatro sumideros T45 con barrotes longitudinales, ubicados a un nivel +0.00 respecto a la vía, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 46. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS4



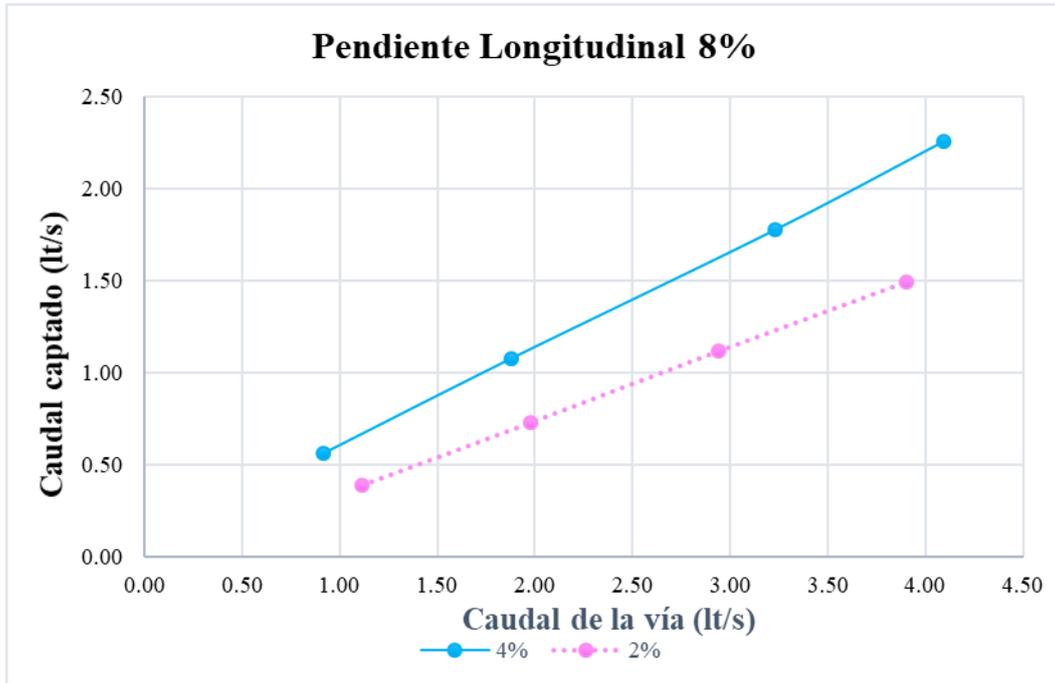
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 47. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - NS4



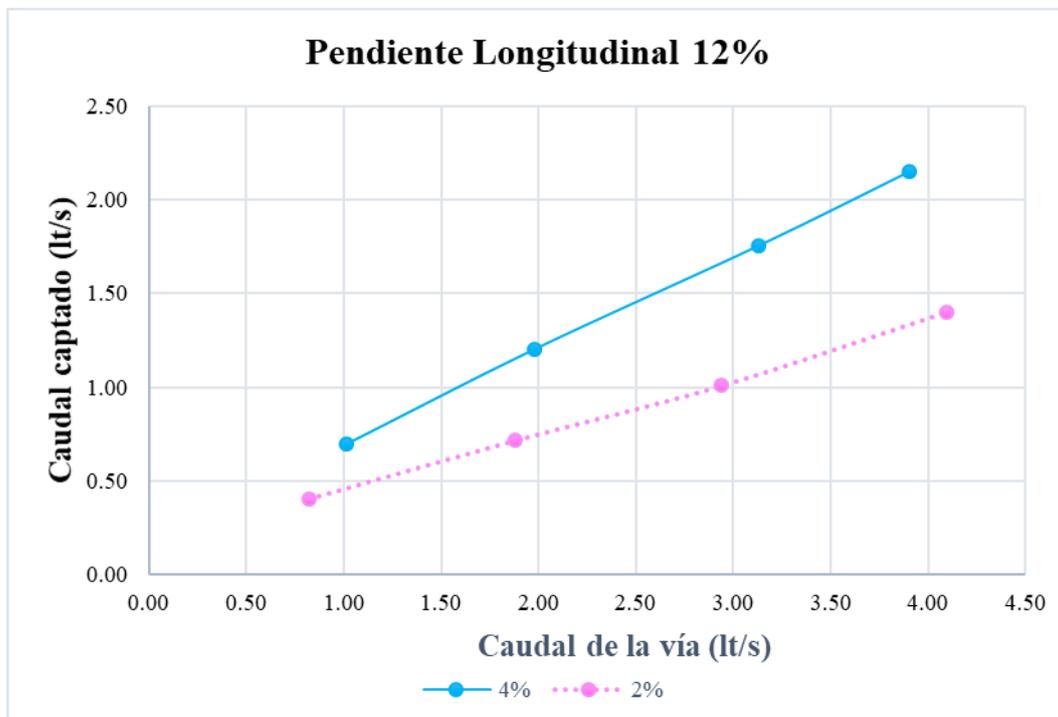
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 48. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - NS4



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 49. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - NS4



Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 46, 47, 48 y 49 se observa que para los cuatro casos la pendiente transversal del 4% capta más caudal que la de 2%, conforme se va aumentando el caudal de ingreso, se incrementa el caudal captado; sin embargo, para la combinación de la pendiente longitudinal de 0.5% con caudales bajos la pendiente transversal de 4% recolecta más gasto, mientras que en caudales altos la pendiente transversal de 2% recepta un gasto mayor.

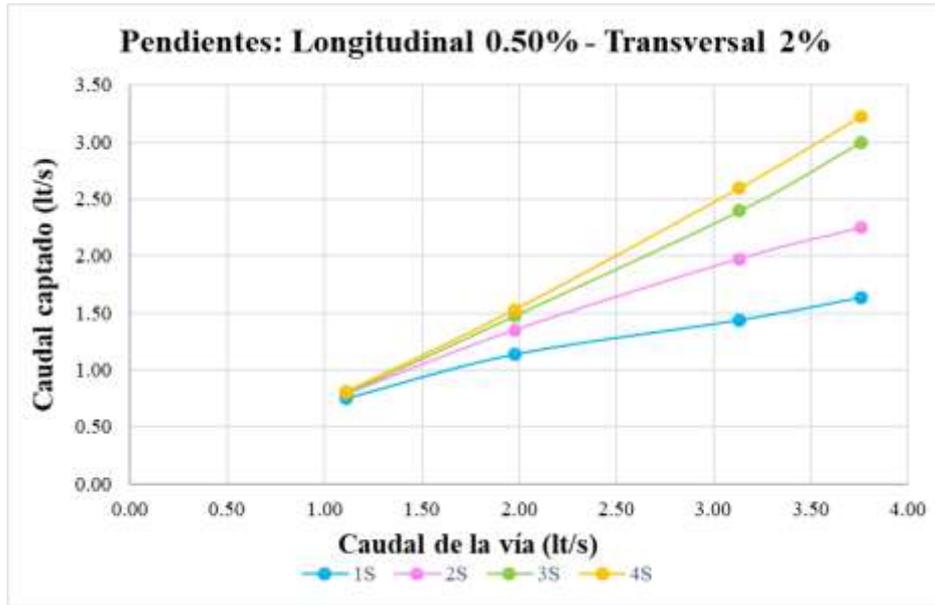
De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal receptado es la pendiente longitudinal de 0.5% y transversal de 2% con un Q ingreso de 3.76 lt/s y un Q captado de 3.23 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 54.

La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 12% y transversal de 2% con un Q ingreso de 4.10 lt/s y un Q captado de 1.40 lt/s. Los datos se obtuvieron de la tabla 60.

3.1.1.2.2 Nivel +0.00cm empleando todas las combinaciones de sumideros

En las figuras 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 y 57 se presentan los caudales de recolección para los diferentes escenarios de sumideros, utilizando una gráfica con caudal captado vs el caudal de ingreso variando el número de sumideros, el rango de caudales va desde 0.73 lt/s hasta 4.10 lt/s.

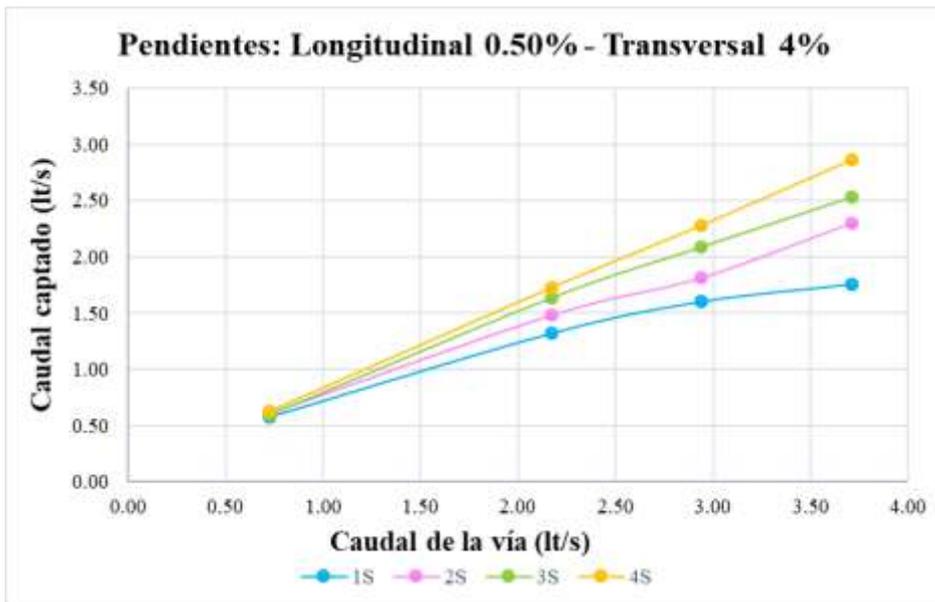
Figura 50. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 2%



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 50 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 1.14 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.53 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.98 lt/s.

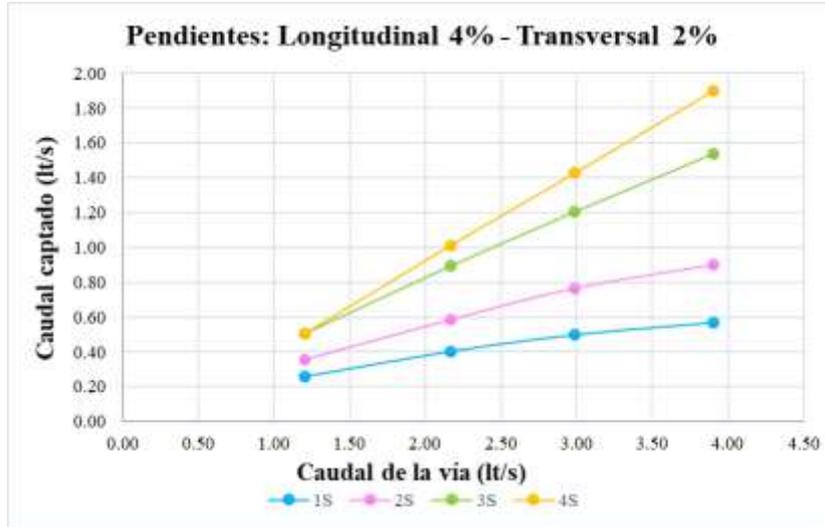
Figura 51. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 4%



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 51 se puede observar que con un sumidero el caudal captado es de 1.60 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 2.28 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 2.94lt/s.

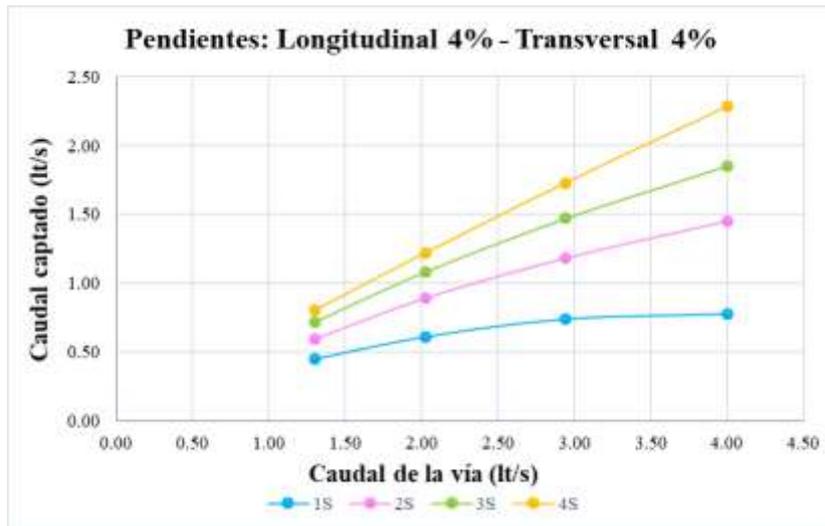
Figura 52. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 2%



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 52 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.57 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.90 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 3.90 lt/s.

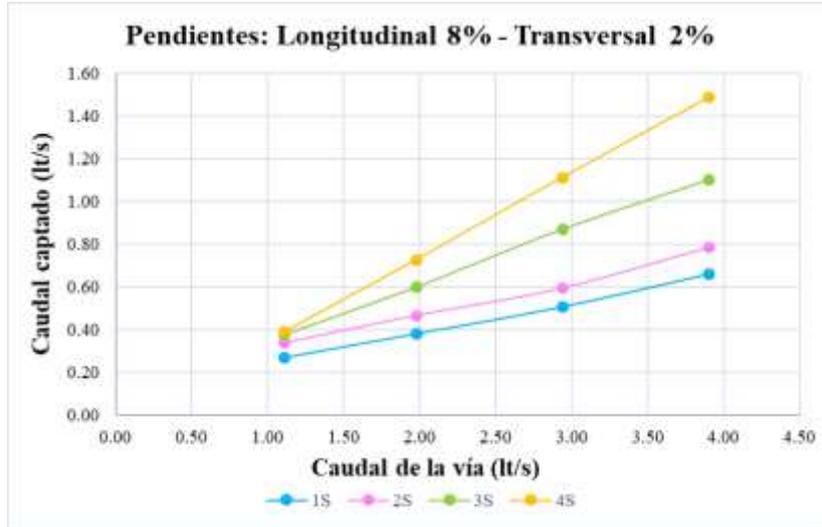
Figura 53. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 4%



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 53 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.78 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 2.29 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 4.00 lt/s.

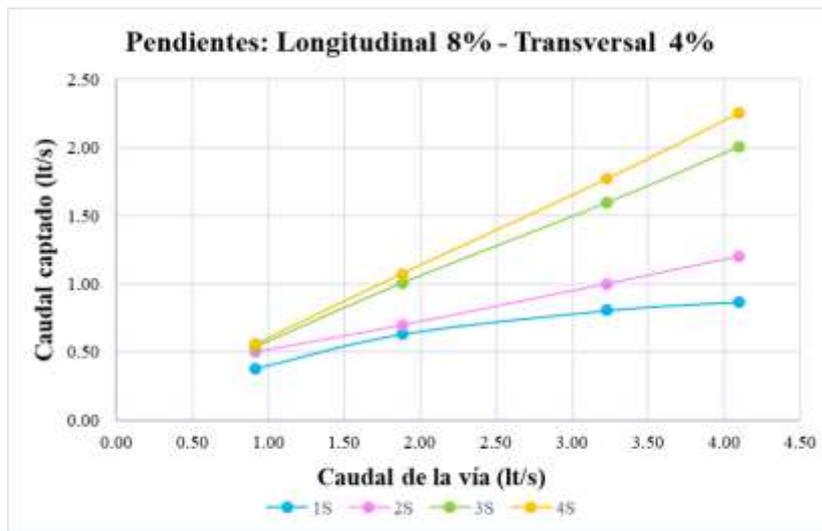
Figura 54. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 2%



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 54 se puede observar que con un sumidero el caudal captado es de 0.27 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 0.39 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.11 lt/s.

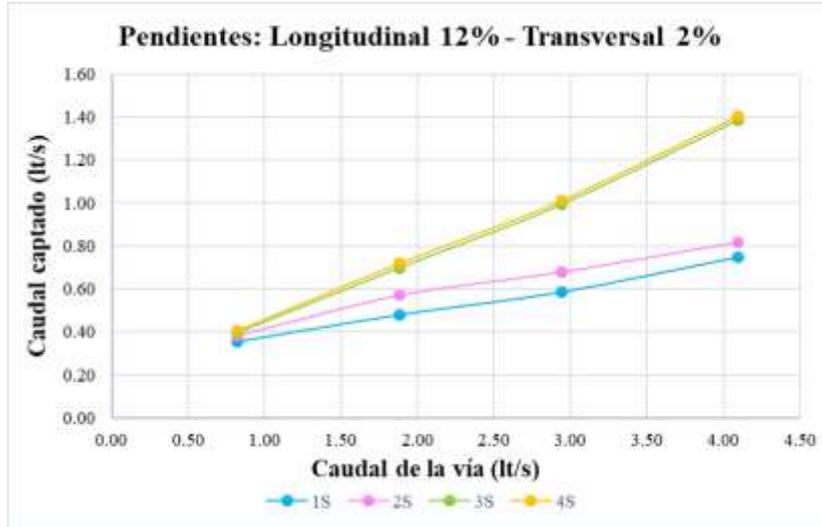
Figura 55. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 4%



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 55 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.63 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.08 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.88 lt/s.

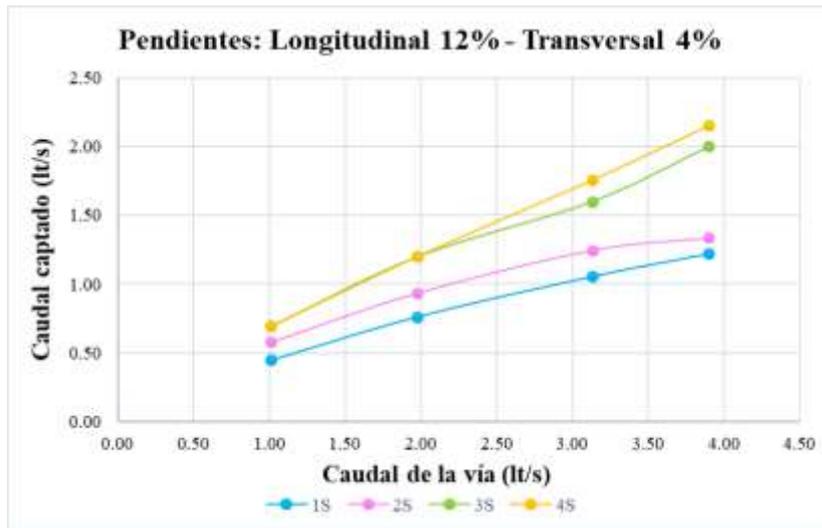
Figura 56. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 2%



Realizado por. - Mariela Robalino

En la figura 56 se puede observar que con un sumidero el caudal captado es de 0.75 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.40 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 4.10 lt/s.

Figura 57. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 4%



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 57 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 1.05 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.76 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 3.13 lt/s.

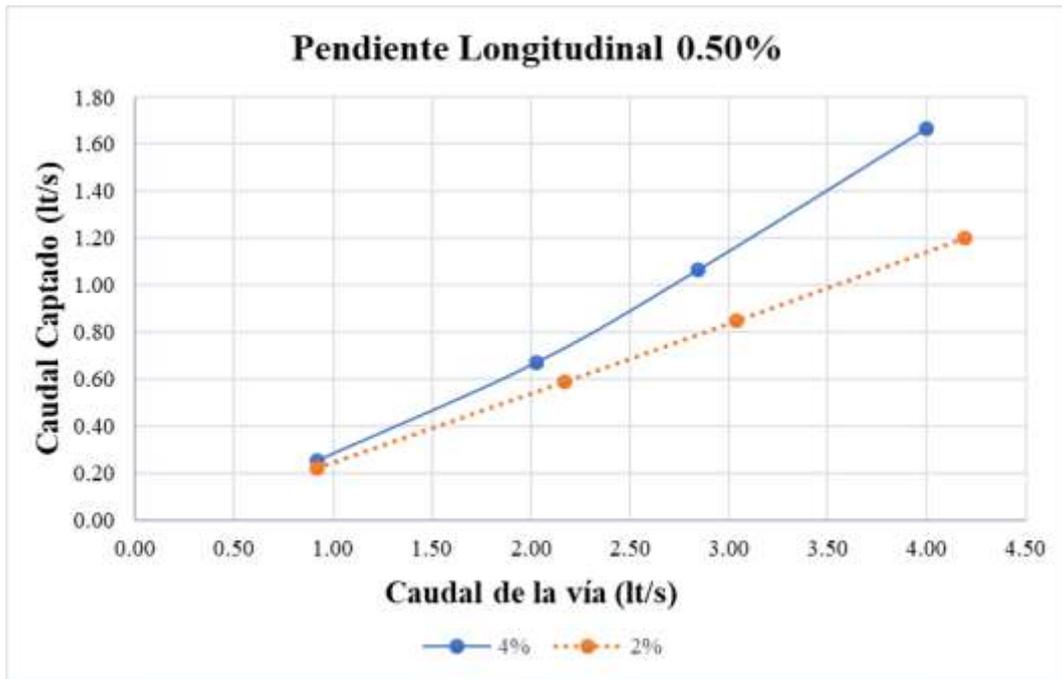
Según las figuras 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 y 57 se determinó que en caudales bajos no existe gran variación de captación para los diferentes escenarios con respecto al número de sumideros. La mayor capacidad es de 3.23 lt/s y se encuentra en la combinación pendiente longitudinal 0.5% y transversal 2% con 4 sumideros y la que se manifiesta con una menor captación está ubicado en la pendiente longitudinal 4% y transversal 2% con 1 sumidero siendo de 0.26 lt/s.

3.1.1.2.3 Nivel +1.75cm empleando 4 escenarios de sumideros

ESCENARIO 1

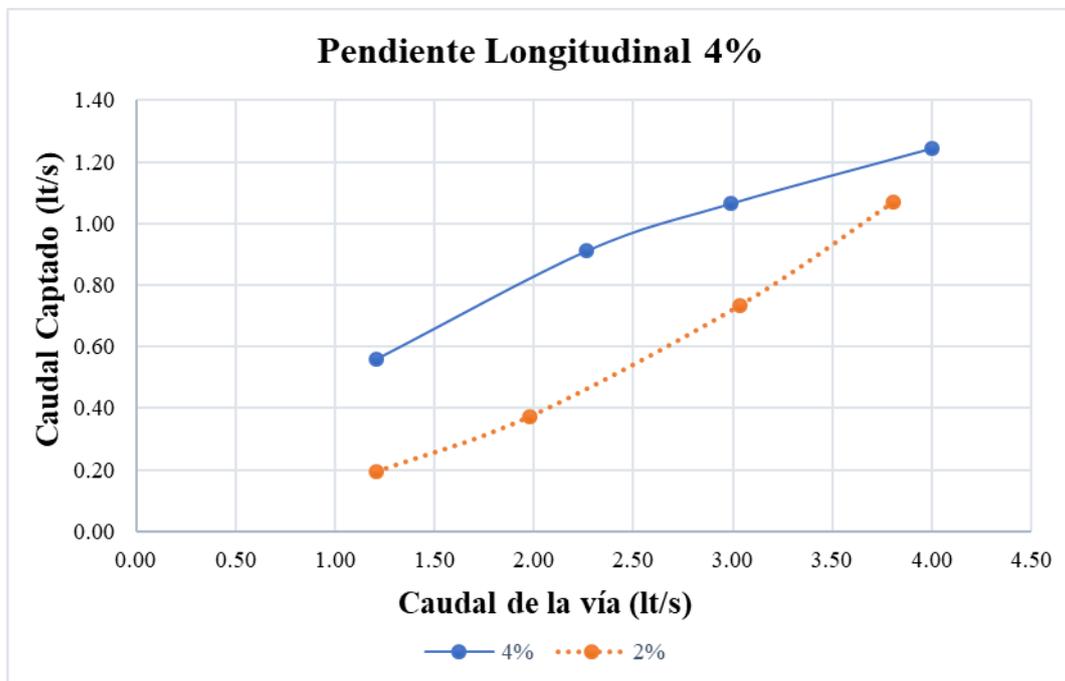
En las figuras 58, 59, 60, 61 se presentan las curvas de caudal captado vs caudal de ingreso, con un sumidero T45 con barrotes longitudinales, ubicados a un nivel +1.75 cm respecto a la respecto a la vía, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 58. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES1



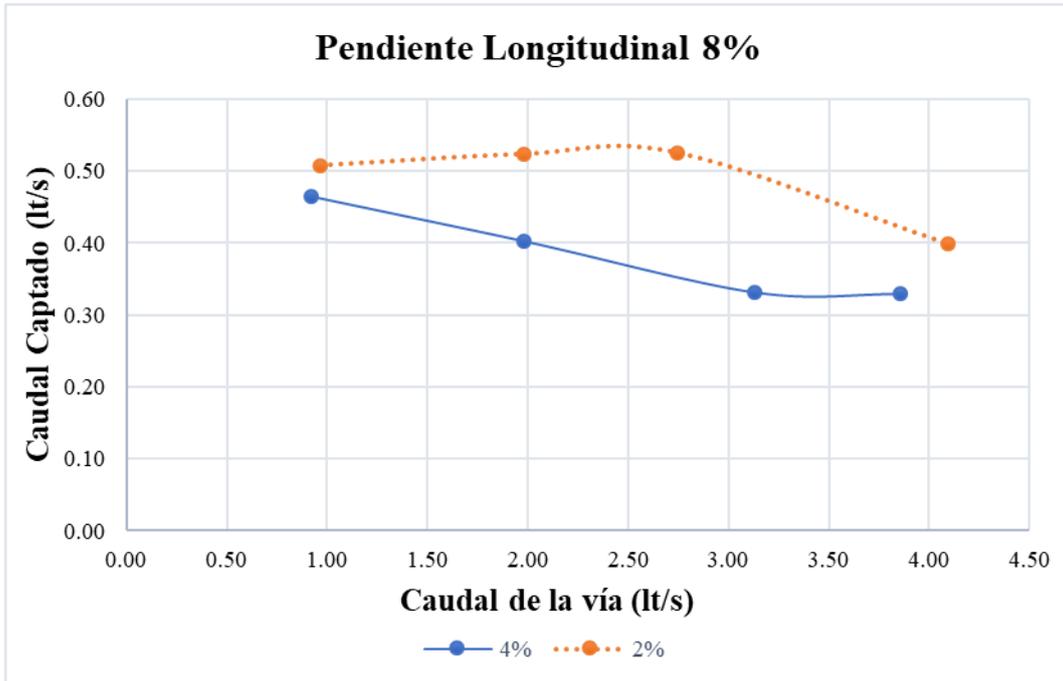
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 59. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES1



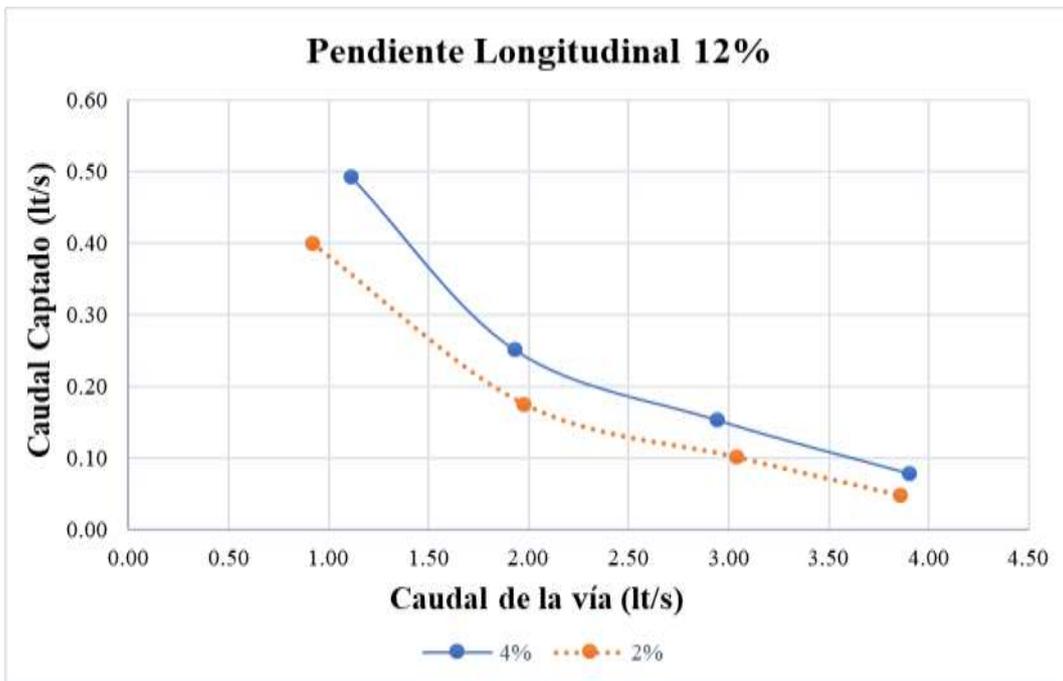
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 60. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES1



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 61. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES1



Realizado por: Mariela Robalino

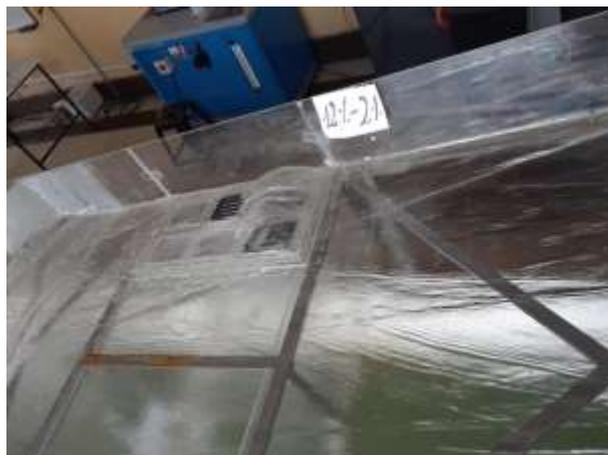
En las figuras 58, 59 y 61 el nivel de captación es superior para la pendiente transversal de 4%, en el caso de la figura 60 la pendiente transversal del 2% supera su capacidad de recolección.

Para la pendiente longitudinal de 8% y 12% recibe más caudal cuando el gasto de la vía es menor conforme este aumenta va disminuyendo su capacidad de captación, esto no ocurre con la pendiente 0.5% y 4%, al incrementar el Q ingreso incrementa Q captado.

De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal captado es la pendiente longitudinal de 0.5% y transversal de 4% con un Q ingreso de 4.00 lt/s y un Q captado de 1.24 lt/s. Los resultados se obtuvieron de la tabla 63.

La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 12% y transversal de 2% con un Q ingreso de 3.85 lt/s y un Q captado de 0.05 lt/. Los resultados se obtuvieron de la tabla 68.

Figura 62. Sumidero con elevación N +1.75cm



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 63. Sumidero con elevación N +1.75cm - pendientes 12% - 4%



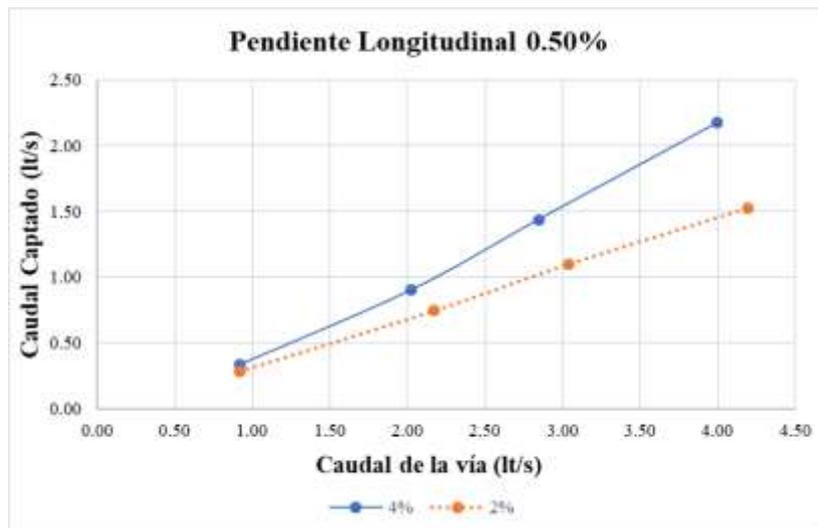
Realizado por: Mariela Robalino

Se observa en la figura 62 y 63 que en el primer sumidero cuando el caudal es alto entra únicamente una pequeña cantidad que no es significativa, perdiendo su eficiencia y capacidad de captación.

ESCENARIO 2

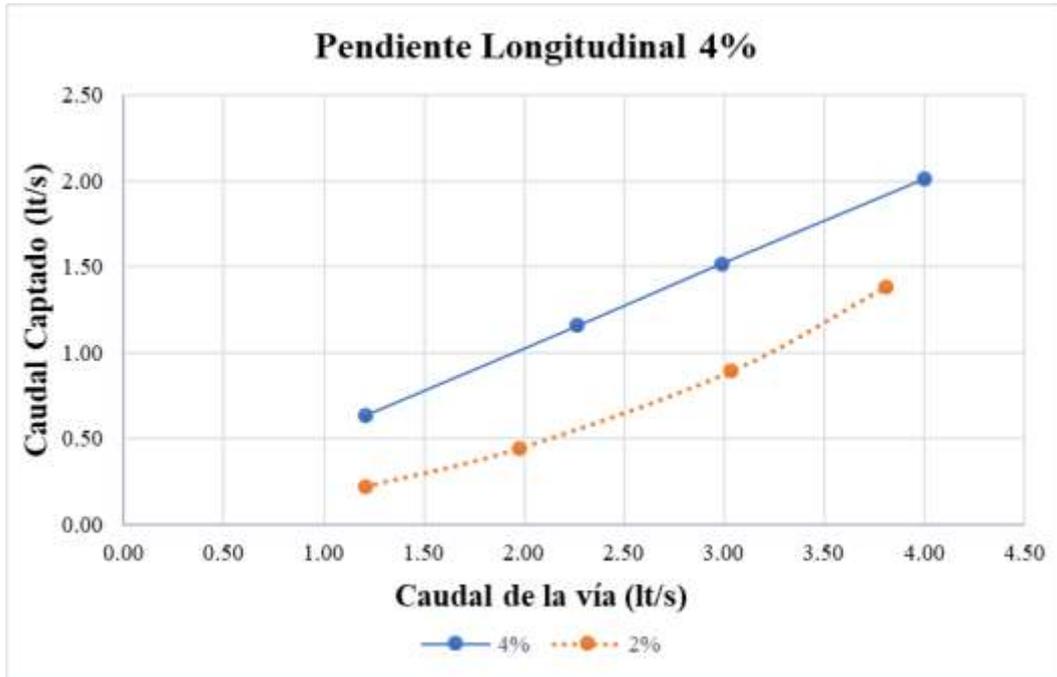
En las figuras 64, 65, 66 y 67 se presentan las curvas de caudal captado vs caudal de ingreso, con dos sumideros T45 con barrotes longitudinales, ubicados a un nivel +1.75cm, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 64. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES2



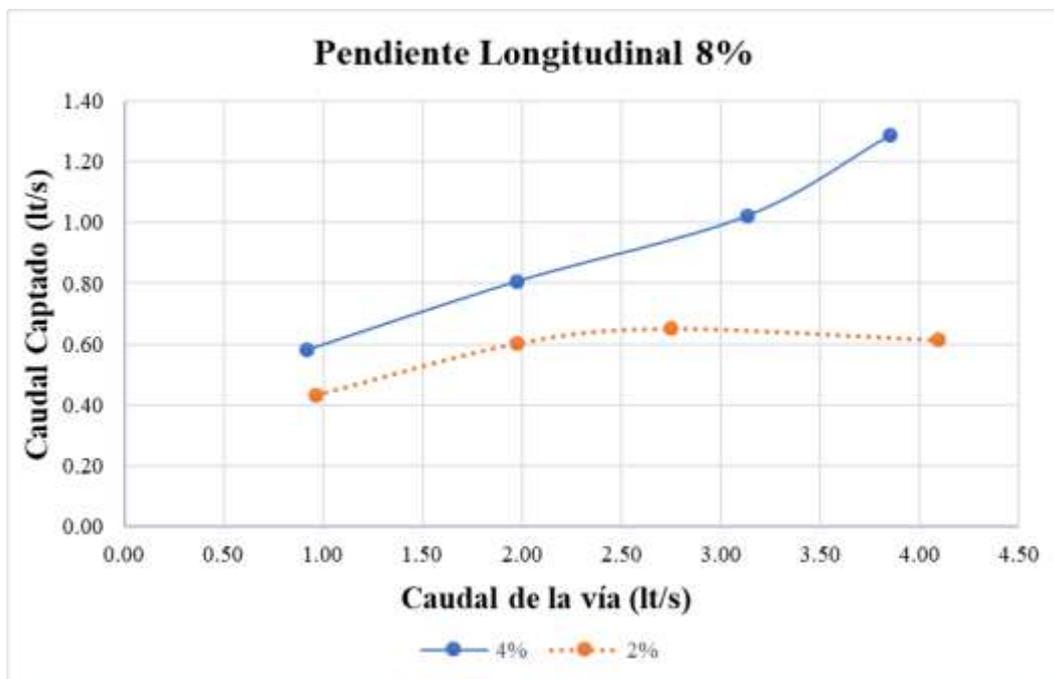
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 65. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES2



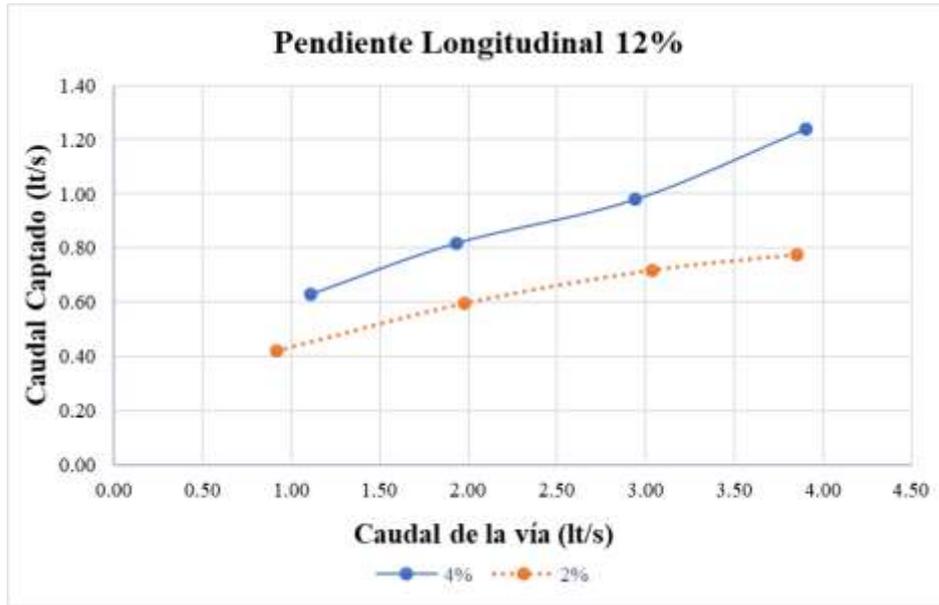
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 66. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES2



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 67. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES2



Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 64, 65, 66 y 67 se observa que para los cuatro casos la pendiente transversal del 4% capta más caudal que la de 2%, conforme se va aumentando el caudal de ingreso, se incrementa el caudal captado.

De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal receptado es la pendiente longitudinal de 0.5% y transversal de 4% con un Q ingreso de 4.00 lt/s y un Q captado de 2.18 lt/s. Los datos se obtienen de la tabla 71.

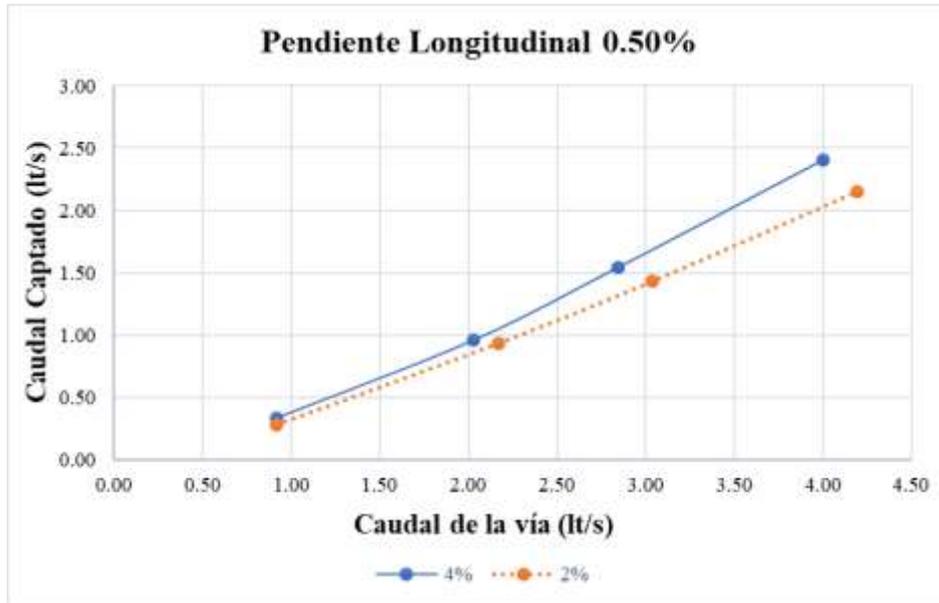
La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 8% y transversal de 2% con un Q ingreso de 4.10 lt/s y un Q captado de 0.61 lt/s. Los datos se obtienen de la tabla 74.

ESCENARIO 3

En las figuras 68, 69, 70 y 71 se presentan las curvas de caudal captado vs caudal de ingreso, con tres sumideros T45 con barrotes longitudinales, ubicados a un nivel +1.75

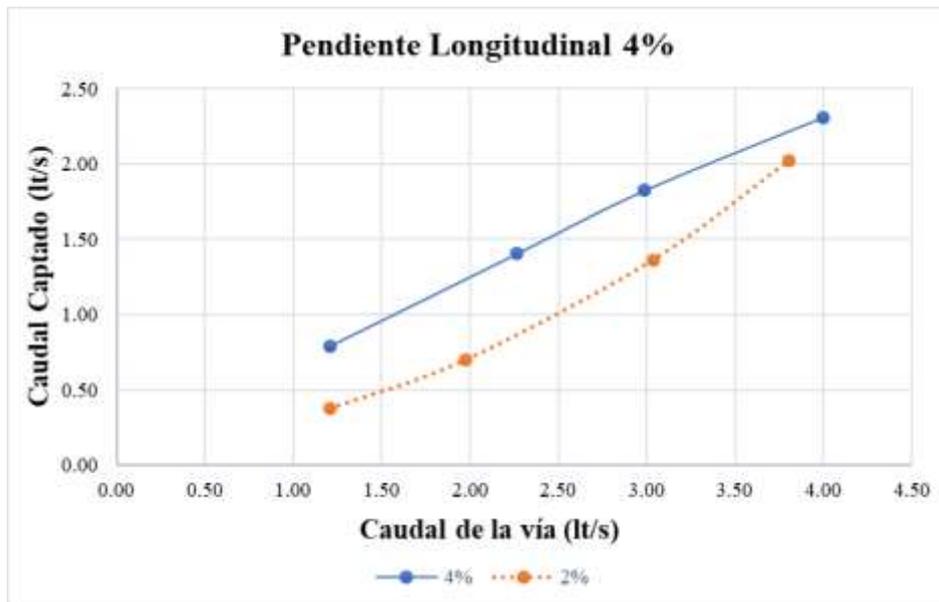
cm respecto a la vía, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 68. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES3



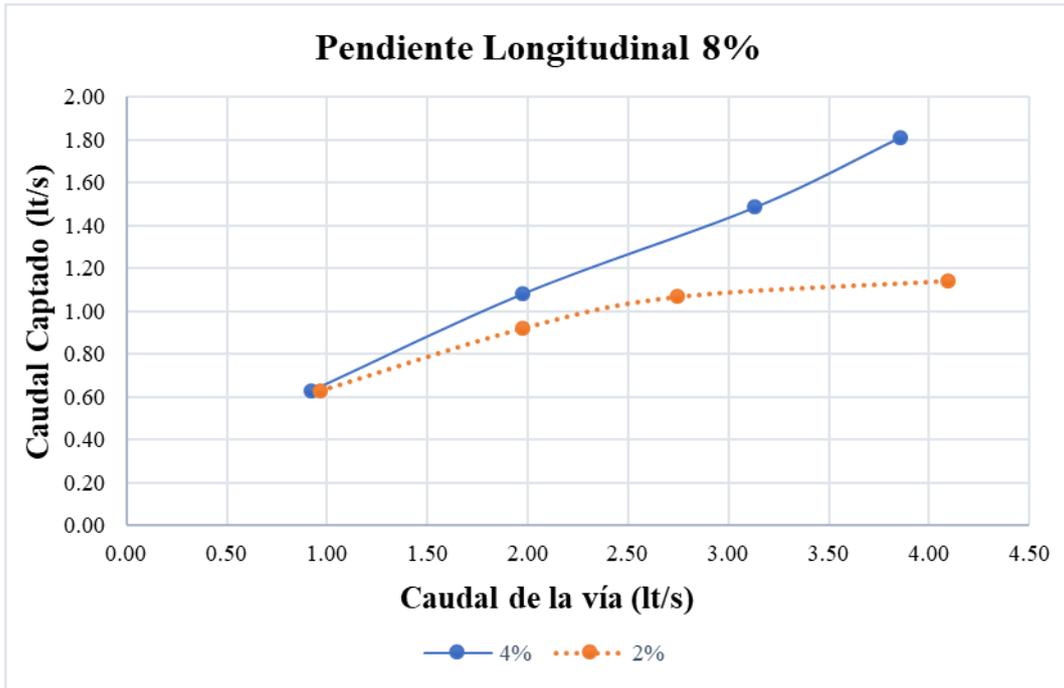
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 69. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES3



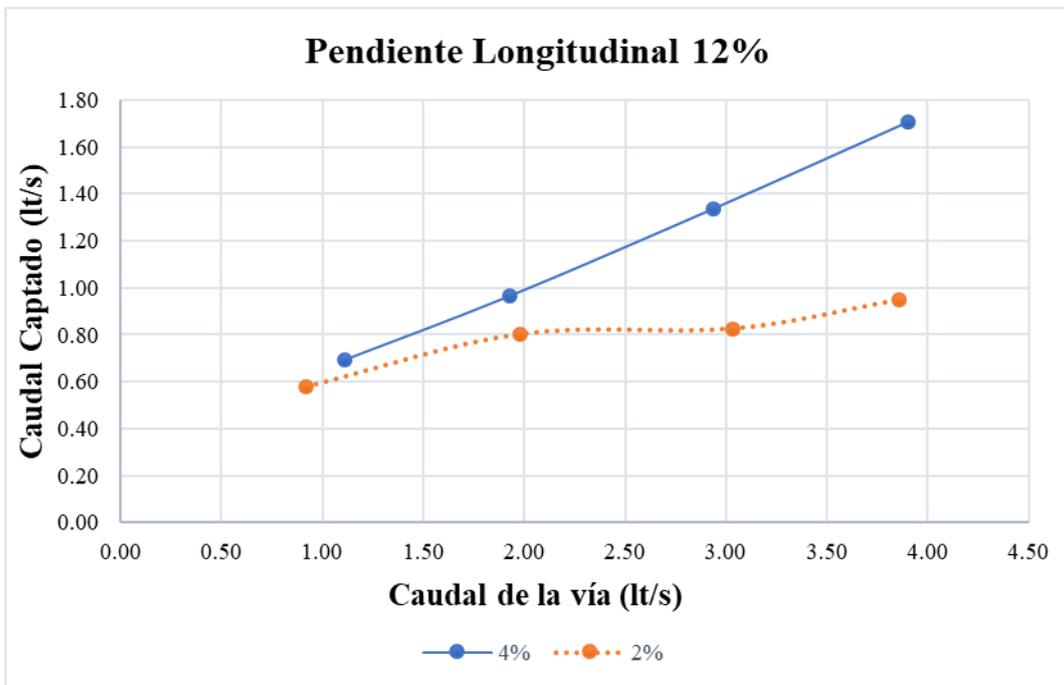
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 70. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES3



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 71. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES3



Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 68, 69, 70, 71 se observa que para los cuatro casos la pendiente transversal del 4% capta más caudal que la de 2%, conforme se va aumentando el caudal de ingreso, se incrementa el caudal captado, pero en la pendiente longitudinal del 8% y 12% muestra en el caudal más alto una diferencia representativa entre las pendientes transversales.

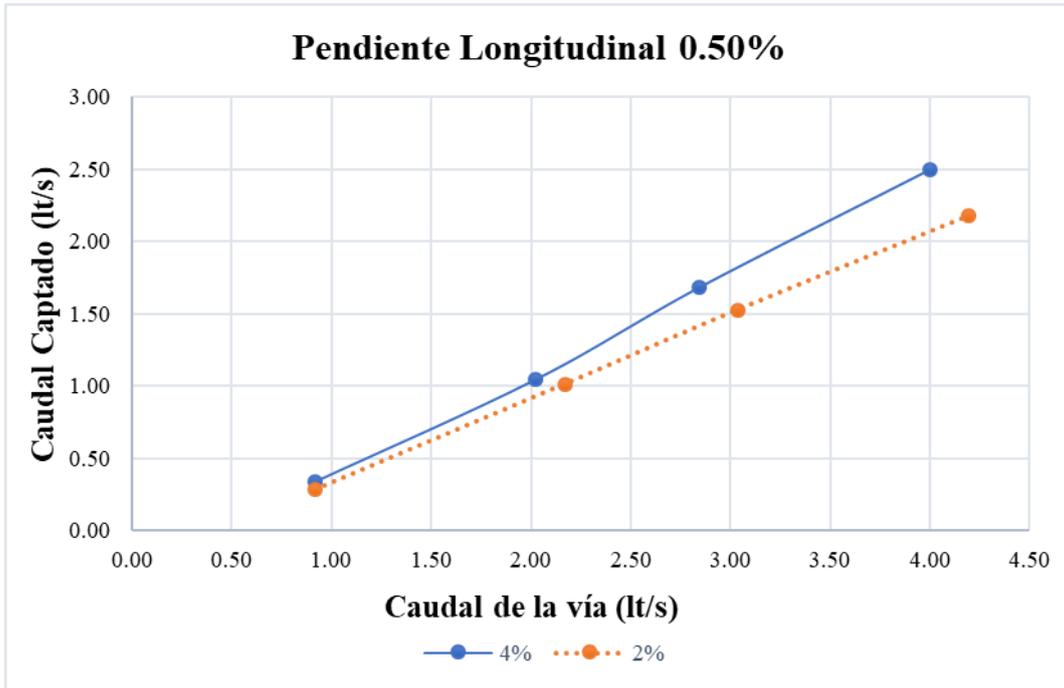
De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal receptado es la pendiente longitudinal de 4% y transversal de 4% con un Q ingreso de 4.00 lt/s y un Q captado de 2.31 lt/s. Los datos se obtienen de la tabla 81.

La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 12% y transversal de 2% con un Q ingreso de 3.85 lt/s y un Q captado de 0.95 lt/. Los datos se obtienen de la tabla 84.

ESCENARIO 4

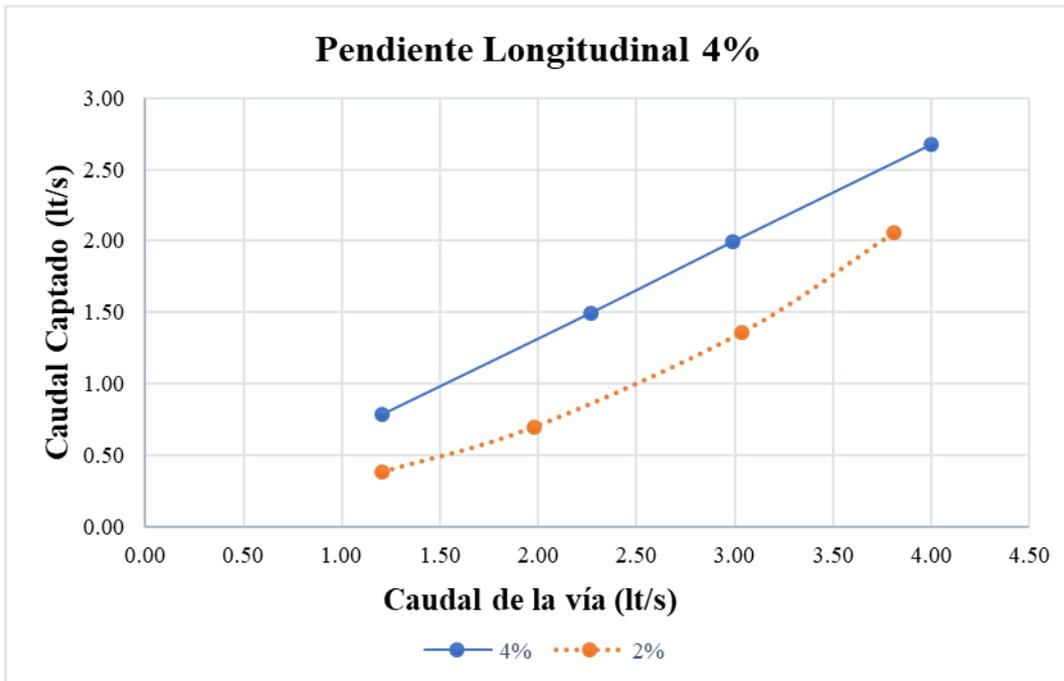
En las figuras 72, 73, 74 y 75 se presenta las curvas de caudal captado vs caudal de ingreso, con cuatro sumideros T45 con barrotos longitudinales, ubicados a un nivel +1.75 cm respecto a la vía, con una pendiente transversal (2% - 4%) y longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%).

Figura 72. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES4



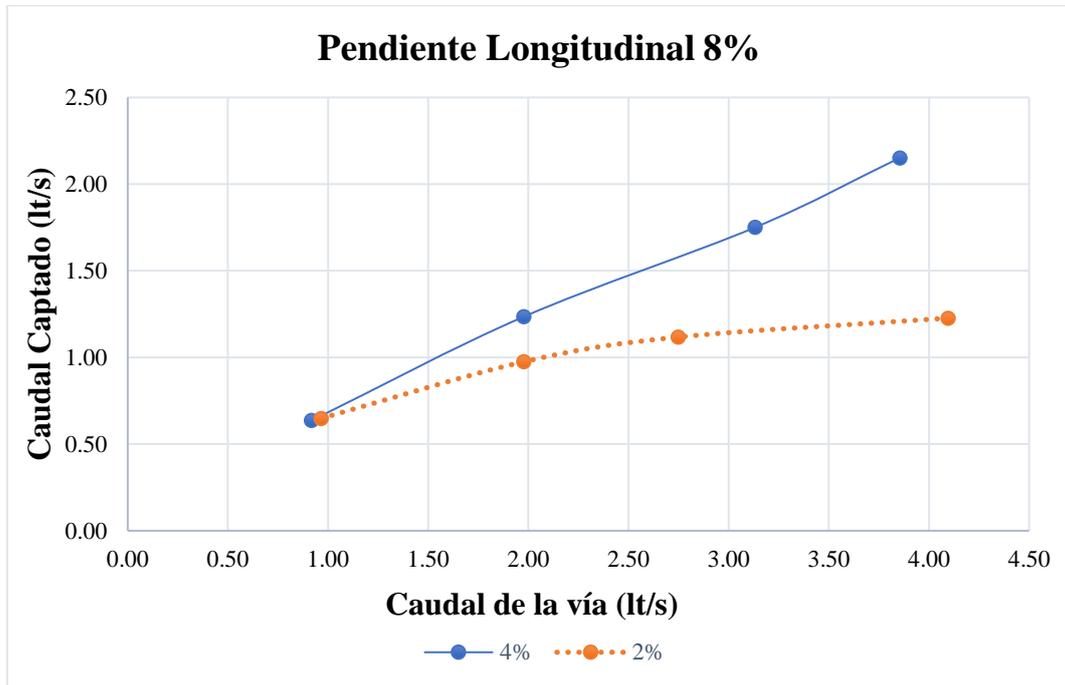
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 73. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 4% - PT 2% - 4% - ES4



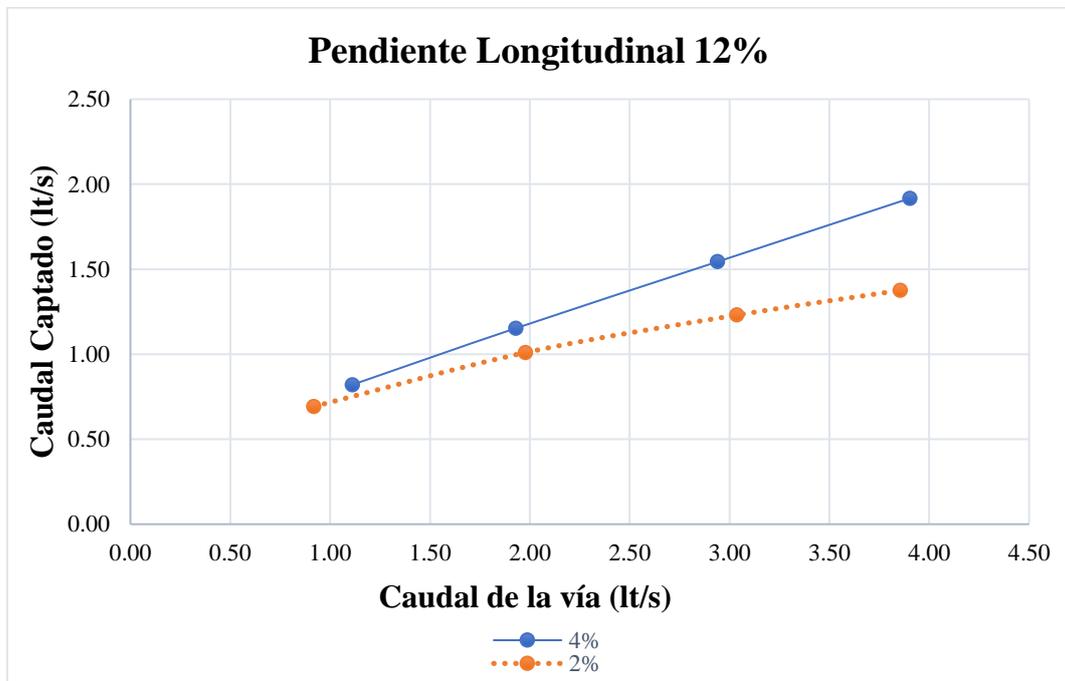
Realizado por: Mariela Robalino

Figura 74. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 8% - PT 2% - 4% - ES4



Realizado por: Mariela Robalino

Figura 75. Caudal captado vs Caudal de la vía - PL 12% - PT 2% - 4% - ES4



Realizado por: Mariela Robalino

En las figuras 72, 73, 74 y 75 se observa que para los cuatro casos la pendiente transversal del 4% capta más caudal que la de 2%, conforme se va aumentando el caudal de ingreso, se incrementa el caudal captado, pero en la pendiente longitudinal del 8% y 12% muestra en el caudal más alto una diferencia representativa entre las pendientes transversales.

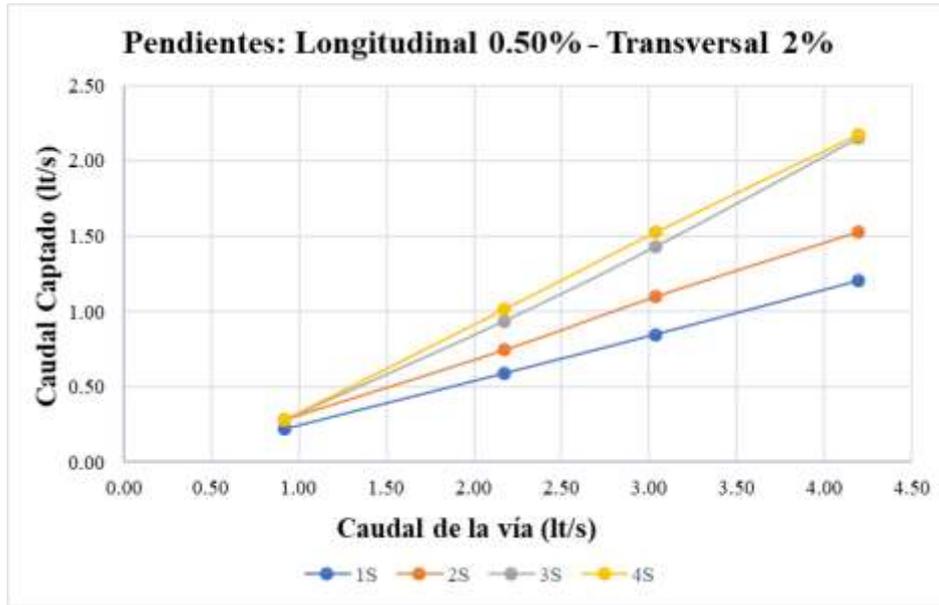
De las cuatro figuras la combinación que presenta mayor caudal receptado es la pendiente longitudinal de 4% y transversal de 4% con un Q ingreso de 4.00 lt/s y un Q captado de 2.67 lt/s. Los datos se obtienen de la tabla 89.

La combinación que presenta menor caudal de captación se encuentra en la pendiente longitudinal de 8% y transversal de 2% con un Q ingreso de 4.10 lt/s y un Q captado de 1.23 lt/s. Los datos se obtienen de la tabla 90.

3.1.1.2.4 Nivel +1.75 cm empleando todas las combinaciones de sumideros

En las figuras 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82 y 83 se presenta el caudal captado para diferentes escenarios de sumideros, utilizando una gráfica con caudal captado vs el caudal de ingreso variando el número de sumideros con un N+ 1.75cm, el rango de caudales va desde 1lt/s hasta 4.5lt/s.

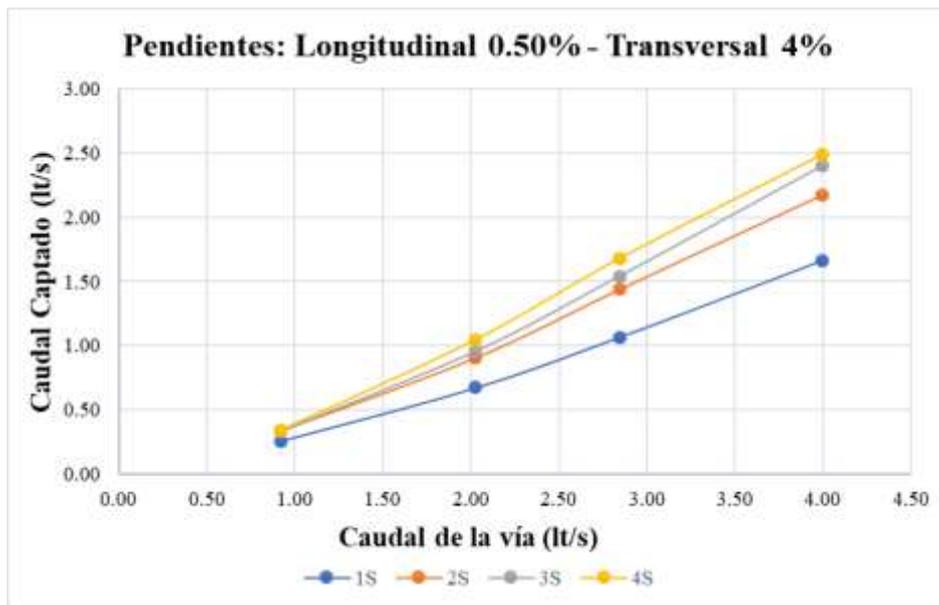
Figura 76. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 2% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 76 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 1.20 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 2.18 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 4.19 lt/s.

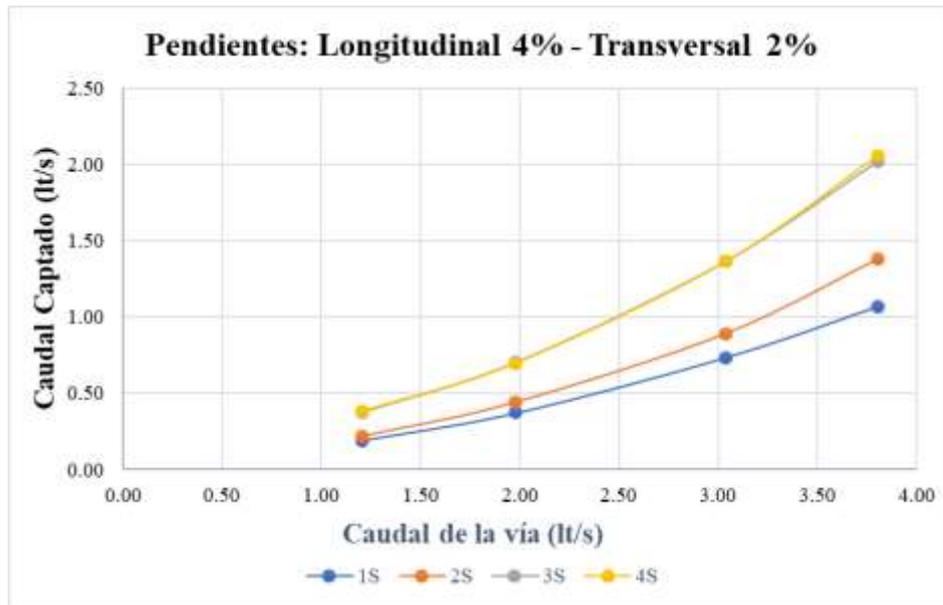
Figura 77. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 0.5% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 77 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 1.67 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 2.50 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 4.00 lt/s.

Figura 78. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 2% - ETS

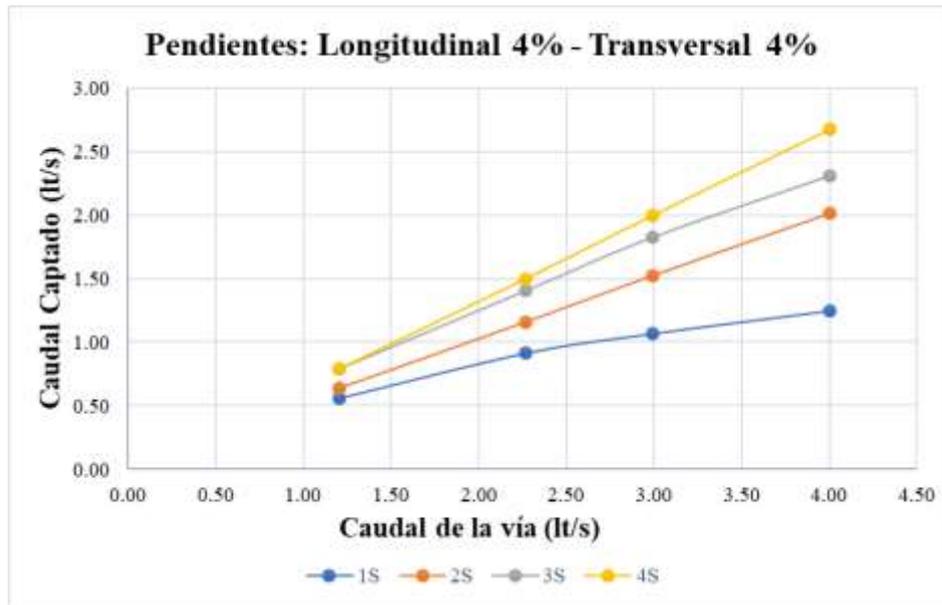


Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 78 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.73 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.36 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 3.04 lt/s.

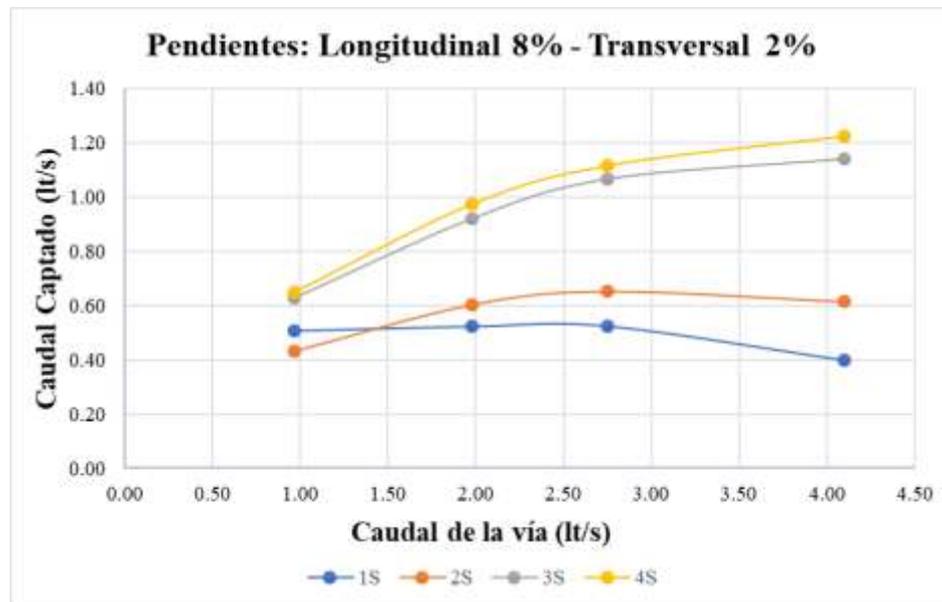
En la figura 79 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.91 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.50 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 2.27 lt/s.

Figura 79. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 4% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

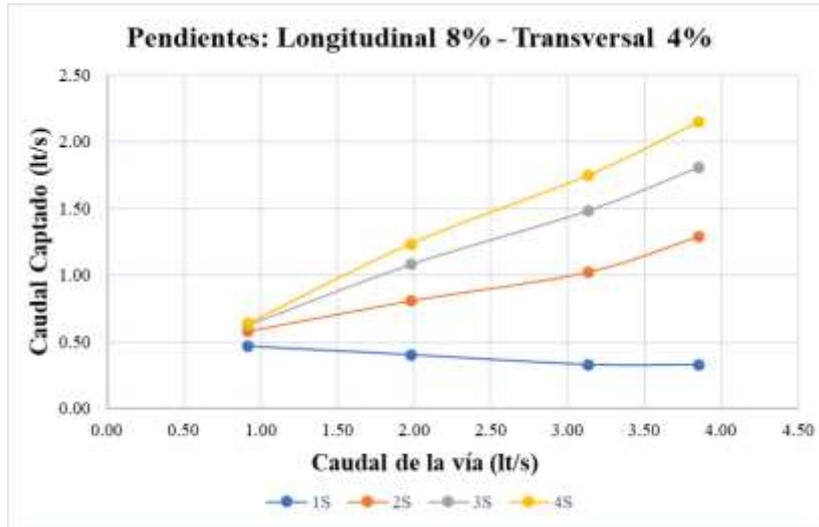
Figura 80. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 2% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 80 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.51 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 0.65 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 0.97 lt/s.

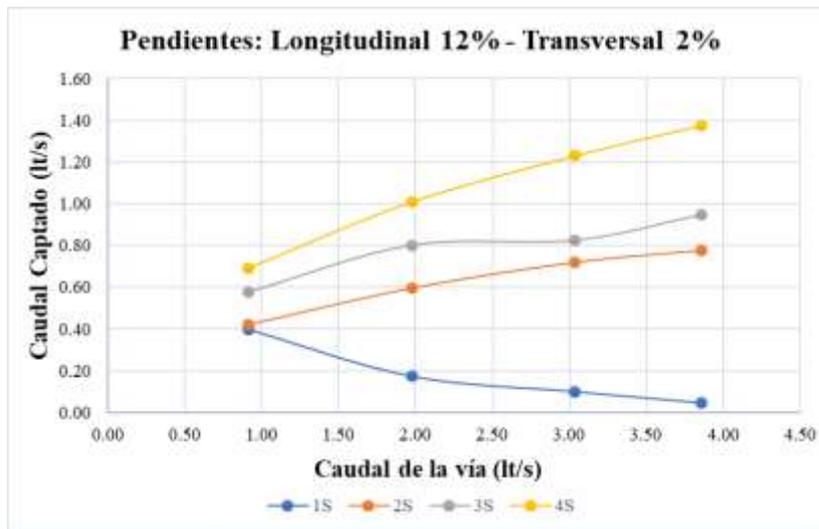
Figura 81. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 8% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 81 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.40 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.23 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.98 lt/s.

Figura 82. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 2% - ETS

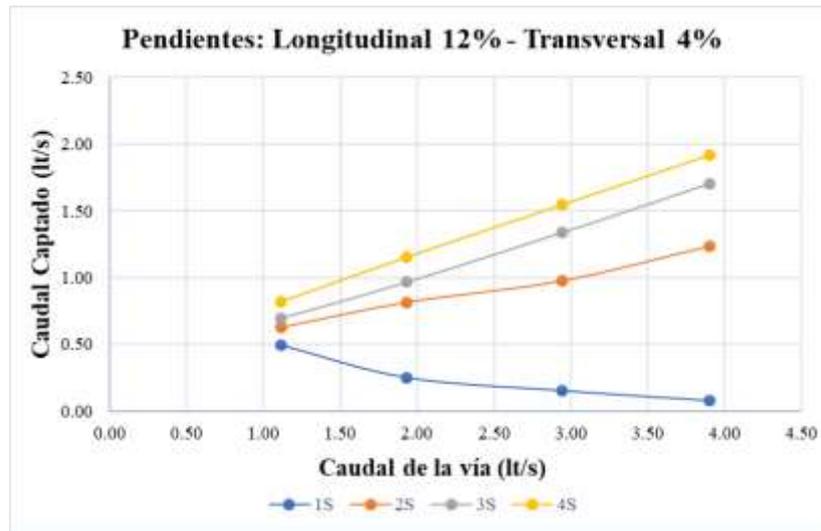


Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 82 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.10 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 1.23 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 3.04 lt/s.

En la figura 83 se visualiza que con un sumidero el caudal captado es de 0.49 lt/s y con cuatro sumideros el caudal captado es de 0.82 lt/s siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.11 lt/s.

Figura 83. Caudal captado vs Caudal de la vía con PL 12% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

Según las figuras 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82 y 83 se determinó que en caudales bajos no existe gran variación de captación para los diferentes escenarios con respecto al número de sumideros. La mayor capacidad de captación es de 2.67 lt/s y se encuentra en la combinación pendiente longitudinal 4% y transversal 4% con 4 sumideros, la que se manifiesta con una menor captación está ubicado en la pendiente longitudinal 12% y transversal 4% con 1 sumideros y es de 0.08 lt/s.

Se concluye que a mayor número de sumideros mayor es la captación. Considerando que en caudal bajo para todos los escenarios no depende de la cantidad de sumideros.

3.1.1.2.5 Comparación entre N+ 0.00 y N+ 1.75cm

Tanto para la ubicación de los sumideros en N+0.00 y N+1.75, se presentan mayor captación en el escenario 4 y menor captación para el escenario 1. Con sumideros

elevados la recolección de agua es mayor cuando los caudales son bajos, conforme este aumenta la captación disminuye, esto no ocurre con sumideros ubicados en N+0.00 mientras va aumentando el caudal de ingreso la captación de los sumideros se incrementa, siendo directamente proporcional.

La capacidad de los sumideros usando el primer escenario, cuando mantienen una elevación de N +1.75cm supera la capacidad del N +0.00, en las combinaciones 12%-2%, 12%-4%, 8% - 2%, 8%- 4% y 4%- 4%.

3.1.1.3 Eficiencia vs caudal

Con los resultados obtenidos del caudal de ingreso y del caudal captado, se determina la eficiencia del modelo (relación entre el caudal captado y el caudal de ingreso), valor que es representado en porcentaje.

a fórmula de la eficiencia que se utiliza es:

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q \text{ captado}}{Q \text{ ingreso}}$$

3.1.1.3.1 N+0.00 empleando 4 escenarios de sumideros

ESCENARIO 1

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en las tablas 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 y 37. En las tablas se presentan los datos del caudal de la vía “Qi”, caudal de

captación “Qc”, y el caudal sobrante “Qv” que es la diferencia entre Q ingreso y Q captado.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 84, 85, 86 y 87.

Tabla 30.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	1	1.11	0.75	0.36	68%
			1.98	1.14	0.84	58%
			3.13	1.44	1.69	46%
			3.76	1.64	2.12	44%

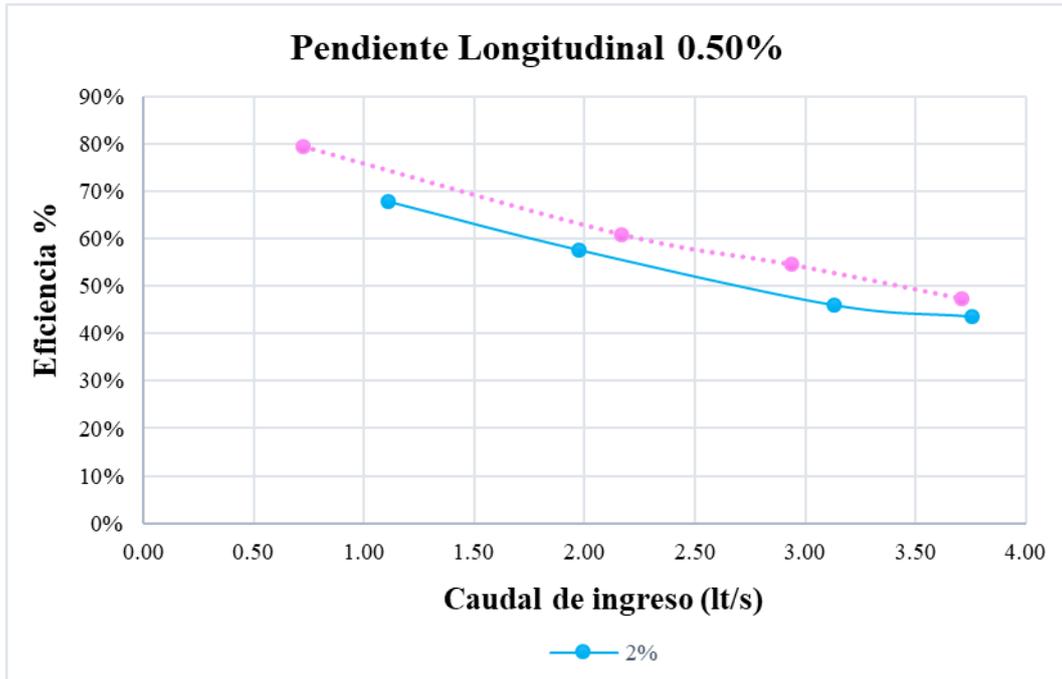
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 31.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	1	0.73	0.57	0.15	79%
			2.17	1.32	0.85	61%
			2.94	1.60	1.34	54%
			3.71	1.76	1.95	47%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 84. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS1



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 32.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	1	1.21	0.26	0.95	21%
			2.17	0.40	1.77	19%
			2.99	0.50	2.49	17%
			3.90	0.57	3.33	15%

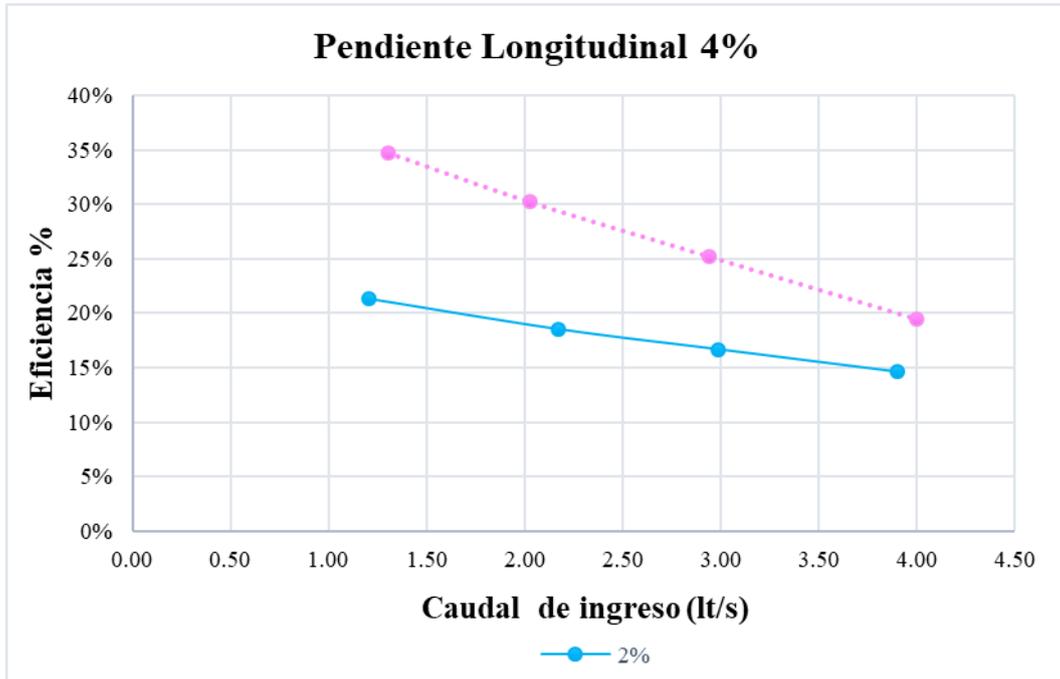
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 33.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	1	1.30	0.45	0.85	35%
			2.03	0.61	1.41	30%
			2.94	0.74	2.20	25%
			4.00	0.78	3.22	19%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 85. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - NS1



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 34.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	1	1.11	0.27	0.84	24%
			1.98	0.38	1.60	19%
			2.94	0.51	2.43	17%
			3.90	0.66	3.24	17%

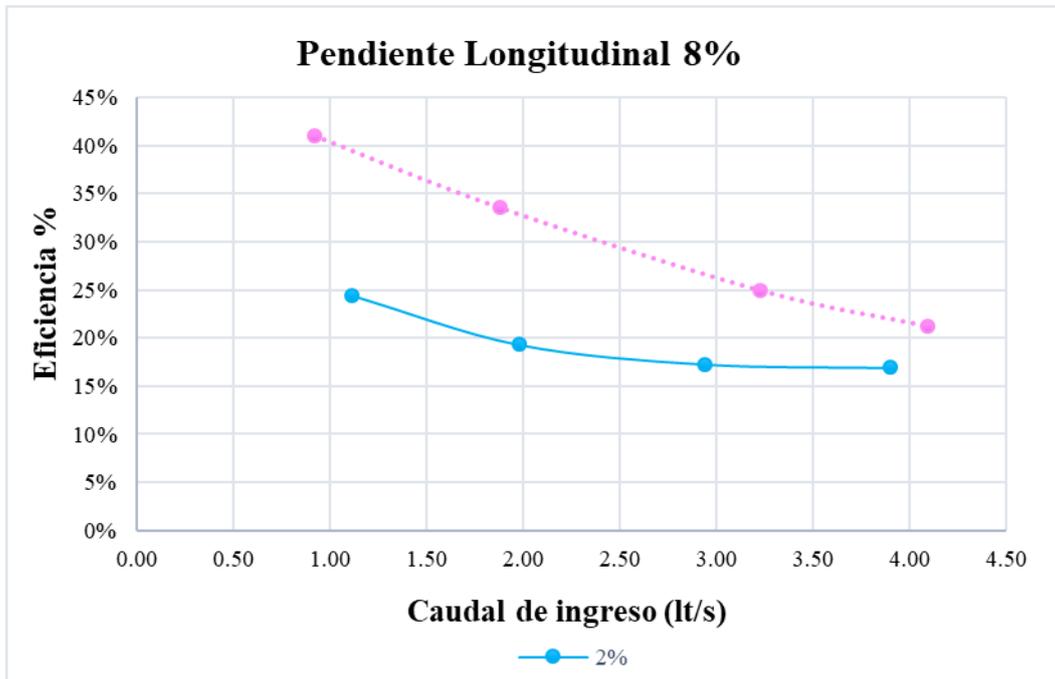
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 35.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	1	0.92	0.38	0.54	41%
			1.88	0.63	1.25	34%
			3.23	0.81	2.42	25%
			4.10	0.87	3.22	21%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 86. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4%



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 36.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	1	0.82	0.35	0.47	43%
			1.88	0.48	1.40	26%
			2.94	0.59	2.35	20%
			4.10	0.75	3.35	18%

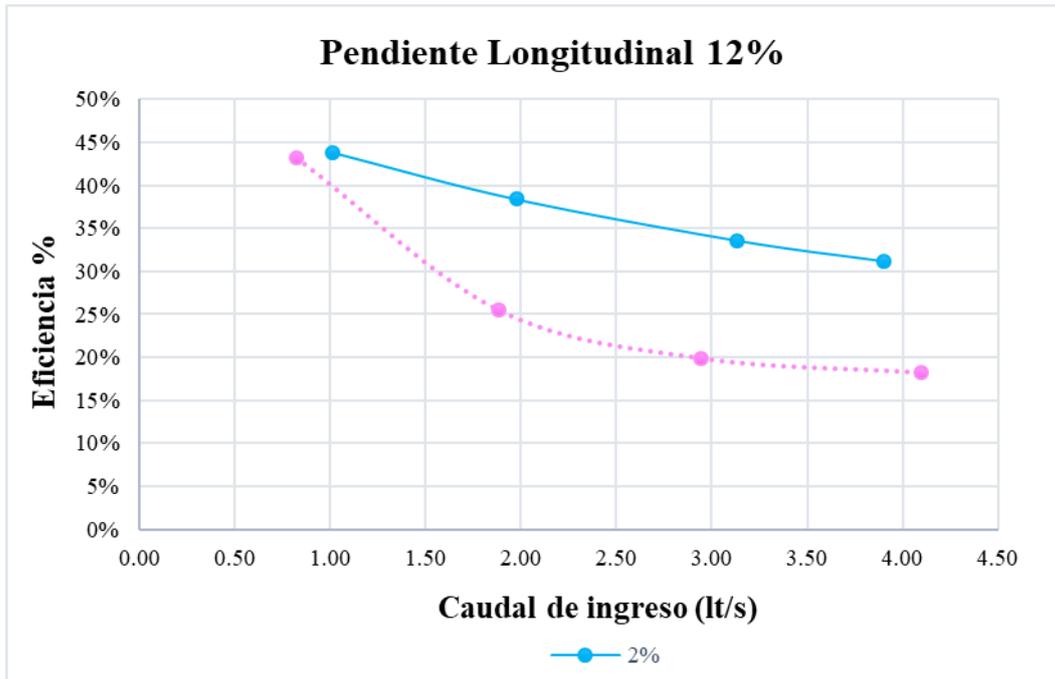
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 37.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	1	1.01	0.44	0.57	44%
			1.98	0.76	1.22	38%
			3.13	1.05	2.08	34%
			3.90	1.22	2.69	31%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 87. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS1



Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 84, 85, 86 y 87 se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios.

ESCENARIO 2

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en la tabla 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45. En las tablas se presentan los datos del caudal de ingreso “ Q_i ”, caudal de captación “ Q_c ”, y el caudal sobrante “ Q_v ” que es la diferencia entre Q ingreso y Q captado.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 88, 89, 90 y 91.

Tabla 38.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	2	1.11	0.79	0.32	71%
			1.98	1.35	0.63	68%
			3.13	1.98	1.16	63%
			3.76	2.25	1.51	60%

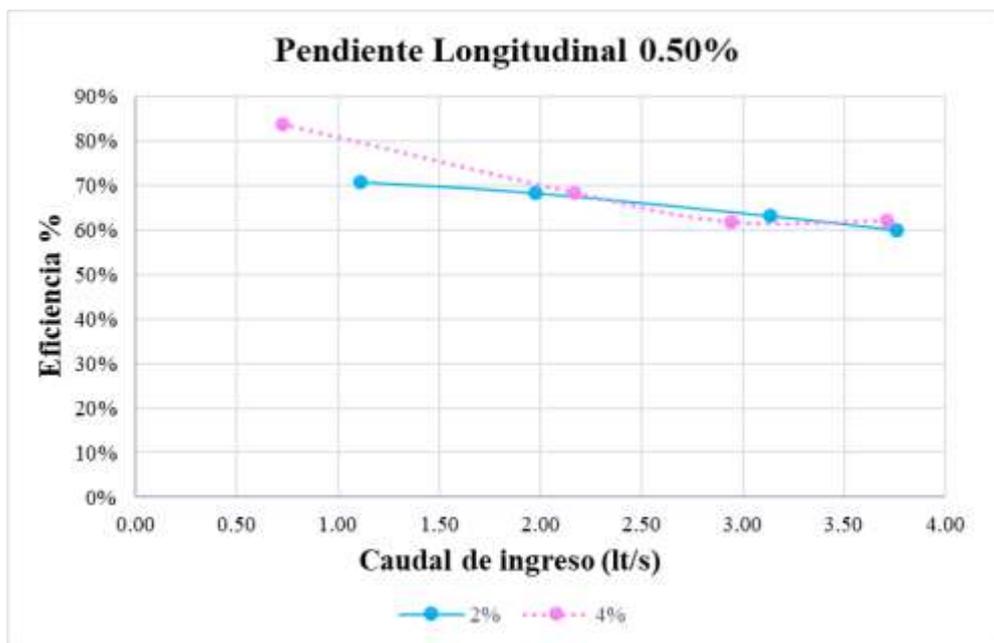
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 39.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	2	0.73	0.61	0.12	84%
			2.17	1.48	0.69	68%
			2.94	1.82	1.12	62%
			3.71	2.30	1.41	62%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 88. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS2



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 40.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	2	1.21	0.35	0.85	29%
			2.17	0.58	1.59	27%
			2.99	0.76	2.22	26%
			3.90	0.90	3.00	23%

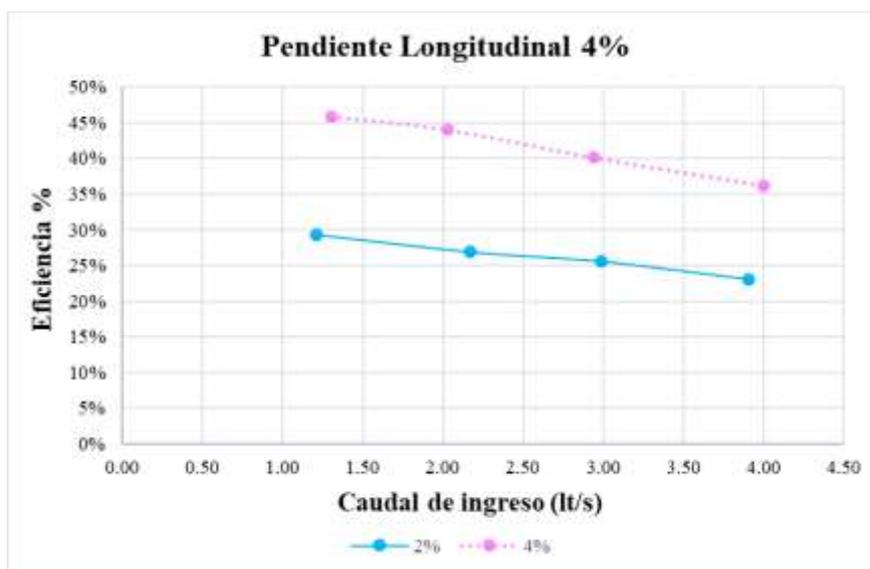
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 41.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	2	1.30	0.60	0.71	46%
			2.03	0.89	1.13	44%
			2.94	1.18	1.76	40%
			4.00	1.45	2.55	36%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 89. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% -NS2



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 42.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	2	1.11	0.34	0.77	31%
			1.98	0.47	1.51	24%
			2.94	0.60	2.34	20%
			3.90	0.79	3.12	20%

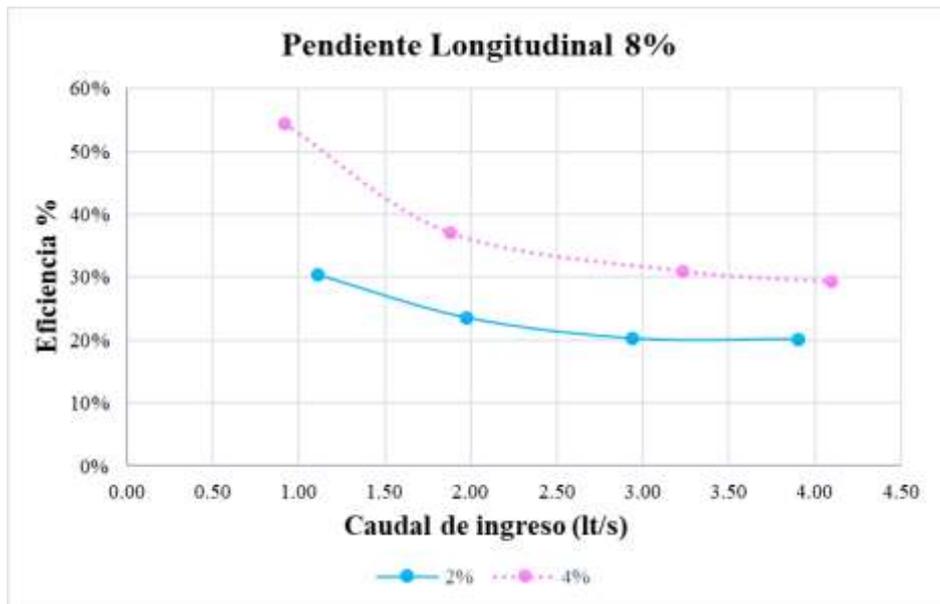
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 43.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	2	0.92	0.50	0.42	54%
			1.88	0.70	1.18	37%
			3.23	1.00	2.23	31%
			4.10	1.20	2.90	29%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 90. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - NS2



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 44.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	2	0.82	0.38	0.44	47%
			1.88	0.57	1.31	30%
			2.94	0.68	2.26	23%
			4.10	0.82	3.28	20%

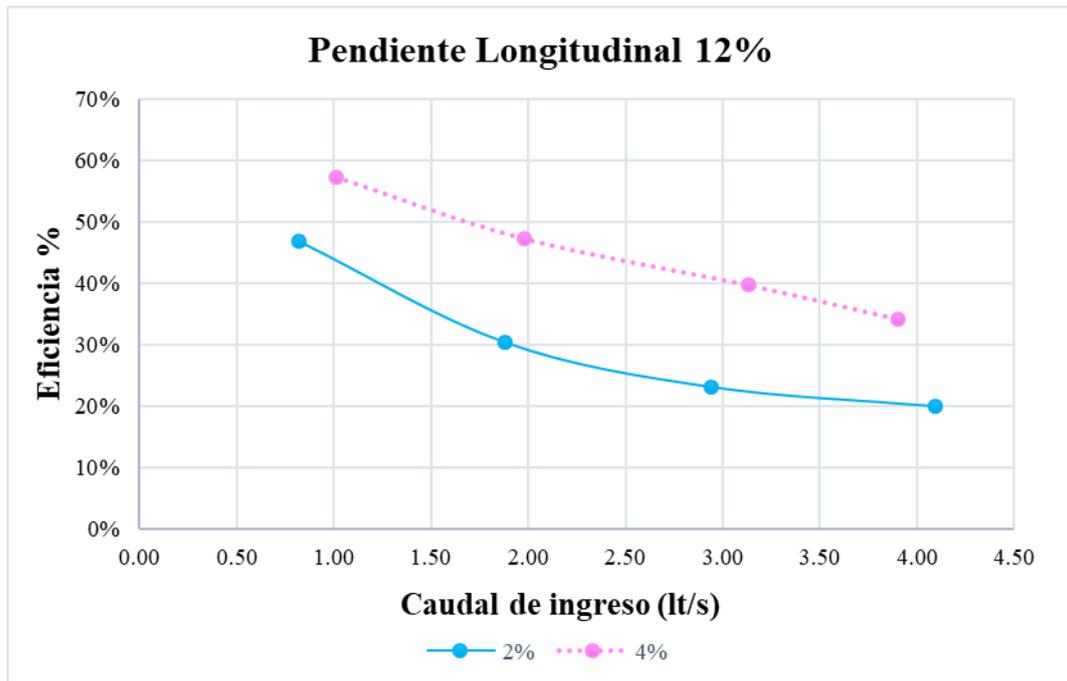
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 45.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	2	1.01	0.58	0.43	57%
			1.98	0.93	1.04	47%
			3.13	1.24	1.89	40%
			3.90	1.33	2.57	34%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 91. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS2



Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 88, 89, 90 y 91 se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios.

ESCENARIO 3

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en las tablas 48, 49, 50, 51, 52 y 53. En las tablas se presentan los datos del caudal de ingreso “Qi”, caudal de captación “Qc”, y el caudal sobrante “Qv” que es la diferencia de Q ingreso y Q captado.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 92, 93, 94 y 95.

Tabla 46.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	3	1.11	0.79	0.32	71%
			1.98	1.48	0.50	75%
			3.13	2.40	0.74	77%
			3.76	3.00	0.76	80%

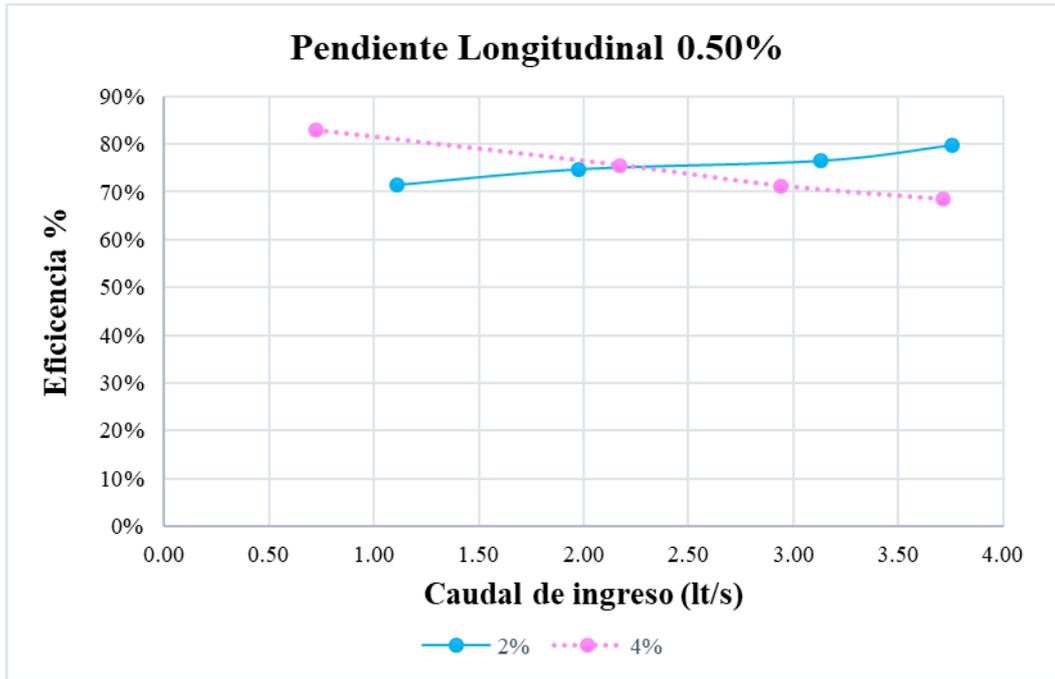
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 47.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	3	0.73	0.60	0.12	83%
			2.17	1.64	0.53	76%
			2.94	2.09	0.85	71%
			3.71	2.54	1.17	68%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 92. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS3



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 48.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	3	1.21	0.51	0.70	42%
			2.17	0.89	1.28	41%
			2.99	1.20	1.78	40%
			3.90	1.54	2.37	39%

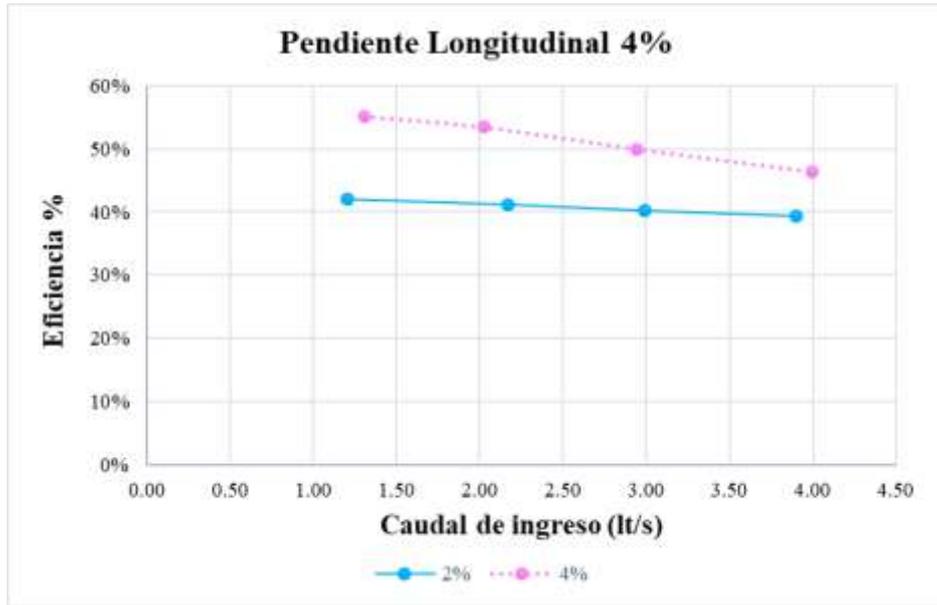
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 49.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	3	1.30	0.72	0.58	55%
			2.03	1.08	0.94	53%
			2.94	1.47	1.47	50%
			4.00	1.85	2.15	46%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 93. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - NS3



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 50.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	3	1.11	0.38	0.73	34%
			1.98	0.60	1.38	30%
			2.94	0.87	2.07	30%
			3.90	1.10	2.80	28%

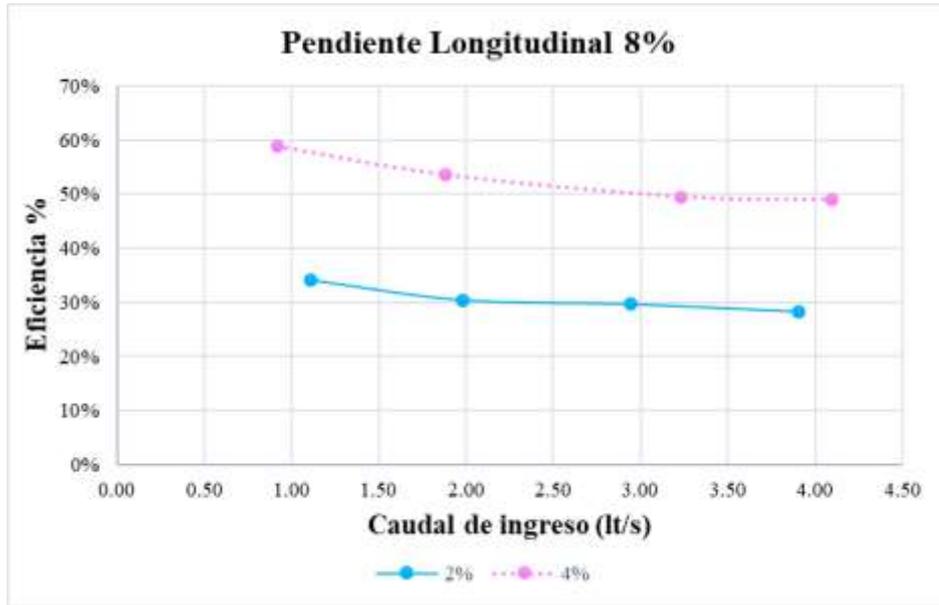
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 51.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	3	0.92	0.54	0.38	59%
			1.88	1.01	0.87	54%
			3.23	1.60	1.63	50%
			4.10	2.01	2.09	49%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 94. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - NS3



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 52.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	3	0.82	0.40	0.42	48%
			1.88	0.70	1.18	37%
			2.94	0.99	1.95	34%
			4.10	1.38	2.71	34%

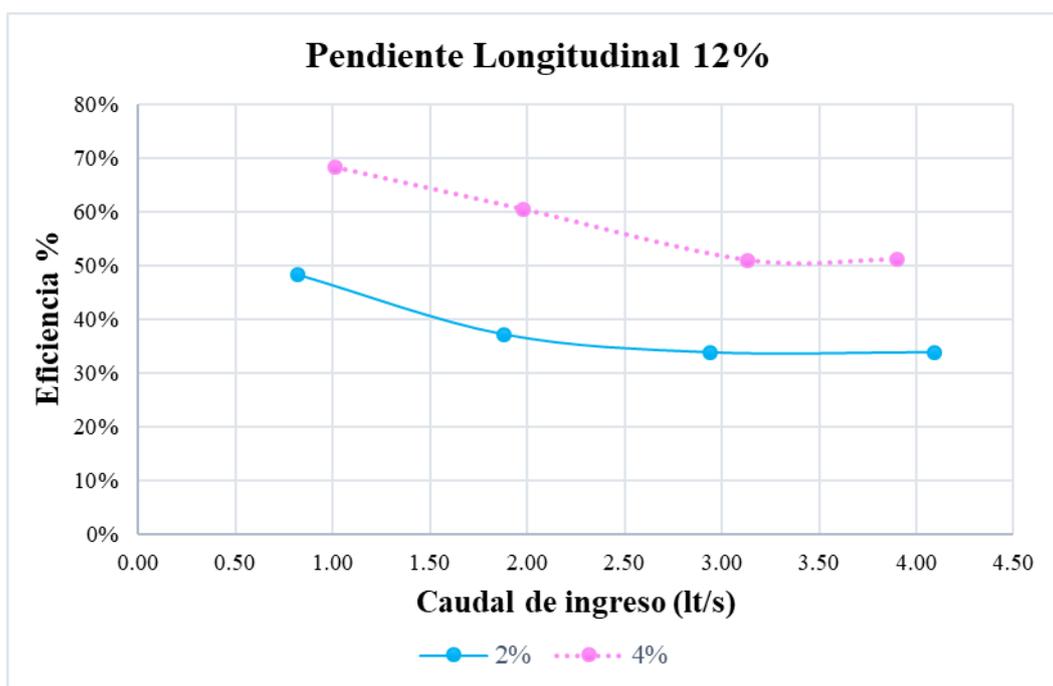
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 53.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	3	1.01	0.69	0.32	68%
			1.98	1.20	0.78	60%
			3.13	1.60	1.53	51%
			3.90	2.00	1.91	51%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 95. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS3



Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 92, 93, 94 y 95 se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios dentro de las pendientes longitudinales del 12%, 8%, 4% y 0.5%, en esta última el patrón de comportamiento solo trabaja de manera similar cuando se la combina con una pendiente transversal de 4%, en el escenario donde se combina con la pendiente transversal de 2% encontramos un patrón de comportamiento distinto, al aumentar el caudal la eficiencia tiende a aumentar.

ESCENARIO 4

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en las tablas 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 y 61. En las tablas se presentan los datos del caudal de ingreso “ Q_i ”, caudal de captación “ Q_c ”, y el caudal sobrante “ Q_v ” que es la diferencia entre Q ingreso y Q captado.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 96, 97, 98 y 99.

Tabla 54.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	4	1.11	0.81	0.30	73%
			1.98	1.53	0.45	77%
			3.13	2.60	0.53	83%
			3.76	3.23	0.53	86%

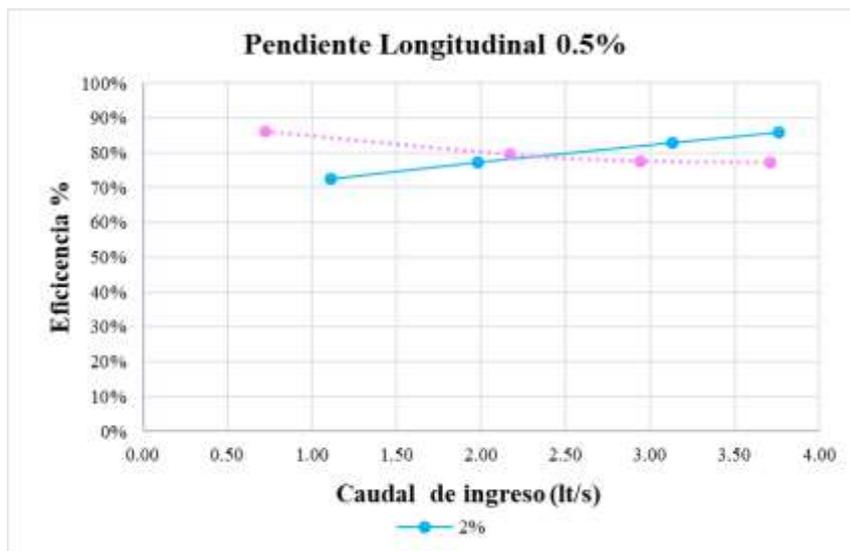
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 55.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	4	0.73	0.62	0.10	86%
			2.17	1.72	0.44	79%
			2.94	2.28	0.66	78%
			3.71	2.87	0.84	77%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 96. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - NS4



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 56.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	4	1.21	0.51	0.70	42%
			2.17	1.01	1.16	47%
			2.99	1.43	1.56	48%
			3.90	1.90	2.00	49%

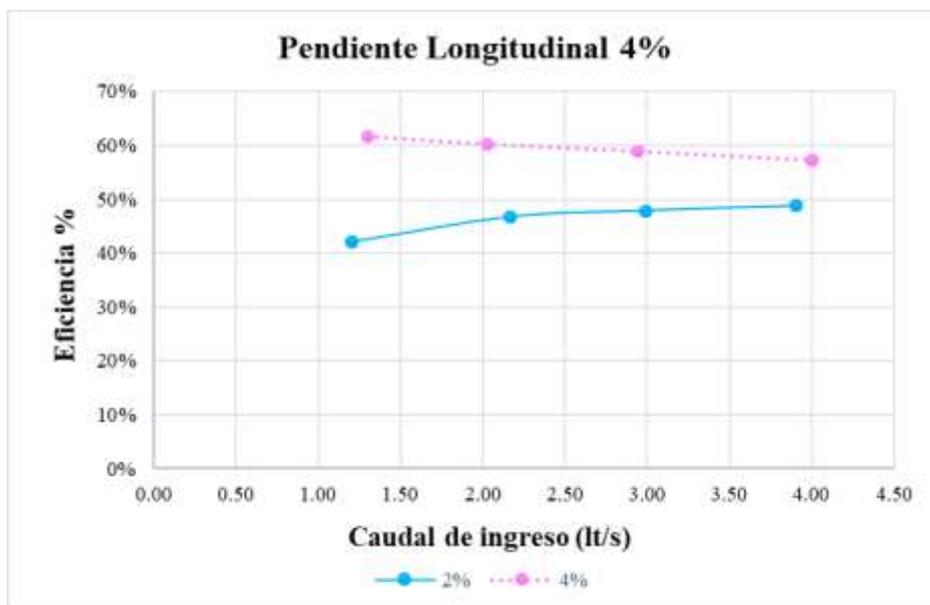
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 57.- Eficiencia vs Caudal con pendiente 4% - 4% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	4	1.30	0.80	0.50	62%
			2.03	1.22	0.81	60%
			2.94	1.73	1.21	59%
			4.00	2.29	1.71	57%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 97. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - NS4



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 58.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	4	1.11	0.39	0.72	35%
			1.98	0.73	1.25	37%
			2.94	1.11	1.83	38%
			3.90	1.49	2.41	38%

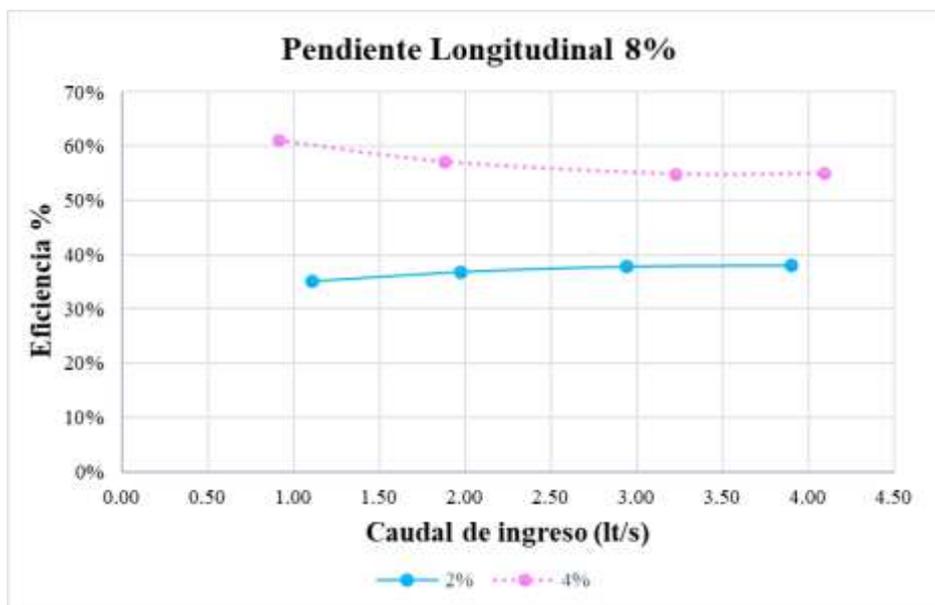
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 59.- Eficiencia vs Caudal con pendiente 8% - 4% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	4	0.92	0.56	0.36	61%
			1.88	1.08	0.81	57%
			3.23	1.77	1.46	55%
			4.10	2.25	1.84	55%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 98. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - NS4



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 60.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	4	0.82	0.41	0.41	50%
			1.88	0.72	1.16	38%
			2.94	1.01	1.93	34%
			4.10	1.40	2.69	34%

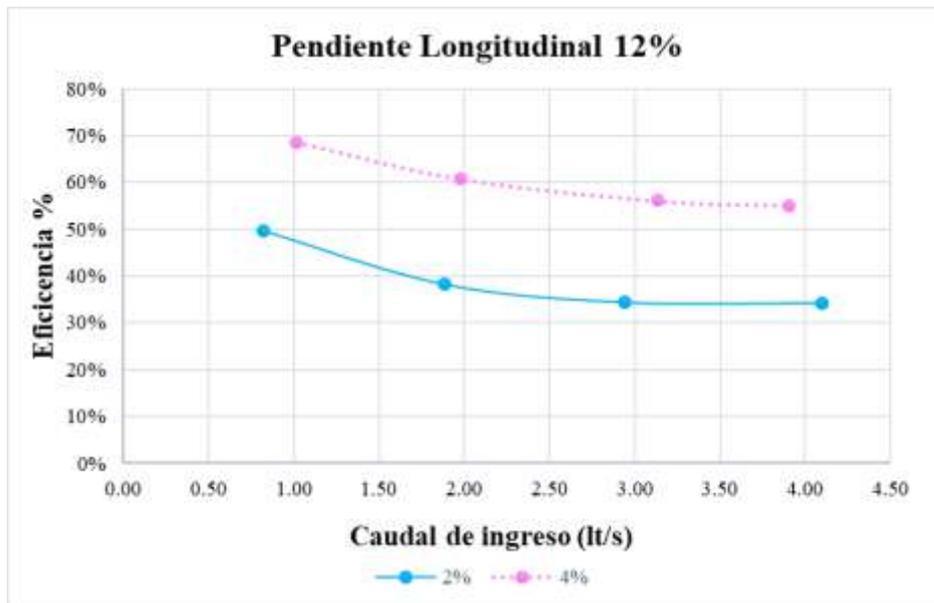
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 61.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - NS4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	4	1.01	0.70	0.32	69%
			1.98	1.20	0.78	61%
			3.13	1.76	1.38	56%
			3.90	2.15	1.75	55%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 99. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - NS4



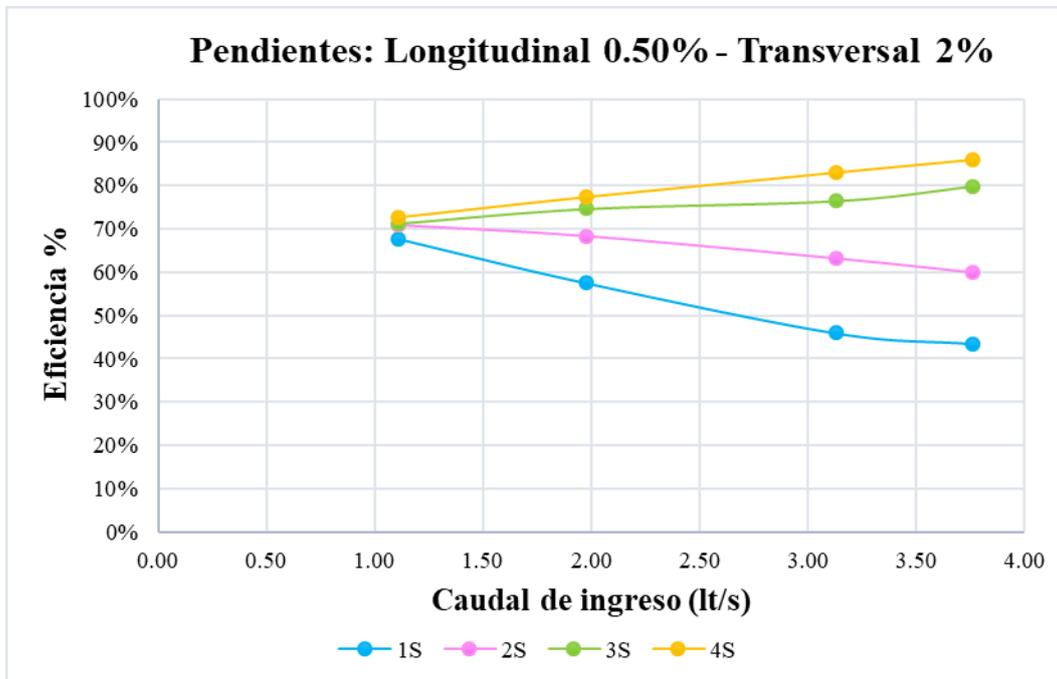
Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 96, 97, 98 y 99 se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios dentro de las pendientes longitudinales del 12%, 8%, 4% y 0.5%, en esta última el patrón de comportamiento solo trabaja de manera similar cuando se la combina con una pendiente transversal de 4%, en el escenario donde se combina con la pendiente transversal de 2% encontramos un patrón de comportamiento distinto, al aumentar el caudal la eficiencia tiende a aumentar.

3.1.1.3.2 N +0.00 empleando todas las combinaciones de sumideros

En las figuras 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 y 107 se presentan la eficiencia para diferentes escenarios de sumideros, utilizando una gráfica con eficiencia vs el caudal variando el número de sumideros, el rango de caudales va desde 0.73 lt/s hasta 4.10 lt/s. La eficiencia se muestra en porcentajes.

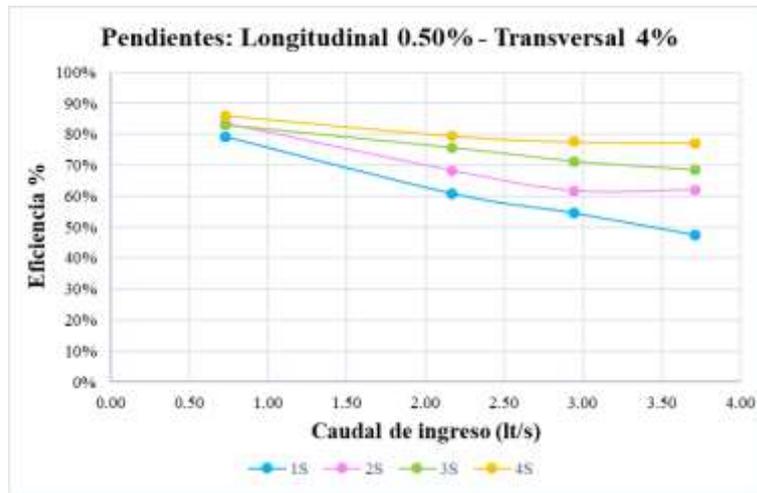
Figura 100. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 100 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 68 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 73 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.11 lt/s.

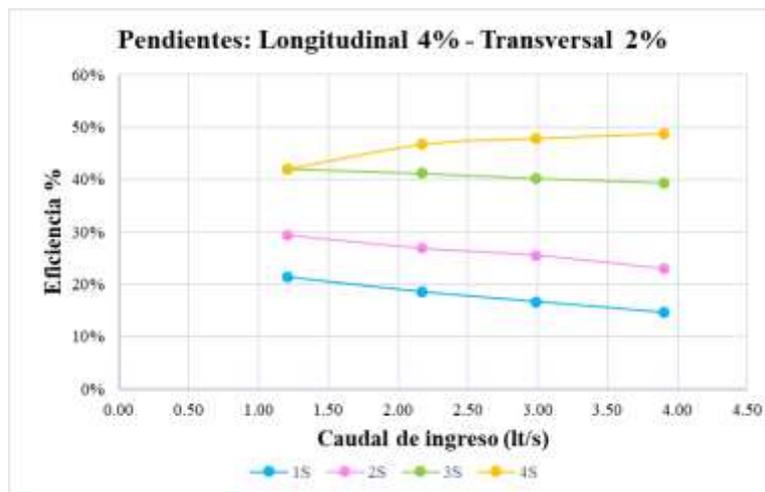
Figura 101. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 4% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 101 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 79 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 86 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 0.73 lt/s.

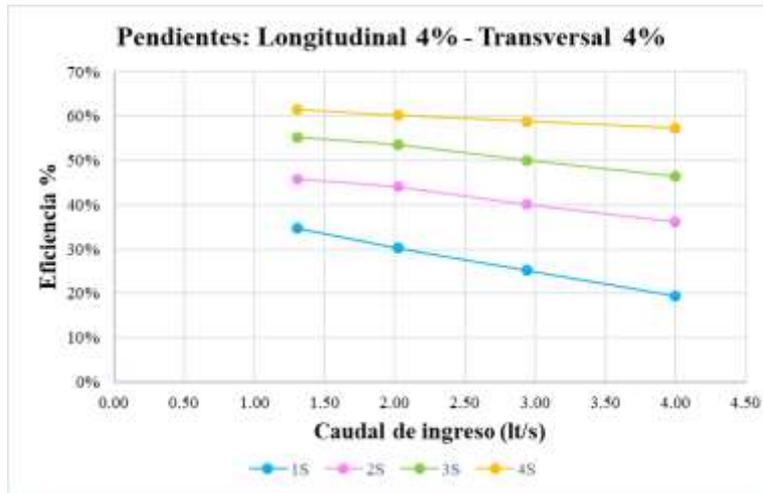
Figura 102. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 102 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 17 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 48 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 2.99 lt/s.

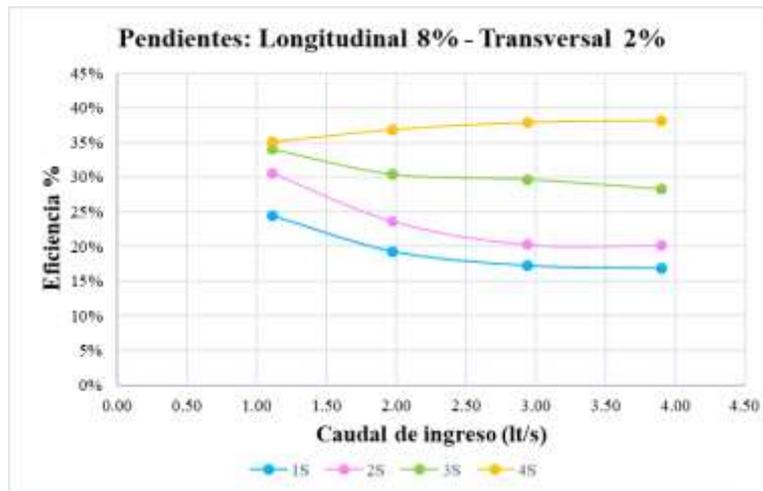
Figura 103. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 4% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 103 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 19% y con cuatro sumideros la eficiencia es de 57% siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 4.00 lt/s.

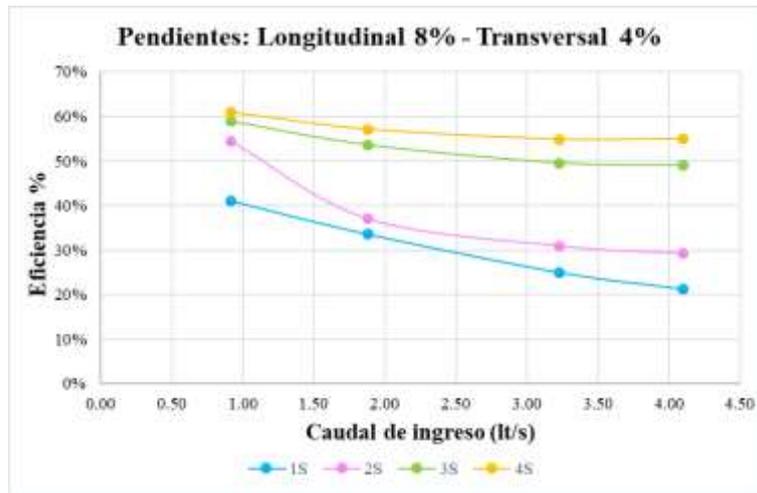
Figura 104. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 104 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 19 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 37 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.98 lt/s.

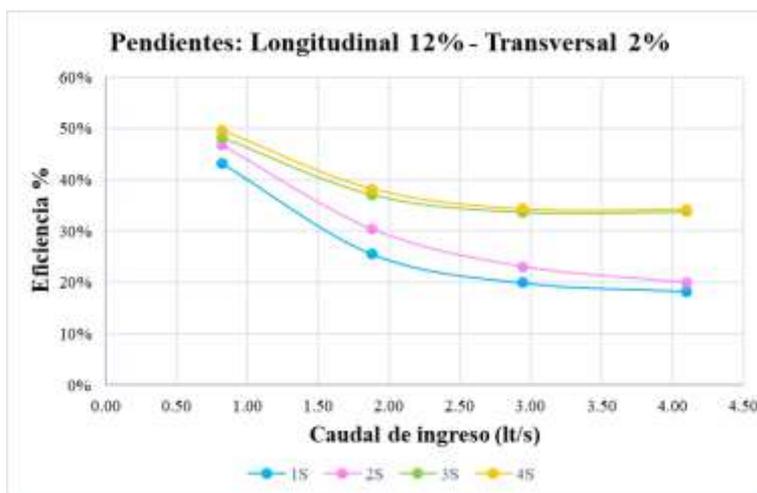
Figura 105. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 4% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 105 anterior se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 41 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 61% siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 0.92 lt/s.

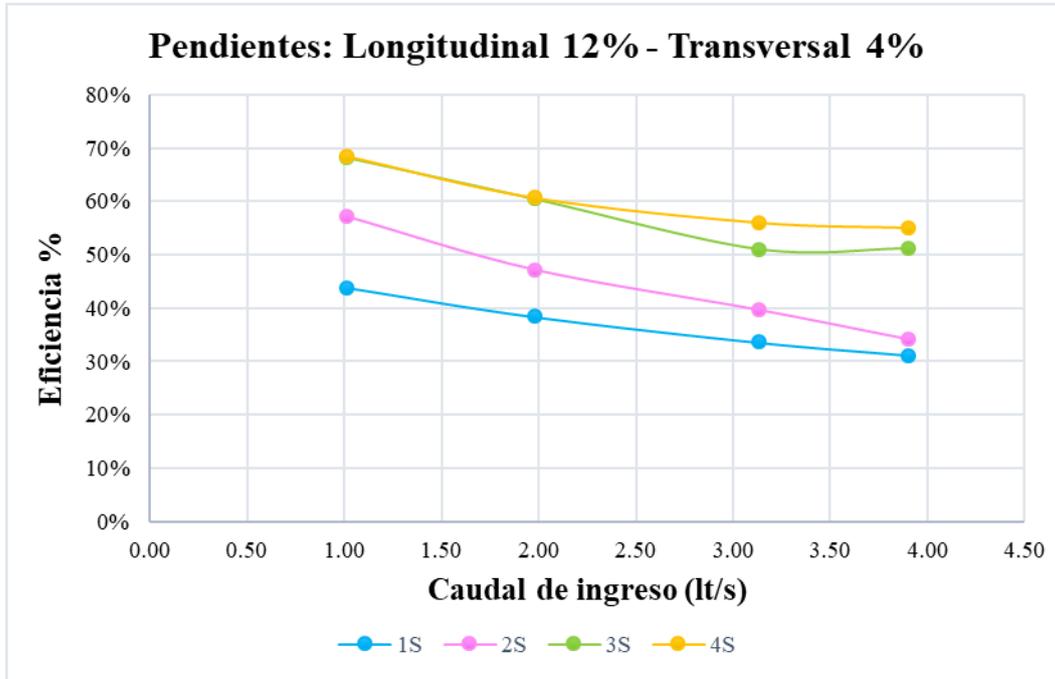
Figura 106. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 106 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 20 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 34 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 2.94 lt/s.

Figura 107. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 4% - NTS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 107 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 44% y con cuatro sumideros la eficiencia es de 69 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.01 lt/s.

Se manifiesta que, con todas las combinaciones propuestas, la que presenta mayor eficiencia en relación al caudal está en el escenario 4, con una eficiencia de 86%, está se encuentra ubicada en la pendiente longitudinal de 0.5% y transversal de 2%-4%. Se muestra en la tabla 54 y 55.

3.1.1.3.3 Nv +1.75 cm empleando cuatro escenarios de sumideros

ESCENARIO 1

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en las tablas 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68 y 69. En las tablas se presentan los datos de caudal de ingreso “Qi”, caudal de captación “Qc”, y el caudal sobrante “Qv” que es la diferencia del Qi y Q captado.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 108, 109, 110 y 111.

Tabla 62.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	1	0.92	0.22	0.70	24%
			2.17	0.59	1.58	27%
			3.04	0.85	2.19	28%
			4.19	1.20	2.99	29%

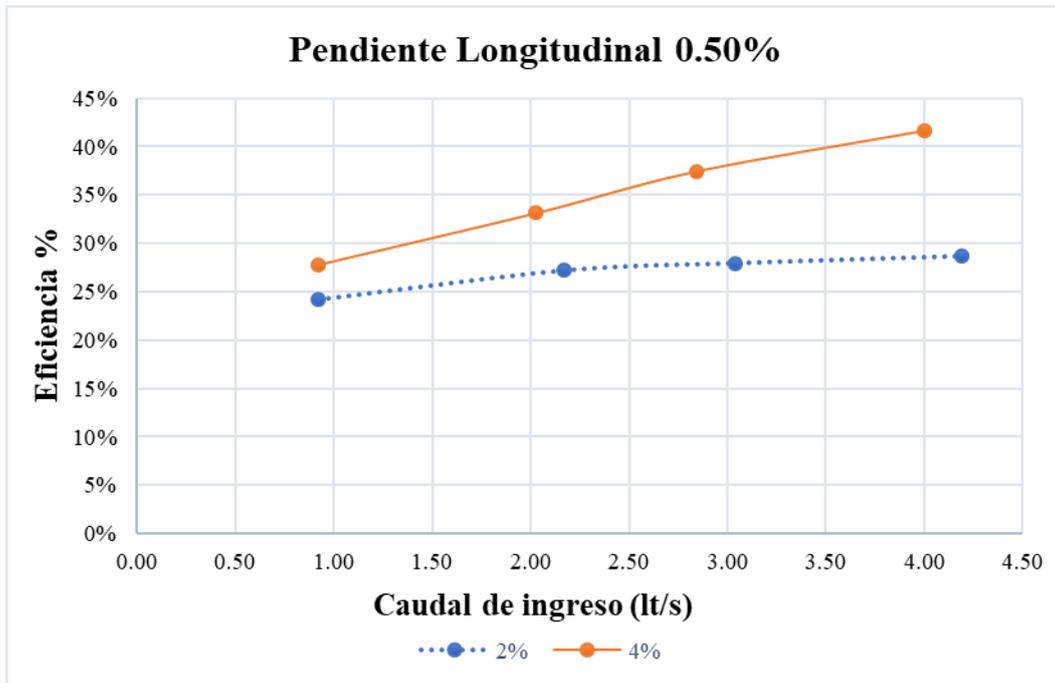
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 63.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	1	0.92	0.26	0.66	28%
			2.03	0.67	1.35	33%
			2.84	1.07	1.78	37%
			4.00	1.67	2.33	42%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 108. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES1



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 64.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	1	1.21	0.19	1.01	16%
			1.98	0.37	1.61	19%
			3.04	0.73	2.30	24%
			3.81	1.07	2.74	28%

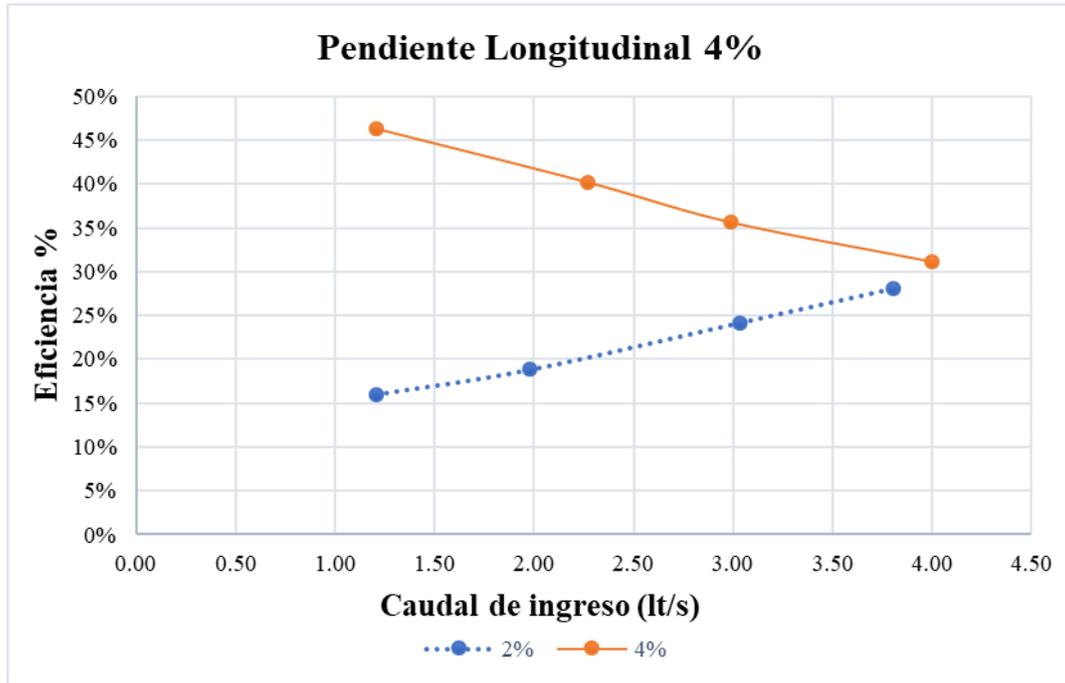
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 65.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	1	1.21	0.56	0.65	46%
			2.27	0.91	1.35	40%
			2.99	1.06	1.92	36%
			4.00	1.24	2.75	31%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 109. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES1



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 66.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	1	0.97	0.51	0.46	53%
			1.98	0.52	1.45	27%
			2.75	0.53	2.22	19%
			4.10	0.40	3.70	10%

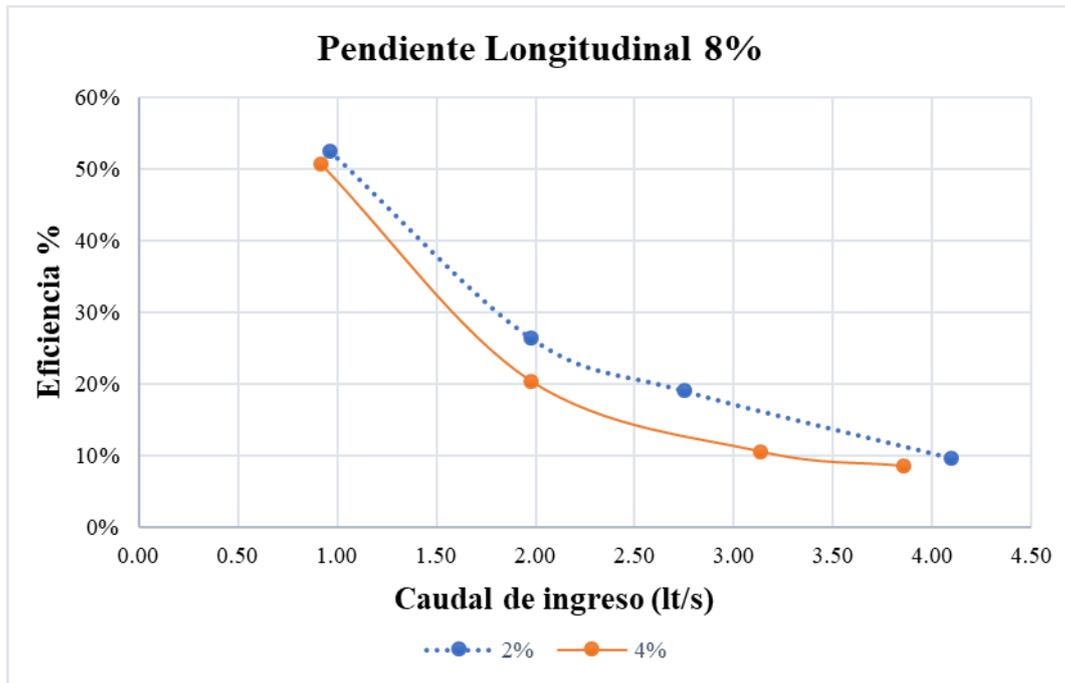
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 67.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	1	0.92	0.47	0.45	51%
			1.98	0.40	1.57	20%
			3.13	0.33	2.80	11%
			3.85	0.33	3.53	9%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 110. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES1



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 68.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	1	0.92	0.40	0.52	44%
			1.98	0.17	1.80	9%
			3.04	0.10	2.94	3%
			3.85	0.05	3.81	1%

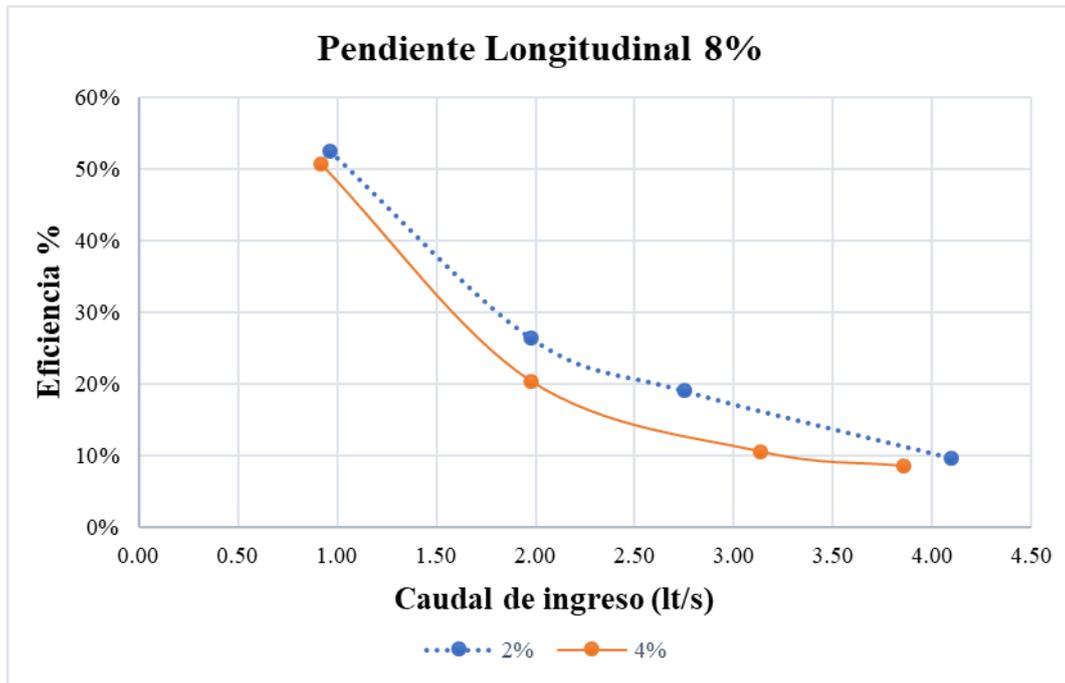
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 69.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES1

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	1	1.11	0.49	0.62	44%
			1.93	0.25	1.68	13%
			2.94	0.15	2.79	5%
			3.90	0.08	3.82	2%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 111. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - ES1



Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 108, 109, 110 y 111 se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios dentro de las pendientes longitudinales del 12% y del 8%. En el caso de pendiente longitudinal 4% y pendiente transversal del 2% se mantiene el mismo patrón de comportamiento, pero al variar la pendiente transversal a 4%, la eficiencia disminuye conforme el caudal de ingreso aumenta. Y para el escenario del 0.5% de pendiente longitudinal al subir el nivel del caudal de ingreso la eficiencia también tiende a aumentar.

ESCENARIO 2

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en las tablas 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76 y 77. En las tablas se presentan los datos de caudal de ingreso “ Q_i ”, caudal de captación “ Q_c ”, y el caudal sobrante “ Q_v ” que es la diferencia entre el Q ingreso y Q captado.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 112, 113, 114 y 115.

Tabla 70.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% -2% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	2	0.92	0.28	0.63	31%
			2.17	0.75	1.42	34%
			3.04	1.10	1.94	36%
			4.19	1.53	2.66	36%

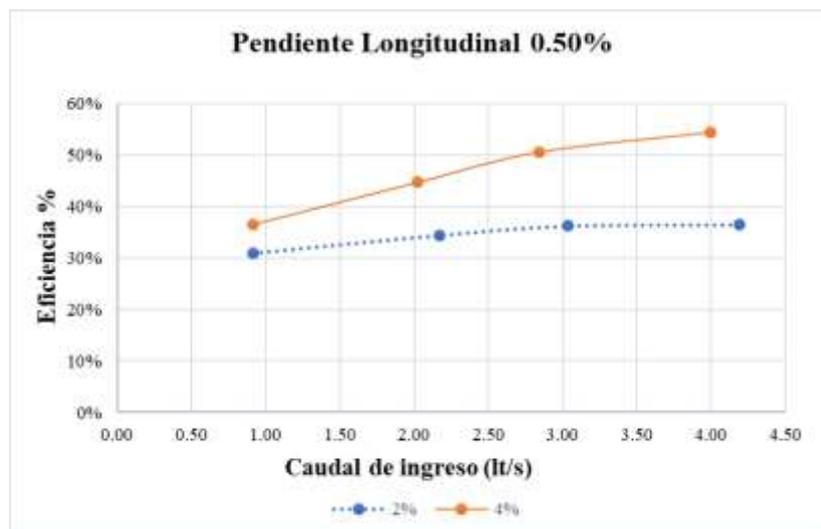
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 71.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	2	0.92	0.34	0.58	37%
			2.03	0.91	1.12	45%
			2.84	1.44	1.41	51%
			4.00	2.18	1.82	54%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 112. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES2



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 72.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	2	1.21	0.22	0.98	18%
			1.98	0.44	1.53	23%
			3.04	0.89	2.14	29%
			3.81	1.38	2.43	36%

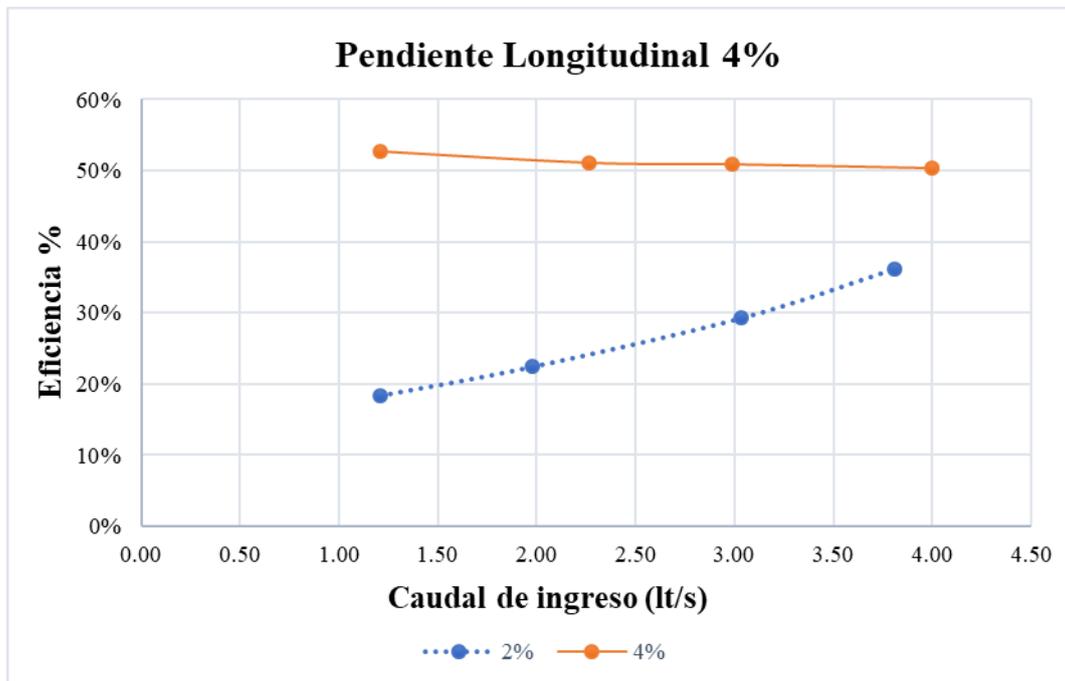
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 73.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	2	1.21	0.64	0.57	53%
			2.27	1.16	1.11	51%
			2.99	1.52	1.47	51%
			4.00	2.01	1.99	50%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 113. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES2



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 74.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% -2 % - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	2	0.97	0.43	0.53	45%
			1.98	0.60	1.37	30%
			2.75	0.65	2.10	24%
			4.10	0.61	3.48	15%

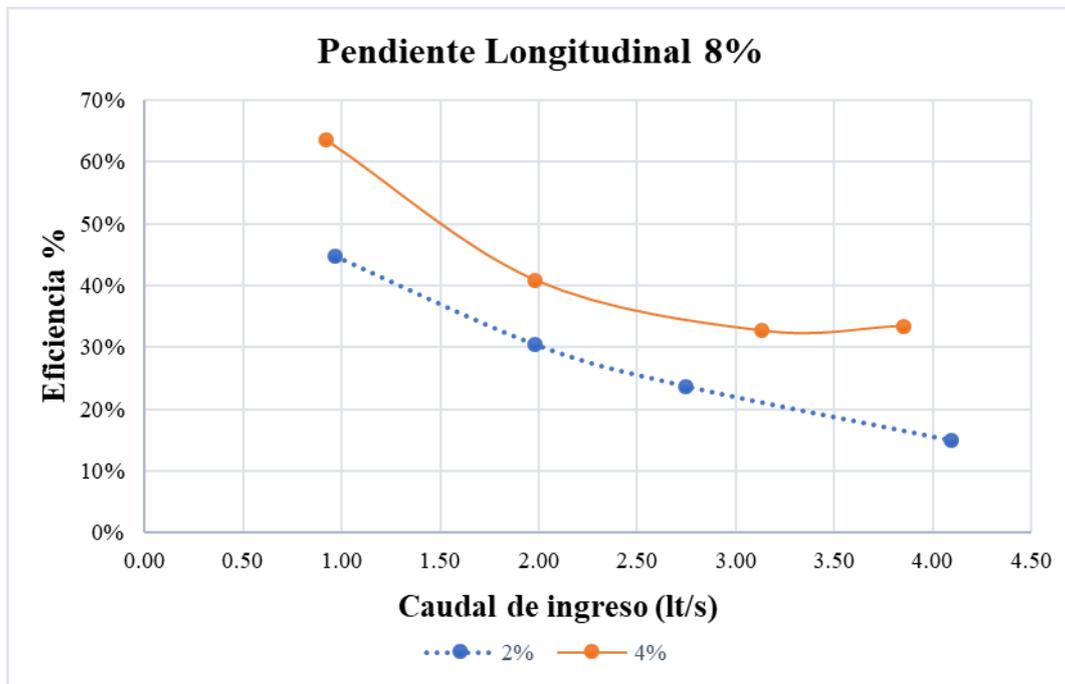
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 75.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	2	0.92	0.58	0.34	63%
			1.98	0.81	1.17	41%
			3.13	1.02	2.11	33%
			3.85	1.29	2.57	33%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 114. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES2



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 76.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	2	0.92	0.42	0.50	46%
			1.98	0.60	1.38	30%
			3.04	0.72	2.32	24%
			3.85	0.78	3.08	20%

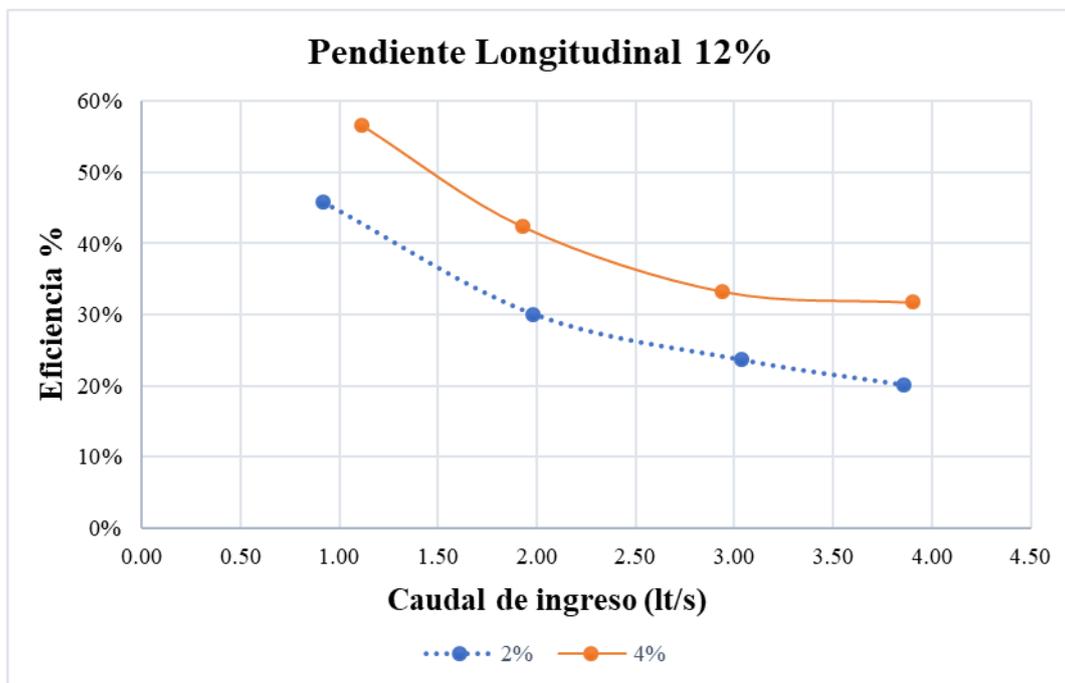
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 77.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES2

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	2	1.11	0.63	0.48	57%
			1.93	0.82	1.11	42%
			2.94	0.98	1.96	33%
			3.90	1.24	2.66	32%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 115. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% -ES2



Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 112, 113, 114 y 115 se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios dentro de las pendientes longitudinales del 12% y del 8%. En el caso de pendiente longitudinal 4% y pendiente transversal del 2% se mantiene el mismo patrón de comportamiento, pero al variar la pendiente transversal a 4%, la eficiencia disminuye conforme el caudal de ingreso aumenta. Y para el escenario del 0.5% de pendiente longitudinal al subir el nivel del caudal de ingreso la eficiencia también tiende a aumentar.

ESCENARIO 3

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en las tablas 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84 y 85. En las tablas se presentan los datos de caudal de ingreso “Qi”, caudal de captación “Qc”, y el caudal sobrante “Qv” que es la diferencia entre el Q ingreso y Q captado.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 116, 117, 118 y 119.

Tabla 78.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	3	0.92	0.28	0.64	30%
			2.17	0.94	1.23	43%
			3.04	1.43	1.60	47%
			4.19	2.15	2.04	51%

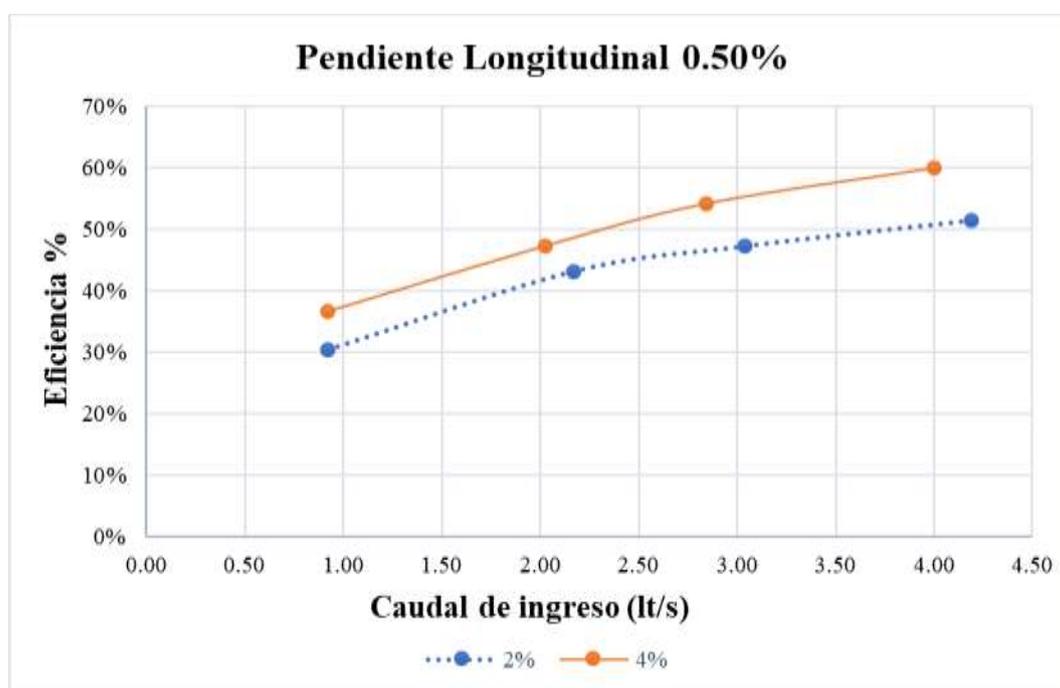
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 79.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	3	0.92	0.34	0.58	37%
			2.03	0.96	1.07	47%
			2.84	1.54	1.30	54%
			4.00	2.40	1.60	60%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 116. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES3



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 80.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	3	1.21	0.37	0.83	31%
			1.98	0.70	1.28	35%
			3.04	1.36	1.67	45%
			3.81	2.02	1.78	53%

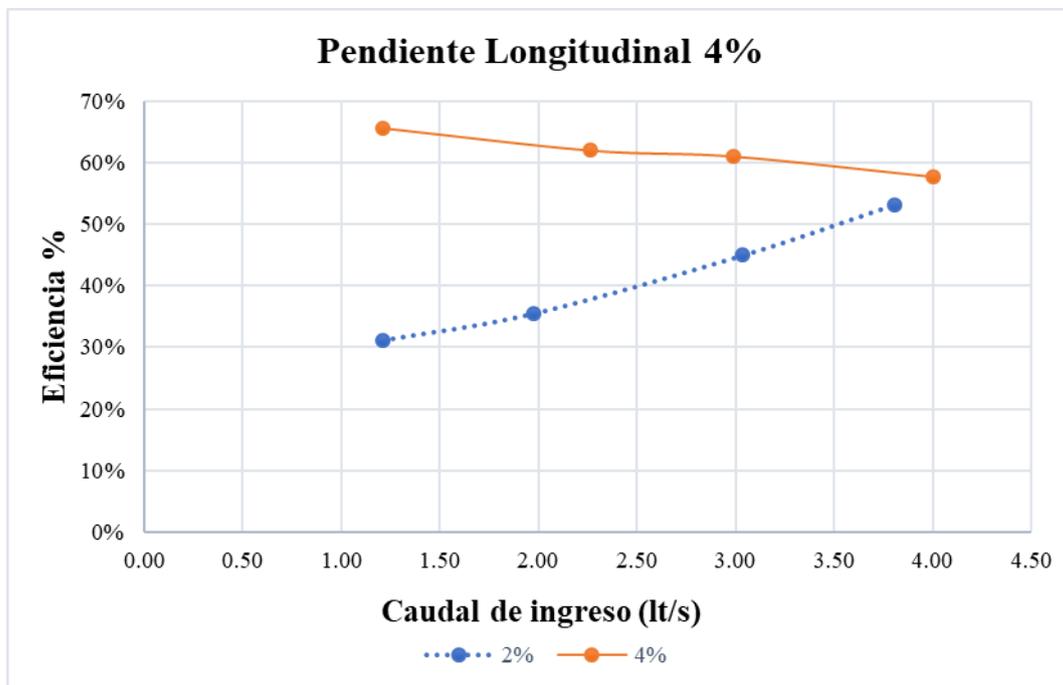
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 81.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	3	1.21	0.79	0.41	66%
			2.27	1.41	0.86	62%
			2.99	1.82	1.16	61%
			4.00	2.31	1.69	58%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 117.- Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES3



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 82.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	3	0.97	0.63	0.34	65%
			1.98	0.92	1.05	47%
			2.75	1.07	1.68	39%
			4.10	1.14	2.95	28%

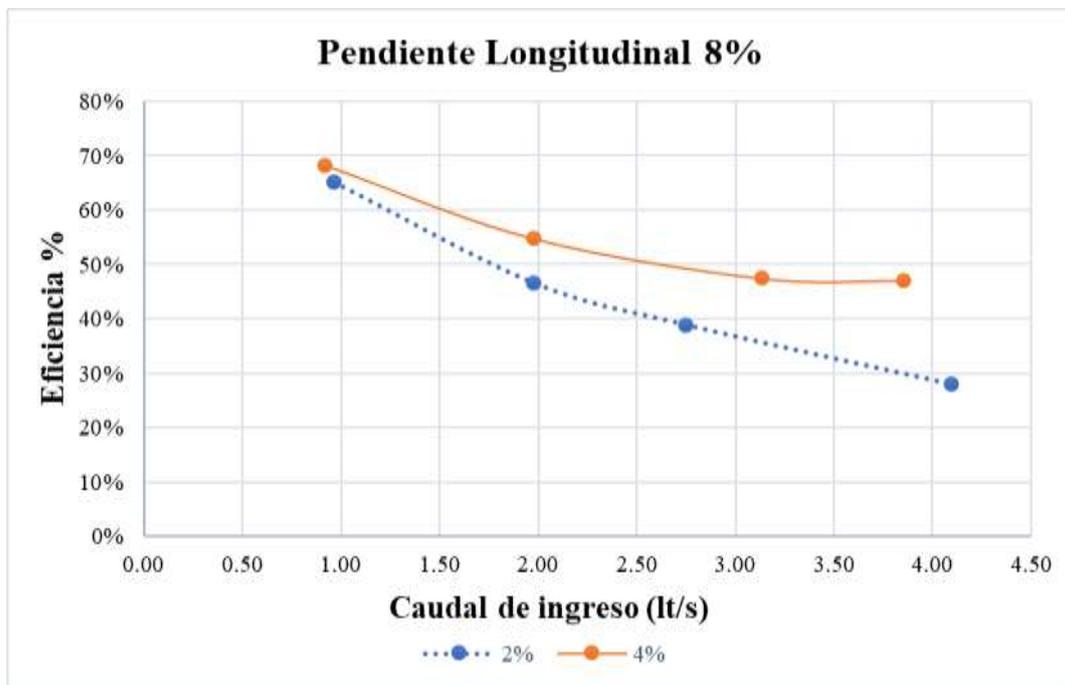
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 83.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	3	0.92	0.63	0.29	68%
			1.98	1.08	0.89	55%
			3.13	1.49	1.65	47%
			3.85	1.81	2.04	47%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 118. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES3



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 84.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	3	0.92	0.58	0.34	63%
			1.98	0.80	1.18	41%
			3.04	0.82	2.21	27%
			3.85	0.95	2.91	25%

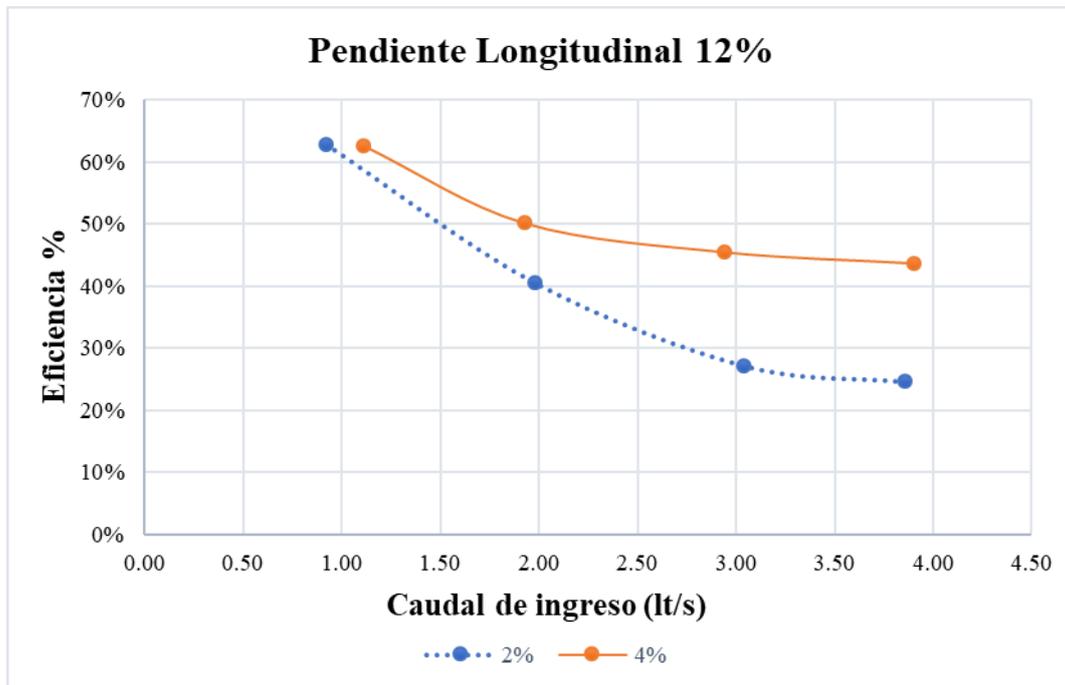
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 85.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES3

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	3	1.11	0.70	0.42	63%
			1.93	0.97	0.96	50%
			2.94	1.34	1.60	46%
			3.90	1.71	2.20	44%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 119. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - 4% - ES3



Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 116, 117, 118 y 119, se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios dentro de las pendientes longitudinales del 12% y del 8%. En el caso de pendiente longitudinal 4% y pendiente transversal del 4% se mantiene el mismo patrón de comportamiento, pero al variar la pendiente transversal a 2%, la eficiencia se incrementa conforme el caudal de ingreso aumenta. Y para el escenario del 0.5% de pendiente longitudinal al subir el nivel del caudal de ingreso la eficiencia también tiende a aumentar.

ESCENARIO 4

A continuación, podemos observar los valores de eficiencia de captación hidráulica para las combinaciones de las pendientes y caudales citados en las tablas 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92 y 93. En las tablas se presentan los datos de caudal de ingreso “Qi”, caudal de captación “Qc”, y el caudal sobrante “Qv” que no es receptado por los sumideros.

Se muestra a continuación los valores de eficiencia de captación hidráulica con relación a los valores numéricos del caudal de ingreso representados en las figuras 120, 121, 122 y 123.

Tabla 86.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 2% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	2%	4	0.92	0.28	0.63	31%
			2.17	1.01	1.16	47%
			3.04	1.53	1.51	50%
			4.19	2.18	2.02	52%

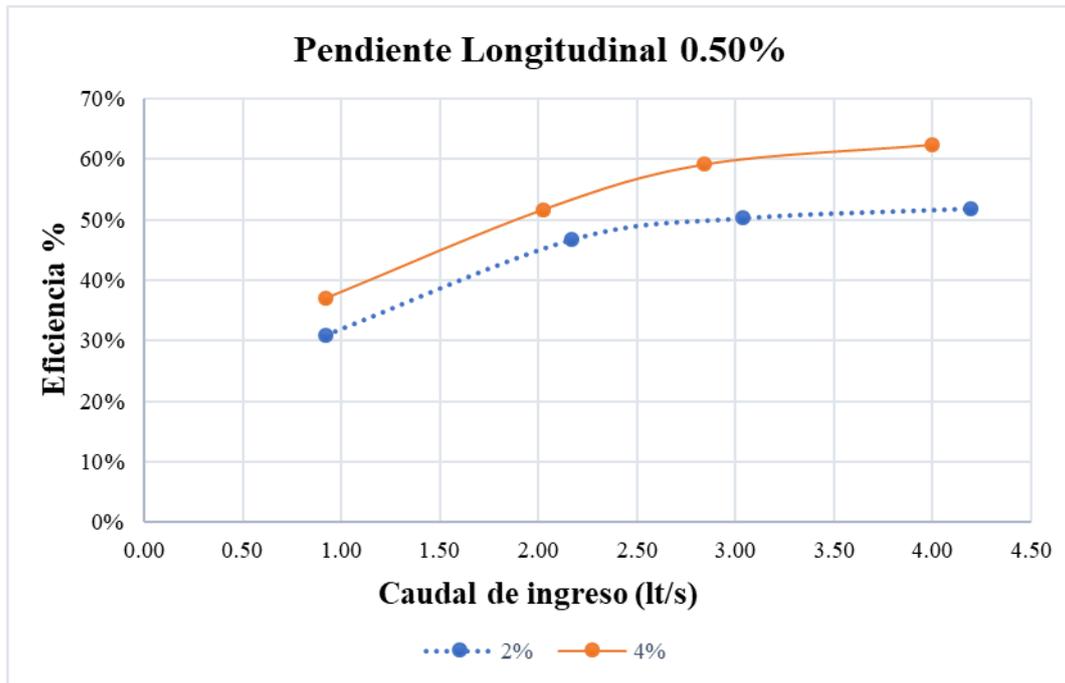
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 87.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 0.5% - 4% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
0.5%	4%	4	0.92	0.34	0.58	37%
			2.03	1.05	0.98	52%
			2.84	1.68	1.16	59%
			4.00	2.50	1.50	62%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 120. Eficiencia vs Caudal con PL 0.5% - PT 2% - 4% - ES4



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 88.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 2% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	2%	4	1.21	0.38	0.83	32%
			1.98	0.70	1.28	35%
			3.04	1.36	1.67	45%
			3.81	2.06	1.75	54%

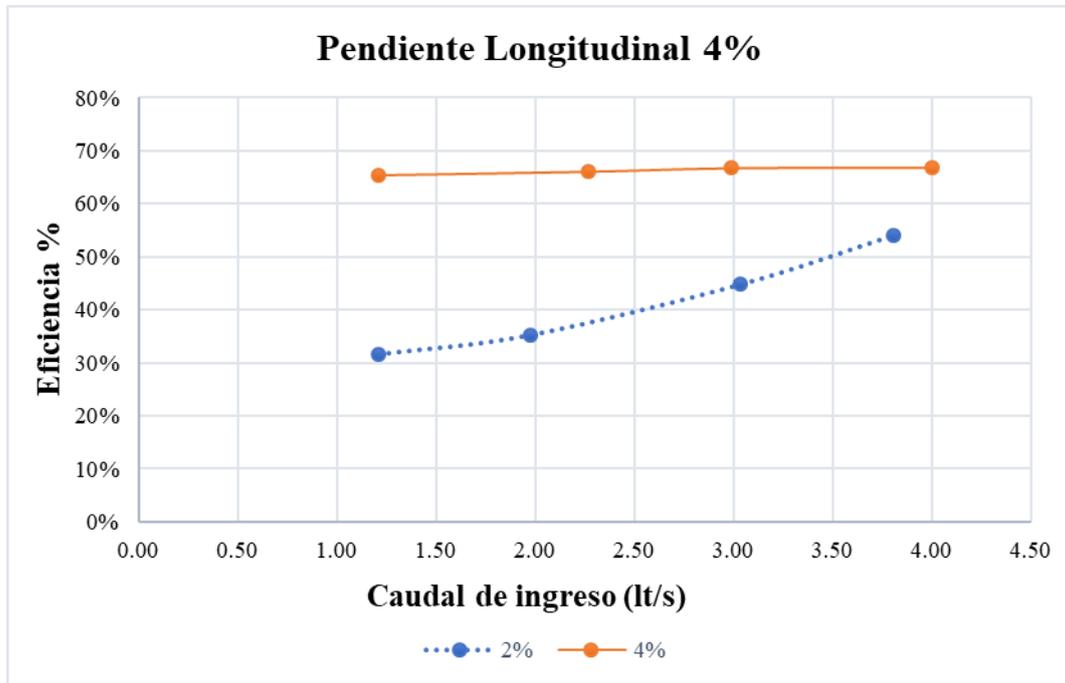
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 89.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 4% - 4% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
4%	4%	4	1.21	0.79	0.42	65%
			2.27	1.50	0.77	66%
			2.99	1.99	0.99	67%
			4.00	2.67	1.32	67%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 121. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 2% - 4% - ES4



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 90.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 2% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	2%	4	0.97	0.65	0.32	67%
			1.98	0.97	1.00	49%
			2.75	1.12	1.63	41%
			4.10	1.23	2.87	30%

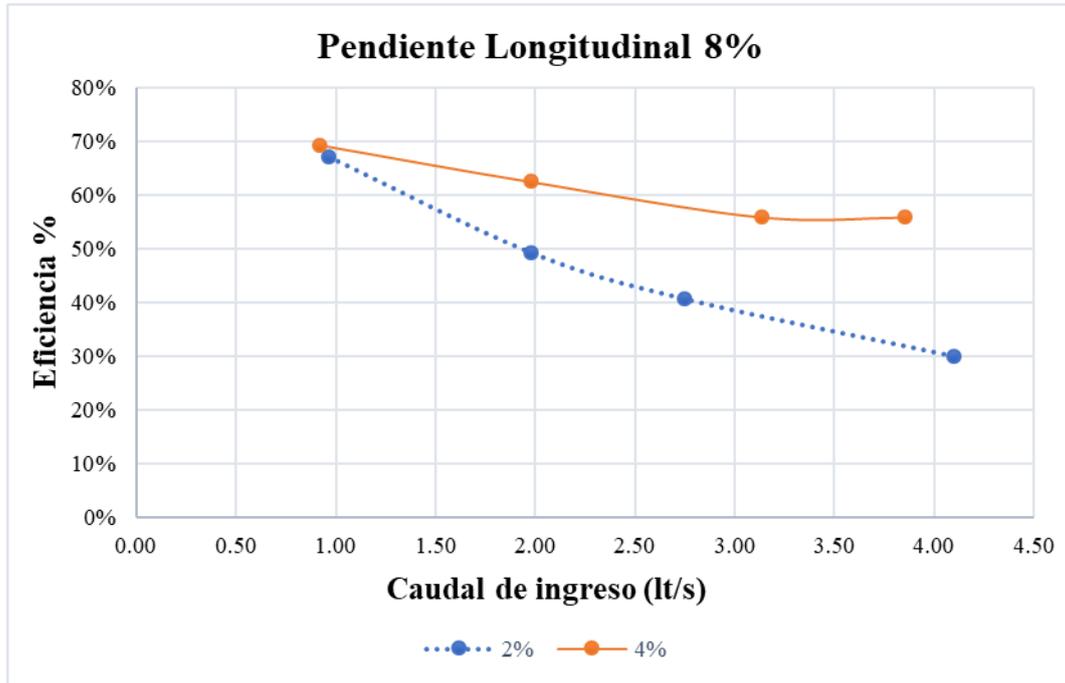
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 91.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 8% - 4% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
8%	4%	4	0.92	0.64	0.28	69%
			1.98	1.23	0.74	62%
			3.13	1.75	1.38	56%
			3.85	2.15	1.70	56%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 121. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - 4% - ES4



Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 92.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 2% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	2%	4	0.92	0.69	0.23	75%
			1.98	1.01	0.97	51%
			3.04	1.23	1.81	41%
			3.85	1.38	2.48	36%

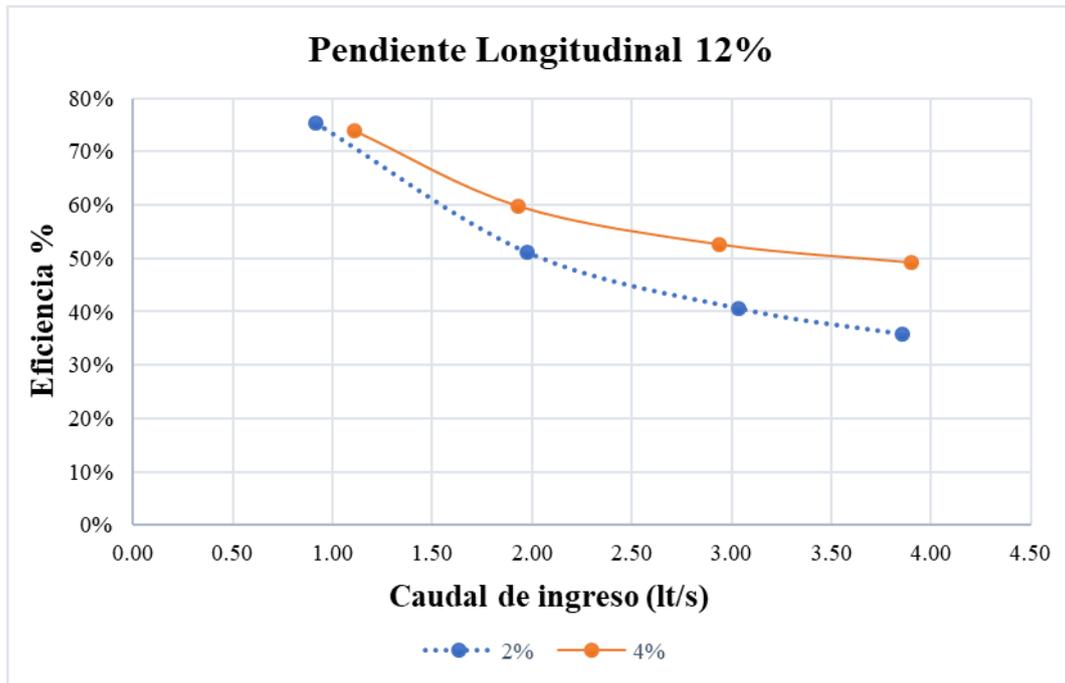
Realizado por: Mariela Robalino

Tabla 93.- Eficiencia vs Caudal con pendientes 12% - 4% - ES4

Pendientes		N° Sumideros	Qi	Qc	Qv	Eficiencia %
Longitudinal	Transversal					
12%	4%	4	1.11	0.82	0.29	74%
			1.93	1.15	0.78	60%
			2.94	1.54	1.40	53%
			3.90	1.92	1.99	49%

Realizado por: Mariela Robalino

Figura 123. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2%-4%-ES4



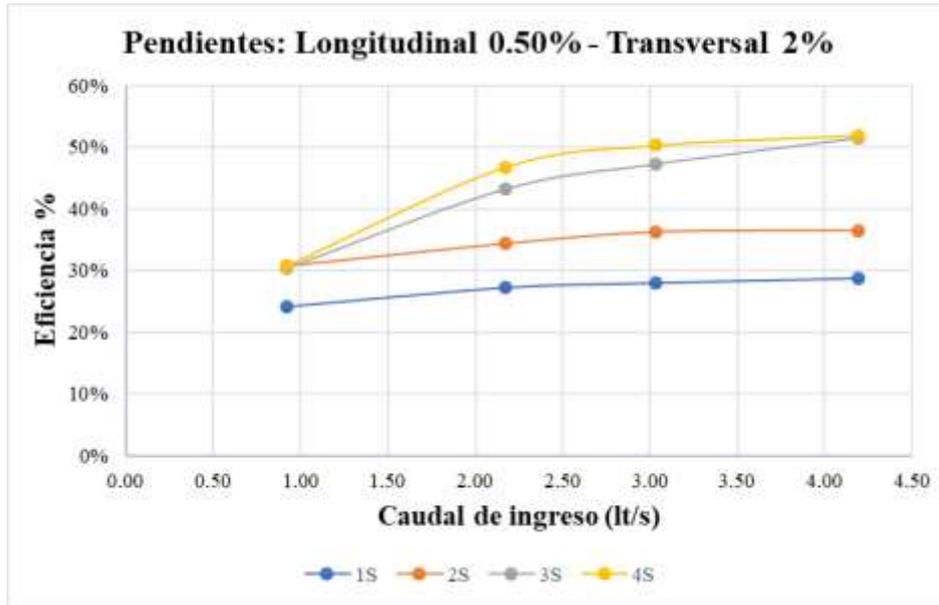
Realizado por: Mariela Robalino

En base a las figuras 120, 121, 122 y 123 se establece que mientras el caudal de ingreso aumenta la eficiencia disminuye en todos los escenarios dentro de las pendientes longitudinales del 12% y del 8%. En el caso de la pendiente longitudinal 0.5% y 4% con ambas pendientes transversales al subir el nivel del caudal de ingreso la eficiencia también tiende a aumentar.

3.1.1.3.4 N+1.75cm empleando todas las combinaciones de sumideros

En las figuras 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130 y 131 se presentan la eficiencia para diferentes escenarios de sumideros, utilizando una gráfica con eficiencia vs caudal variando el número de sumideros, el rango de caudales va desde 0.73lt/s hasta 4.10lt/s. La eficiencia se presenta en porcentaje.

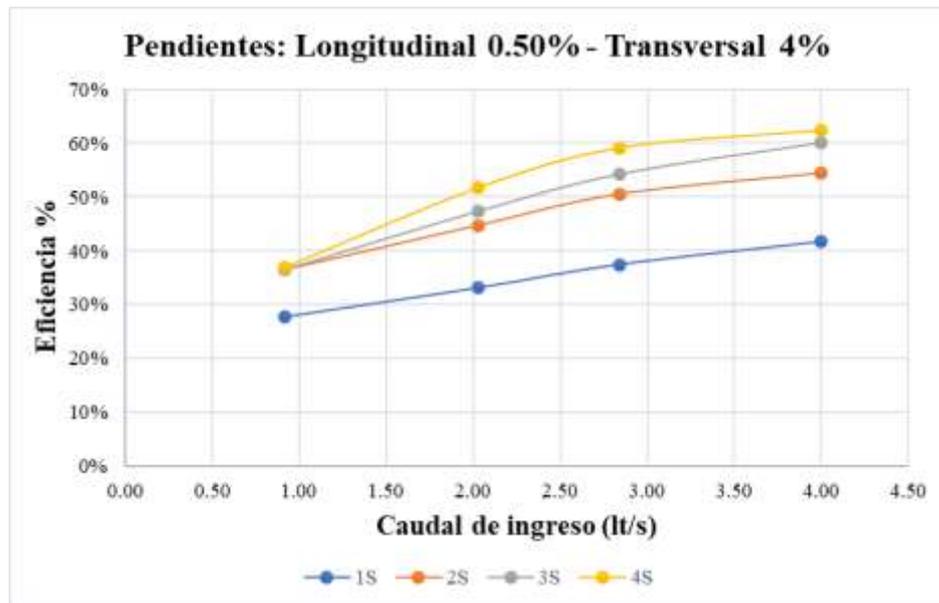
Figura 124 . Eficiencia vs Caudal con PL 0.50% - PT 2% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 124 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 29 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 52% siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 4.19 lt/s.

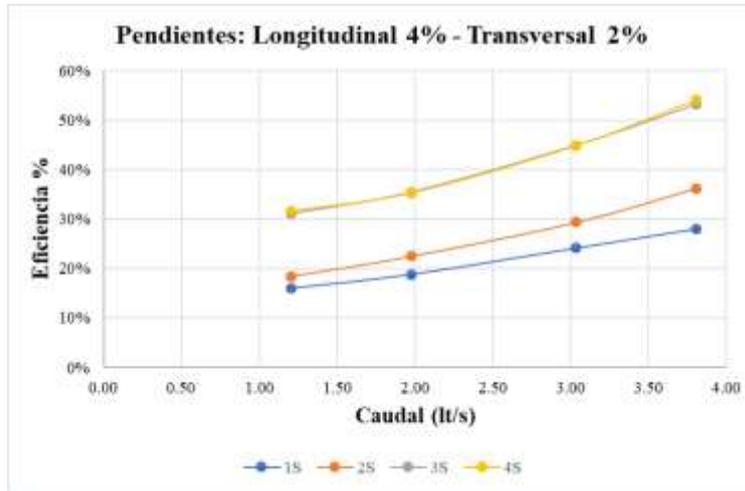
Figura 125. Eficiencia vs Caudal con PL 0.50% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 125 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 42 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 62 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 4.00 lt/s.

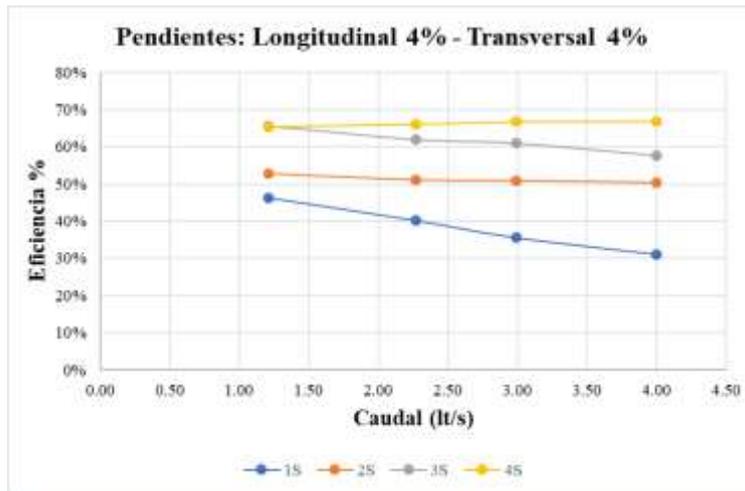
Figura 126. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 126 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 28 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 54 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 3.81 lt/s.

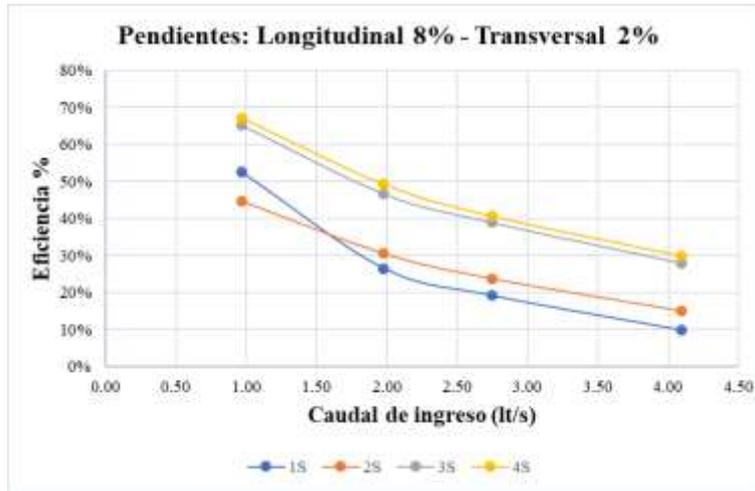
Figura 127. Eficiencia vs Caudal con PL 4% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 127 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 36 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 67% siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 2.99 lt/s.

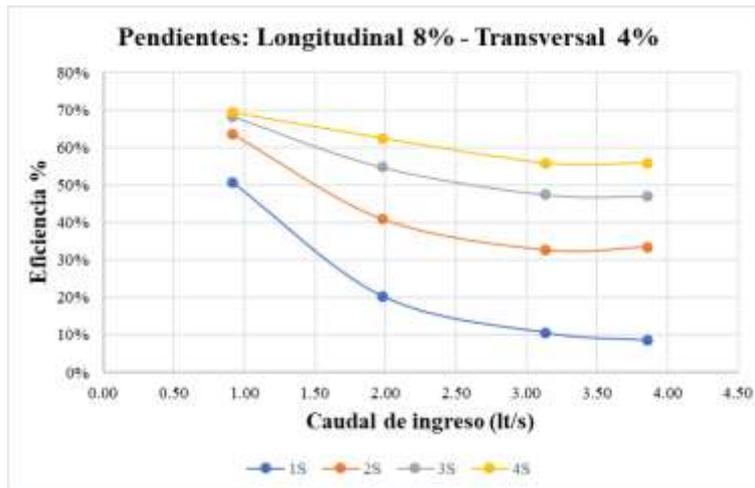
Figura 128. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 2% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 128 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 19% y con cuatro sumideros la eficiencia es de 41% siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 2.75 lt/s.

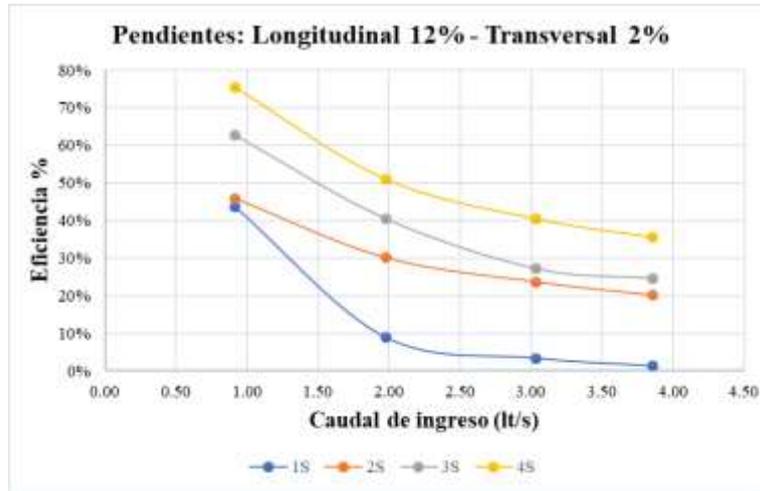
Figura 129. Eficiencia vs Caudal con PL 8% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 129 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 20 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 62 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.98 lt/s.

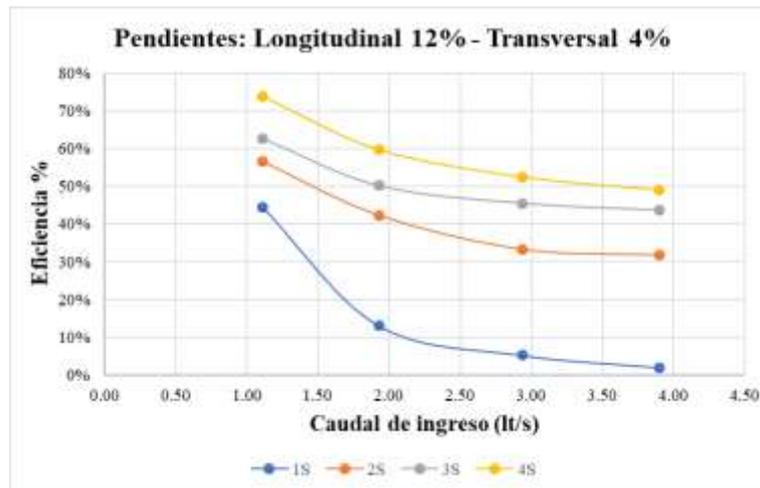
Figura 130. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 2% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 130 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 44 % y con cuatro sumideros la eficiencia es de 75 % siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 0.92 lt/s.

Figura 131. Eficiencia vs Caudal con PL 12% - PT 4% - ETS



Realizado por: Mariela Robalino

En la figura 131 se visualiza que con un sumidero la eficiencia es de 44% y con cuatro sumideros la eficiencia es de 74% siendo el caudal de ingreso el mismo con un valor de 1.11 lt/s.

Se manifiesta que, con todas las combinaciones propuestas, la que presenta mayor eficiencia en relación al caudal está en el escenario 4, con una eficiencia de 75%, está se encuentra ubicada en la pendiente longitudinal de 12% y transversal de 2%.

3.1.1.3.5 Comparación entre el Nivel +0.00 y N +1.75cm

ESCENARIO 1.

Mayor eficiencia presenta el Nivel N+ 0.00, con una eficiencia máxima de 79% en la pendiente 0.5 % - 4% y la mínima de 15% en la pendiente 4% - 2%. El Nivel N +1.75cm es más eficiente únicamente usando 1 sumidero, este alcanza una eficiencia máxima de 53% con pendiente 8% - 2% y mínima de 1% en la combinación 4% - 4%.

ESCENARIO 2.

Mayor eficiencia presenta el Nivel N+ 0.00, con una eficiencia máxima de 84% en la pendiente 0.5 % - 4% y la mínima de 20% en la pendiente (8% - 2%) - (12% - 2%). El Nivel N +1.75cm es más eficiente únicamente usando 2 sumidero, ya que alcanza una

eficiencia máxima de 63% con pendiente 8% - 4% y mínima de 15% en pendiente 8% - 2%.

ESCENARIO 3.

Mayor eficiencia presenta el Nivel N+ 0.00, con una eficiencia máxima de 83% en la pendiente 0.5 % - 4% y la mínima de 28% en la pendiente 8% - 2%. El Nivel N +1.75cm es más eficiente únicamente usando 3 sumidero alcanzando una eficiencia máxima de 68% con pendiente 8% - 4% y mínima de 25% en pendiente 12 - 2%.

ESCENARIO 4.

Mayor eficiencia presenta el Nivel N+ 0.00, con una eficiencia máxima de 86% en la pendiente 0.5 % - (2% - 4%) y la mínima de 15% en la pendiente 4% - 2 %. El Nivel N +1.75 es más eficiente únicamente usando 4 sumidero alcanzando una eficiencia máxima de 75% con pendiente 12% - 2% y mínima de 31% en pendiente 0.5% - 2%.

3.1.1.4 Ajuste alfa, beta y R²

Para estimar los coeficientes de ajuste, es necesaria la recopilación de datos de los caudales de ingreso y de captación, por medio de ellos se determina la línea de tendencia de la ecuación potencial de forma $y = \beta * Q^{-\alpha}$ que es la que nos entrega los valores de los coeficientes de ajuste.

ESCENARIO EN NIVEL +0.00

A continuación, se presentan las tablas 94, 95, 96 y 97 con todas las combinaciones de pendientes tanto longitudinales como transversales y en ella los valores de los parámetros α , β y el valor de coeficiente de determinación R^2 para distintos escenarios.

ESCENARIO 1

Tabla 94.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - NS1

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$ 0.716	$\alpha =$ 0.231	$\alpha =$ 0.246	$\alpha =$ 0.445
	$\beta =$ -0.374	$\beta =$ -0.316	$\beta =$ -0.301	$\beta =$ -0.250
	$R^2 =$ 0.9852	$R^2 =$ 0.971	$R^2 =$ 0.953	$R^2 =$ 0.987
i = 4%	$\alpha =$ 0.733	$\alpha =$ 0.414	$\alpha =$ 0.411	$\alpha =$ 0.377
	$\beta =$ -0.297	$\beta =$ -0.506	$\beta =$ -0.436	$\beta =$ -0.552
	$R^2 =$ 0.965	$R^2 =$ 0.953	$R^2 =$ 0.966	$R^2 =$ 0.984

Realizado por: Mariela Robalino

ESCENARIO 2

Tabla 95.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - NS2

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$ 0.728	$\alpha =$ 0.309	$\alpha =$ 0.308	$\alpha =$ 0.422
	$\beta =$ -0.133	$\beta =$ -0.195	$\beta =$ -0.348	$\beta =$ -0.538
	$R^2 =$ 0.923	$R^2 =$ 0.945	$R^2 =$ 0.948	$R^2 =$ 0.998
i = 4%	$\alpha =$ 0.786	$\alpha =$ 0.496	$\alpha =$ 0.509	$\alpha =$ 0.587
	$\beta =$ -0.194	$\beta =$ -0.211	$\beta =$ -0.417	$\beta =$ -0.369
	$R^2 =$ 0.976	$R^2 =$ 0.936	$R^2 =$ 0.978	$R^2 =$ 0.973

Realizado por: Mariela Robalino

ESCENARIO 3

Tabla 96.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R² - NS3

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$ 0.705	$\alpha =$ 0.427	$\alpha =$ 0.3424	$\alpha =$ 0.449
	$\beta =$ 0.084	$\beta =$ -0.055	$\beta =$ -0.142	$\beta =$ -0.235
	$R^2 =$ 0.943	$R^2 =$ 0.958	$R^2 =$ 0.964	$R^2 =$ 0.934
i = 4%	$\alpha =$ 0.806	$\alpha =$ 0.584	$\alpha =$ 0.581	$\alpha =$ 0.690
	$\beta =$ -0.114	$\beta =$ -0.155	$\beta =$ -0.127	$\beta =$ -0.233
	$R^2 =$ 0.959	$R^2 =$ 0.94	$R^2 =$ 0.991	$R^2 =$ 0.96

Realizado por: Mariela Robalino

ESCENARIO 4

Tabla 97.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R² - NS4

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$.0712	$\alpha =$ 0.415	$\alpha =$ 0.350	$\alpha =$ 0.684
	$\beta =$ 0.136	$\beta =$ 0.128	$\beta =$ 0.069	$\beta =$ -0.166
	$R^2 =$ 0.988	$R^2 =$ 0.949	$R^2 =$ 0.968	$R^2 =$ 0.992
i = 4%	$\alpha =$ 0.840	$\alpha =$ 0.628	$\alpha =$ 0.603	$\alpha =$ 0.462
	$\beta =$ -0.069	$\beta =$ -0.064	$\beta =$ -0.073	$\beta =$ -0.243
	$R^2 =$ 0.990	$R^2 =$ 0.982	$R^2 =$ 0.962	$R^2 =$ 0.947

Realizado por: Mariela Robalino

ESCENARIO CON ELEVACIÓN

A continuación, se presentan las tablas 98, 99, 100 y 101 con todas las combinaciones de pendientes tanto longitudinales como transversales y en ella los valores de los parámetros α , β y el valor de coeficiente de determinación R² para distintos sumideros.

ESCENARIO 1

Tabla 98.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R² - ES1

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$ 0.246	$\alpha =$ 0.141	$\alpha =$ 0.539	$\alpha =$ 0.603
	$\beta =$ 0.114	$\beta =$ 0.491	$\beta =$ -1.134	$\beta =$ -2.403
	R ² = 0.983	R ² = 0.977	R ² = 0.978	R ² = 0.992
i = 4%	$\alpha =$ 0.281	$\alpha =$ 0.504	$\alpha =$ 0.461	$\alpha =$ 0.391
	$\beta =$ 0.273	$\beta =$ -0.326	$\beta =$ -1.257	$\beta =$ -2.396
	R ² = 0.987	R ² = 0.963	R ² = 0.998	R ² = 0.982

Realizado por: Mariela Robalino

ESCENARIO 2

Tabla 99.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R² - ES2

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$ 0.313	$\alpha =$ 0.160	$\alpha =$ 0.463	$\alpha =$ 0.439
	$\beta =$ 0.117	$\beta =$ 0.578	$\beta =$ -0.733	$\beta =$ -0.568
	R ² = 0.972	R ² = 0.973	R ² = 0.961	R ² = 0.999
i = 4%	$\alpha =$ 0.373	$\alpha =$ 0.530	$\alpha =$ 0.592	$\alpha =$ 0.586
	$\beta =$ 0.275	$\beta =$ -0.039	$\beta =$ -0.475	$\beta =$ 0.480
	R ² = 0.995	R ² = 0.971	R ² = 0.963	R ² = 0.980

Realizado por: Mariela Robalino

ESCENARIO 3

Tabla 100.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R² - ES3

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$ 0.319	$\alpha =$ 0.274	$\alpha =$ 0.662	$\alpha =$ 0.605
	$\beta =$ 0.349	$\beta =$ 0.463	$\beta =$ -0.573	$\beta =$ -0.675
	R ² = 0.988	R ² = 0.959	R ² = 0.978	R ² = 0.988
i = 4%	$\alpha =$ 0.376	$\alpha =$ 0.672	$\alpha =$ 0.663	$\alpha =$ 0.630
	$\beta =$ 0.340	$\beta =$ -0.101	$\beta =$ -0.272	$\beta =$ -0.288
	R ² = 0.998	R ² = 0.956	R ² = 0.987	R ² = 0.961

Realizado por: Mariela Robalino

ESCENARIO 4

Tabla 101.- Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R^2 - ES4

	j=0.5%	j=4%	j=8%	j=12%
i = 2%	$\alpha =$ 0.33	$\alpha =$ 0.277	$\alpha =$ 0.682	$\alpha =$ 0.723
	$\beta =$ 0.358	$\beta =$ -0.462	$\beta =$ -0.548	$\beta =$ -0.521
	$R^2 =$ 0.939	$R^2 =$ 0.937	$R^2 =$ 0.978	$R^2 =$ 0.999
i = 4%	$\alpha =$ 0.389	$\alpha =$ 0.651	$\alpha =$ 0.686	$\alpha =$ 0.755
	$\beta =$ 0.369	$\beta =$ 0.021	$\beta =$ -0.161	$\beta =$ -0.327
	$R^2 =$ 0.979	$R^2 =$ 0.964	$R^2 =$ 0.974	$R^2 =$ 0.991

Realizado por: Mariela Robalino

3.1.1.5 Programación para el cálculo del caudal y su eficiencia con sumideros T45 con barrotos longitudinales

Figura 132. Programa para determinar la eficiencia y el caudal de captación de los sumideros T45 con barrotos longitudinales



Realizado por: Mariela Robalino

Para la programación se toman en cuenta los coeficientes obtenidos en la ecuación de tendencia potencial que se manifiestan en las tablas 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100 y 101.

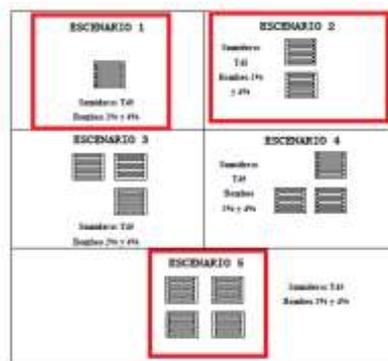
En el programa solo se inserta el caudal de entrada y mediante la extrapolación de datos se obtiene la eficiencia y el caudal de captación para cada escenario. El programa contiene dos partes. La primera es el ingreso de datos en el cual se selecciona la pendiente transversal (2% - 4%), pendiente longitudinal (0.5% - 4% - 8% - 12%) y el caudal de ingreso (0.8 y 4.1 lt/s).

En la segunda parte se entrega resultados por escenarios, obteniendo el caudal captado en lt/s y la eficiencia %. Se marcará con amarillo los resultados con mayor desempeño de los dos sistemas, como se muestra en la figura 132.

3.1.1.6 Responder Hipótesis

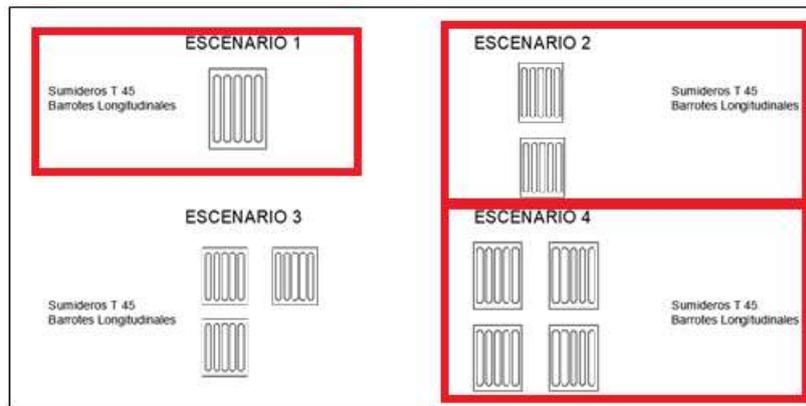
Con el modelo anterior y el actual se realiza una comparación entre los escenarios similares, en este caso coinciden el número de escenarios y la ubicación. Los escenarios que son similares se encuentran enmarcados por un recuadro rojo, esto se representa en la figura 133 y 134.

Figura 133. Modelo anterior



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

Figura 134. Modelo modificado



Realizado por: Mariela Robalino

DONDE:

$p= 0.5$ 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

Las tablas 102, 103 y 104 mostrarán la comparación entre el modelo anterior y el modificado, además para determinar la hipótesis se consideran los valores dentro del rango establecido en las figuras 135, 136 y 137.

UTILIZANDO:

1 SUMIDERO

Tabla 102.- 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	0.24	30%	0.5%	2%
	1.88	60.16	3.27	0.10	0.46	78%		
	3.23	103.36	2.23	0.07	0.34	80%		
	4.1	131.2	1.88	0.06	0.36	84%		
	0.92	29.44	5.77	0.18	0.14	-33%	4%	
	1.88	60.16	3.74	0.12	0.19	39%		
	3.23	103.36	2.69	0.08	0.25	67%		
	4.10	131.20	2.32	0.07	0.28	74%		
	0.92	29.44	3.27	0.10	0.59	83%	8%	
	1.88	60.16	2.15	0.07	0.26	74%		
	3.23	103.36	1.57	0.05	0.14	66%		
	4.1	131.2	1.36	0.04	0.11	61%		
	0.92	29.44	2.38	0.07	0.74	90%	12%	
	1.88	60.16	1.67	0.05	0.13	61%		
	3.23	103.36	1.27	0.04	0.04	-10%		
	4.10	131.20	1.13	0.04	0.02	-74%		
	0.92	29.44	7.28	0.23	0.27	17%	0.5%	4%
	1.88	60.16	4.71	0.15	0.33	56%		
	3.23	103.36	3.38	0.11	0.39	73%		
	4.1	131.2	2.92	0.09	0.41	78%		
	0.92	29.44	7.07	0.22	0.52	57%	4%	
	1.88	60.16	5.36	0.17	0.41	59%		
	3.23	103.36	4.35	0.14	0.34	60%		
	4.10	131.20	3.96	0.12	0.32	61%		
	0.92	29.44	6.04	0.19	0.51	63%	8%	
	1.88	60.16	4.49	0.14	0.21	33%		
	3.23	103.36	3.58	0.11	0.11	-6%		
	4.1	131.2	3.25	0.10	0.08	-30%		
	0.92	29.44	0.57	0.02	0.48	96%	12%	
	1.88	60.16	0.29	0.01	0.09	89%		
	3.23	103.36	0.18	0.01	0.02	77%		
	4.10	131.20	0.14	0.00	0.01	67%		

Realizado por: Mariela Robalino

Empleando signo positivo

n= 32

p= 1/2

q= 1/2

x= 27 (+)

$$\mu = n * p$$

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

$$\mu = 16$$

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

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

$$\sigma = 2.84$$

Si

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

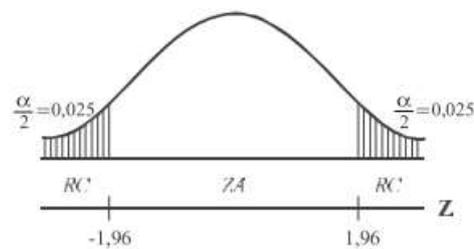
$x < \mu$ a x se le suma 0.5

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

$$Z = \frac{26.5 - 16}{2.84}$$

$$Z = 3.70$$

Figura 134. Curva de distribución normal con un sumidero



Realizado por: Mariela Robalino

Se rechaza la hipótesis nula, ya que 3.70 se ubica fuera de la zona aceptada, por lo tanto, la diferencia entre ambos modelos es significativa, al nivel del 5%.

2 SUMIDEROS

Tabla 103.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando dos sumideros

# 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	0.31	-186%	0.5%	2%	
	1.88	60.16	23.68	0.74	0.34	-120%			
	3.23	103.36	20.65	0.65	0.36	-80%			
	4.1	131.2	19.44	0.61	0.37	-65%			
	0.92	29.44	24.24	0.76	0.15	-397%	4%		
	1.88	60.16	19.73	0.62	0.23	-168%			
	3.23	103.36	16.89	0.53	0.32	-67%			
	4.10	131.20	15.77	0.49	0.36	-36%			
	0.92	29.44	22.58	0.71	0.49	-43%	8%		
	1.88	60.16	18.24	0.57	0.29	-96%			
	3.23	103.36	15.51	0.48	0.20	-147%			
	4.1	131.2	14.45	0.45	0.16	-174%			
	0.92	29.44	19.97	0.62	0.46	-36%	12%		
	1.88	60.16	16.12	0.50	0.31	-64%			
	3.23	103.36	13.70	0.43	0.23	-90%			
	4.10	131.20	12.76	0.40	0.20	-102%			
	0.92	29.44	48.88	1.53	0.36	-319%	0.5%		4%
	1.88	60.16	45.28	1.41	0.44	-219%			
	3.23	103.36	42.73	1.34	0.51	-159%			
	4.1	131.2	41.65	1.30	0.55	-137%			
0.92	29.44	37.67	1.18	0.53	-121%	4%			
1.88	60.16	33.48	1.05	0.52	-102%				
3.23	103.36	30.62	0.96	0.51	-89%				
4.10	131.20	29.44	0.92	0.50	-83%				
0.92	29.44	30.37	0.95	0.62	-54%	8%			
1.88	60.16	26.22	0.82	0.44	-87%				
3.23	103.36	23.45	0.73	0.34	-116%				
4.1	131.2	22.33	0.70	0.30	-130%				
0.92	29.44	24.68	0.77	0.56	-37%	12%			
1.88	60.16	20.48	0.64	0.79	19%				
3.23	103.36	17.78	0.56	1.03	46%				
4.10	131.20	16.71	0.52	1.15	55%				

Realizado por: Mariela Robalino

Empleando signo negativo

n= 32

p= 1/2

q= 1/2

x= 29 (-)

$$\mu = n \cdot p$$

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

$$\mu = 16$$

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

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

$$\sigma = 2.84$$

Si

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

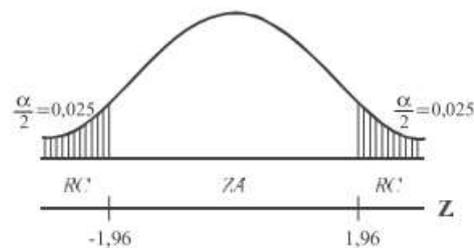
$x < \mu$ a x se le suma 0.5

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

$$Z = \frac{28.5 - 16}{2.84}$$

$$Z = 4.40$$

Figura 135. Curva de distribución normal con dos sumideros



Realizado por: Mariela Robalino

Se rechaza la hipótesis nula, ya que 4.40 se ubica fuera de la zona aceptada, por lo tanto, la diferencia entre ambos modelos es significativa, al nivel del 5%.

4 SUMIDEROS

Tabla 104.- Comparación entre el modelo real con el modificado utilizando cuatro sumideros

# 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	0.32	-471%	0.5%	2%	
	1.88	60.16	54.22	1.69	0.41	-310%			
	3.23	103.36	51.17	1.60	0.50	-218%			
	4.1	131.2	49.88	1.56	0.55	-185%			
	0.92	29.44	47.32	1.48	0.29	-414%	4%		
	1.88	60.16	42.85	1.34	0.21	-547%			
	3.23	103.36	39.74	1.24	0.16	-671%			
	4.10	131.20	38.45	1.20	0.14	-732%			
	0.92	29.44	51.81	1.62	0.71	-127%	8%		
	1.88	60.16	48.76	1.52	0.48	-216%			
	3.23	103.36	46.57	1.46	0.36	-306%			
	4.1	131.2	45.63	1.43	0.31	-353%			
	0.92	29.44	42.57	1.33	0.76	-76%	12%		
	1.88	60.16	39.81	1.24	0.52	-139%			
	3.23	103.36	37.83	1.18	0.39	-201%			
	4.10	131.20	37.00	1.16	0.35	-234%			
	0.92	29.44	73.06	2.28	0.38	-505%	0.5%		4%
	1.88	60.16	70.21	2.19	0.49	-347%			
	3.23	103.36	68.13	2.13	0.60	-255%			
	4.1	131.2	67.23	2.10	0.65	-221%			
0.92	29.44	48.24	1.51	0.65	-132%	4%			
1.88	60.16	43.90	1.37	0.66	-108%				
3.23	103.36	40.87	1.28	0.67	-91%				
4.10	131.20	39.60	1.24	0.67	-85%				
0.92	29.44	67.06	2.10	0.70	-201%	8%			
1.88	60.16	64.33	2.01	0.62	-224%				
3.23	103.36	62.35	1.95	0.57	-243%				
4.1	131.2	61.49	1.92	0.55	-252%				
0.92	29.44	61.69	1.93	0.78	-148%	12%			
1.88	60.16	58.85	1.84	0.61	-199%				
3.23	103.36	56.78	1.77	0.51	-245%				
4.10	131.20	55.90	1.75	0.48	-267%				

Realizado por: Mariela Robalino

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

$$x > \mu \text{ a } x \text{ se le resta } 0.5$$

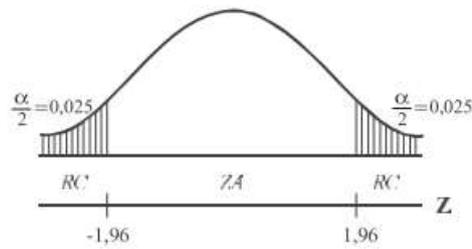
$$x < \mu \text{ a } x \text{ se le suma } 0.5$$

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

$$Z = \frac{31.5 - 16}{2.84}$$

$$Z = 5.48$$

Figura 136. Curva de distribución normal con tres sumideros



Realizado por: Mariela Robalino

Se rechaza la hipótesis nula, ya que 5.48 se ubica fuera de la zona aceptada, por lo tanto, la diferencia entre ambos modelos es significativa, al nivel del 5%.

Por lo tanto:

En base a los datos obtenidos se determinó que el modelo modificado supera al modelo anterior únicamente al utilizar un sumidero, debido que el % de la eficiencia $(Q_{\text{mod}} - Q_{\text{real}}) / Q_{\text{mod}}$ en la mayoría de datos presenta resultados positivos.

Para el caso de 2 y 4 sumideros el modelo anterior supera al modelo modificado, ya que la eficiencia $(Q_{\text{mod}} - Q_{\text{real}}) / Q_{\text{mod}}$ en la mayoría de datos es negativa, presentando eficiencias superiores.

Para los tres casos de análisis se rechaza la hipótesis nula.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Conclusiones

- Se determinó la geometría del modelo hidráulico cumpliendo con las condiciones de similitud geométrica, cinemática y dinámica, utilizando sumideros T45 con barrotes longitudinales, con una sección 13*9 cm y un espesor de 6 mm, presentando un área de captación de 59.55cm². Adicionalmente se consideraron varias combinaciones respecto a las pendientes longitudinales y transversales de la vía, para la captación de agua lluvia en zonas urbanas.
- En virtud de los datos obtenidos se determinó dos modelos de análisis con varios escenarios de captación, ubicando a los sumideros en un Nivel +1.75 cm y un Nivel +0.00 respecto a la vía.
 - Para el N+ 0.00 la combinación que presenta mayor eficiencia está en la pendiente longitudinal y transversal de 0.5% y (2%-4%) respectivamente alcanzando una eficiencia de 86% utilizando 4 escenarios y el caudal de captación es 3.23 y 2.87 lt/s correspondientemente.
 - Para el N+ 0.00 la combinación que presenta menor eficiencia está en la pendiente longitudinal y transversal de 4% y 2% respectivamente alcanzando una eficiencia de 15% utilizando 1 escenarios y el caudal de captación es 0.57 lt/s.
 - Para el N+ 1.75cm la combinación que presenta mayor eficiencia está en la pendiente longitudinal y transversal de 12% y 2% respectivamente alcanzando una eficiencia de 75% utilizando 4 escenarios y el caudal de captación es 0.69 lt/s.
 - Para el N+ 1.75cm la combinación que presenta menor eficiencia está en la pendiente longitudinal y transversal de 12% y 2% respectivamente

alcanzando una eficiencia de 1% utilizando 1 escenarios y el caudal de captación es 0.02 lt/s.

- En base a los resultados de las combinaciones del caudal y pendientes propuestas, con elevación y a nivel de la vía se sugiere utilizar la geometría de sumideros con barrotes longitudinales implementándolos en la normativa del país para mejorar de esta manera la eficiencia y captación de las aguas lluvias en zonas urbanas. Estableciendo que los sumideros N+ 0.00 con barrotes longitudinales alcanzan eficiencias elevadas ante la presencia de caudales altos; mientras que los sumideros N+ 1.75cm alcanzan mayor eficiencia con caudales bajos.
- Se creó un programa de aplicación para el diseño de sumideros T-45 modificado con barrotes longitudinales en Excel mediante una hoja de cálculo, en donde al ingresar el caudal de la vía y la combinación de pendientes se obtiene la eficiencia y caudal de captación para cada escenario de estudio, seleccionando el que presenta mayor desempeño en cada caso, esto será entregado en un CD.

4.2 Recomendaciones

- Es recomendable trabajar con varias combinaciones de caudal, con valores bajos y altos, para observar el comportamiento que presenta el fluido al momento de la captación.
- Para complementar el trabajo experimental propuesto se recomienda implementar una nueva geometría con una rejilla longitudinal y circular combinadas.
- Se recomienda realizar una investigación con sumideros T45 ubicado en depresión a un nivel N -1.75 cm respecto al nivel de la vía.
- Para efectuar una comparación entre la eficiencia de los sumideros, se recomienda realizar estudios con nuevos diseños de sumideros, como es el caso del tipo ventana.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

- [1] M. Castro, X. Hidalgo y R. Poveda, «Sobre la modelación hidráulica en obras de saneamiento básico,» Departamento de ciencias del agua- Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
- [2] C. Conesa y R. García, «Criterios hidromorfológicos para la mejora de la eficiencia de las obras de drenaje pequeñas en pasos de carreteras sobre rambas,» *Papeles de Geografía*, vol. 52, pp. 85-94, 2010.
- [3] E. Kaliski y R. Cortez, «Estudio experimental del funcionamiento de sumideros de aguas lluvias. Caso: incorporación de zonas de influencia,» *Congreso Latinoamericano de Hidráulica-Cartagena de Indias-Colombia*, vol. XXIII, 2008.
- [4] F. Pazmiño, R. Hechevarría, F. Morales y J. Mantilla, «Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales,» *SciELO*, vol. XXXVIII, n° 3, pp. 17-29, 2017.
- [5] M. Bengaray, *Drenaje vial para ingenieros viales*, Caracas: Publicaciones del departamento de ingeniería vial Caracas, 2001.
- [6] R. Céleri y J. Feyen, «The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives,» *Mountain Research and Development*, vol. 29, n° 4, pp. 350-355, 2009.
- [7] L. Sánchez, «Inundaciones pluviales en una cuenca urbana aplicando el método de ponderación mixta,» *SciELO*, vol. XXXIII, n° 2, pp. 90-105, 2012.
- [8] M. Gómez, F. Macchione y B. Russo, «Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas,» *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXIV, n° 3, pp. 51-62, 2009.
- [9] V. Guayambuco y L. Collazos, «Comparación de diseño de sumideros según normas establecidas por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá,» mayo 2010. [En línea]. Available: V. Guayambuco Quintero y L. Collazos Díaz, «Comparación de diseños de sumideros según normas establecidas por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá,» 025 2010. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654>. [Último acceso: 22 10 2019].
- [10] J. Jeong y R. Charbeneau, «Diffusion wave model for simulating storm-water runoff on highway pavement surfaces at superelevation transition,» *Journal of hydraulic engineering*, vol. 136, pp. 770-778, 2010.

- [11] Universidad de los Andes y PAVCO, «Sumideros en alcantarillados de aguas lluvias- Diseños típicos utilizados en Colombia y mecanismos de retención de sólidos,» Centro de investigaciones de acueductos y alcantarillados, 2 2009. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/49107325/06-Sumideros-en-Alcantarillados-de-Aguas-Lluvias>. [Último acceso: 22 10 2019].
- [12] R. Cortez y E. Kaliski, «Estudio experimental del funcionamiento de sumideros de aguas lluvias- caso: sumidero ubicado fuera de la calle (vereda),» *XXII Congreso latinoamericano de hidráulica ciudad Guayana, Venezuela*, 2006.
- [13] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Procedimientos para proyectos viales*, Quito: Nevi-12, 2013.
- [14] Instituto ecuatoriano de normalización, *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2499*, Quito-Ecuador, 2009.
- [15] Instituto ecuatoriano de normalización, *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2496*, Quito-Ecuador, 2009.
- [16] *Norma de diseño geométrico de carreteras*, 2003.
- [17] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*, Perú.
- [18] J. Gribbin, *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial*, México: CENGAGE-Learning.
- [19] G. Benjamín y A. Rodríguez, *Apuntes de hidrología superficial nuevo plan-UMSNH-Hidrología superficial*, México, 2009.
- [20] SAGARPA, «Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación-Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas,» 2013. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/38641532/HIDROLOG%C3%8DA_APLICADA_A_LAS_PEQUE%C3%91AS_OBRAS_HIDR%C3%81ULICAS_SECRETAR%C3%8DA_DE_AGRICULTURA_GANADER%C3%8DA_DESARROLLO_RURAL_PESCA_Y_ALIMENTACI%C3%93N_Subsecretar%C3%ADa_de_Desarrollo_Rural_Direcci%C3%B3n_General_de. [Último acceso: 23 10 2019].
- [21] Norma IEOS, «SCRIBD,» 24 2 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/82648163/Normas-IEOS>. [Último acceso: 23 10 2019].
- [22] 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.
- [23] D. Maidment y L. Mays, *Hidrología Aplicada*, Bogota: VEN TE CHOW, 1994.

- [24] P. Rodríguez, *Hidráulica II-Hidráulica de canales*, Oaxaca, 2008.
- [25] Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica, «Flujo uniforme de la rugosidad de canales,» [En línea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/12697/60/3353962.2005.Parte%2011.pdf>. [Último acceso: 29 10 2019].
- [26] J. Saiz, A. Saiz y M. Olvarrieta, *Canales abiertos- Material didáctico para el curso de Hidráulica I*, Sonora-México: Programa de Ingeniería Civil, 2012.
- [27] J. Anta, *Análisis dimensional y semejanza. Desarrollo de modelos a escala*, España: Técnicas experimentales en Hidráulica, 2008.
- [28] M. Hidalgo, *Introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas*, Quito: Escuela Politécnica Nacional-Departamento de Hidráulica, 2011.
- [29] L. Dominguez y C. Facundo, «Caracterización experimental del flujo de aproximación a una obra hidráulica en un modelo físico 2D(H:V),» 10 2016. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11086/4315>. [Último acceso: 29 10 2019].
- [30] R. Soringall, *Hidrología - primera parte - profesor investigador*, Mexico: UNAM.
- [31] PLINT-ENGINEERS, *Flow Channel-Ware Generator*, PLINT Y PARTNERS LTR.
- [32] AXIAMATIC, *Detector de Velocidad de Líquidos por Sensor Térmico*, Instrumentación y Control.
- [33] 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.
- [34] DESIN-INSTRUMENTS, *Manual de usuario trnsmisor de caudal DMM-4000/LFE-....*

ANEXOS

Fotografía



Anexo 1.- Construcción del soporte del acrílico (estructura metálica)



Anexo 2.- Tanque disipador de energía (estructura metálica)



Anexo 3.- Estructura unificadora de flujo



Anexo 4.- Barrotes longitudinales – impresos en 3D



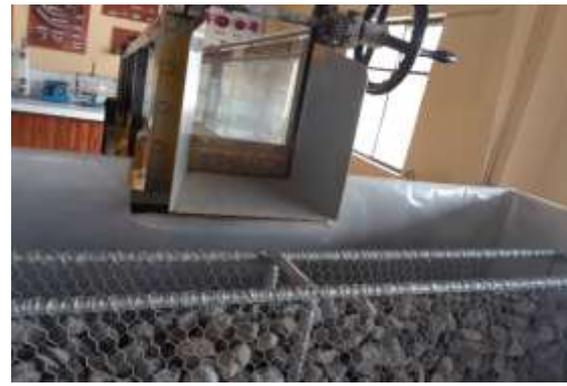
Anexo 5.- Construcción de la plataforma niveladora (estructura metálica)



Anexo 6.- Modelo hidráulico ubicado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica



Anexo 7.- Unión de la base de acrílico con la estructura



Anexo 8.- Canal hidráulico – tanque dissipador



Anexo 9.- Construcción del tanque de captación



Anexo 10.- Modelo hidráulico ubicado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica



Anexo 11.- Modelo 3D – Barrotes longitudinales



Anexo 12.- Pendiente – 0.5% - 2%



Anexo 13.- Pendiente – 0.5% - 4%



Anexo 14.- Pendiente – 4% - 2%



Anexo 15.- Pendiente – 4% - 4%



Anexo 16.- Pendiente – 8% - 2%



Anexo 17.- Pendiente – 8% - 4%



Anexo 18.- Pendiente – 12% - 2%



Anexo 19.- Nivel 0.00 – con un sumideros



Anexo 20.- Nivel 0.00 – con dos sumideros



Anexo 21.- Nivel 0.00 – con tres sumideros



Anexo 22.- Nivel 0.00 – con cuatro sumideros



Anexo 23.- Nivel 1.75 – con un sumideros



Anexo 24.- Nivel 1.75 – con dos sumideros



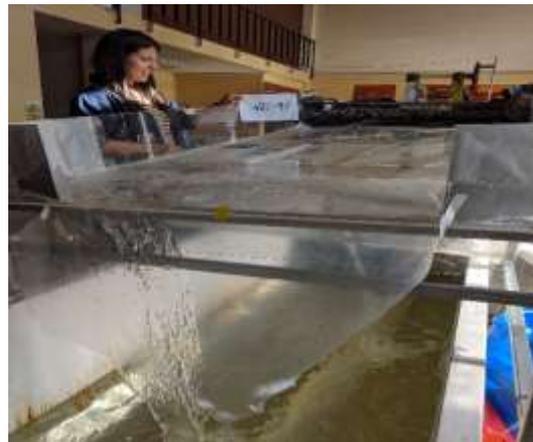
Anexo 25.- Nivel 1.75 – con tres sumideros



Anexo 26.- Nivel 1.75 – con cuatro sumideros



Anexo 27.-Toma de datos



Anexo 28.-Toma de datos



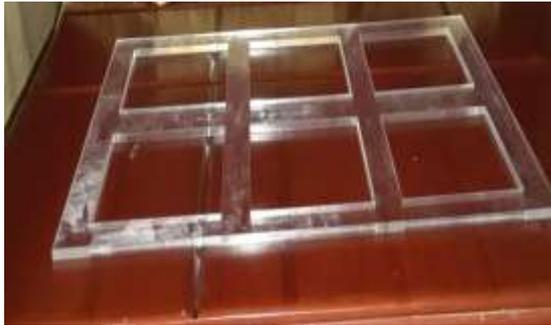
Anexo 29.- Toma de datos



Anexo 30.- Toma de datos

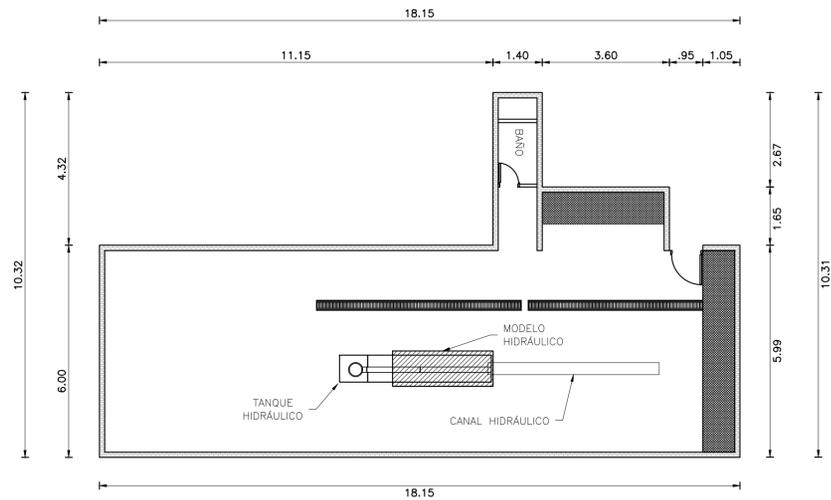


Anexo 31.- Modelo de elevación

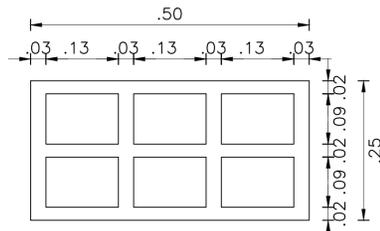


Anexo 31.- Modelo N +0.00

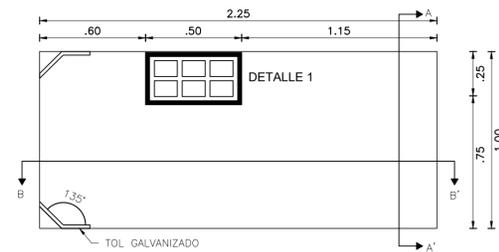
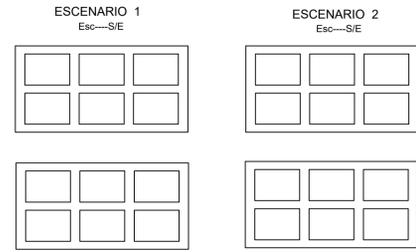
5.2 Plano



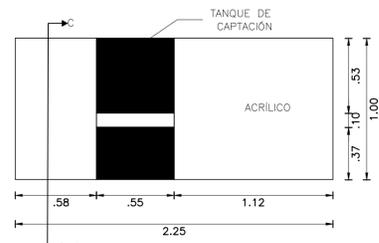
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
Esc---1.100



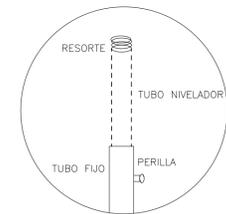
DETALLE 1
Esc---S/E



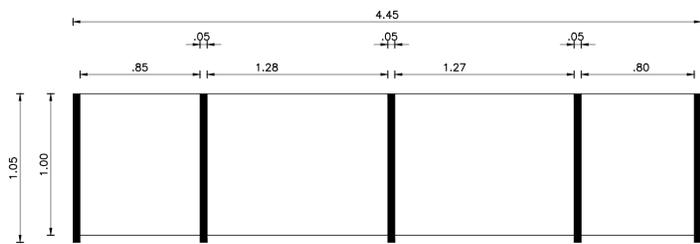
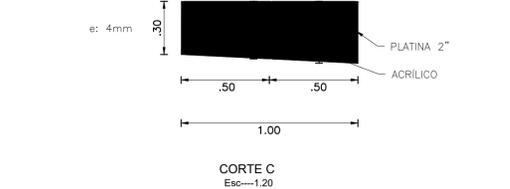
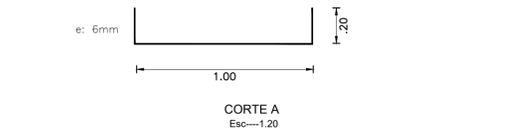
VISTA EN PLANTA - MODELO HIDRÁULICO
Esc---1.20



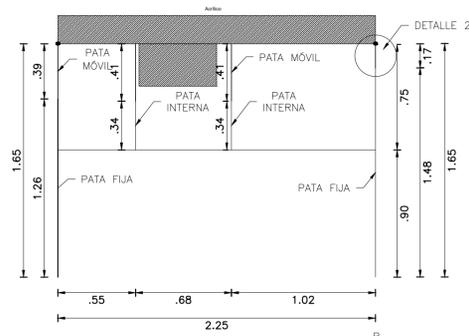
VISTA INFERIOR - MODELO HIDRÁULICO
Esc---1.20



DETALLE 2
Esc---S/E

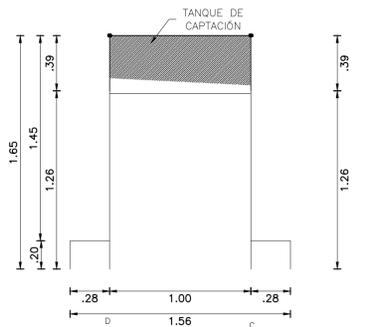


PARTE LATERAL DEL TANQUE HIDRÁULICO
Esc---1.50

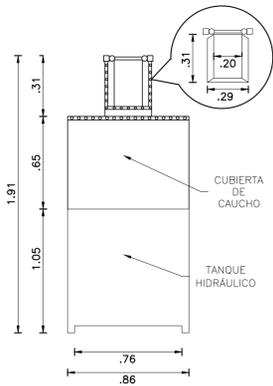


FACHADA DERECHA
Esc---1.20

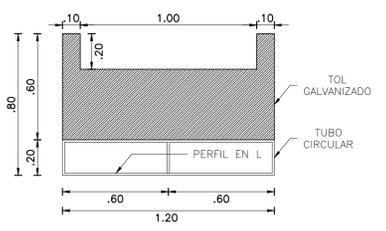
DETALLE 2
Esc---S/E



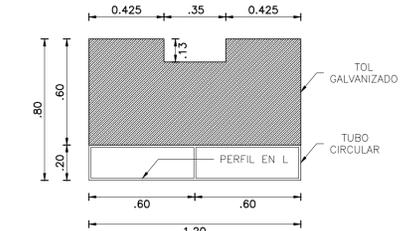
PARTE FRONTAL
Esc---1.20



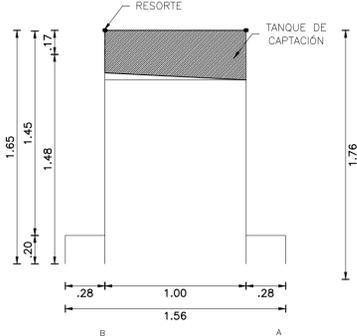
ENTRADA DEL CANAL HIDRÁULICO
Esc---1.25



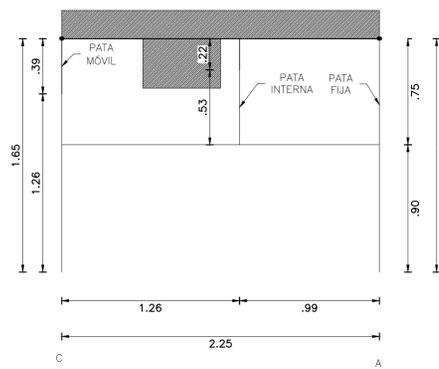
PARTE FRONTAL DEL TANQUE DISIPADOR DE ENERGÍA
Esc---1.20



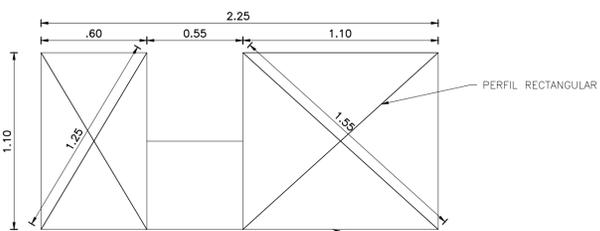
PARTE POSTERIOR DEL TANQUE DISIPADOR DE ENERGÍA
Esc---1.20



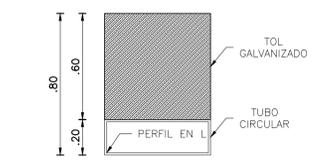
PARTE POSTERIOR
Esc---1.20



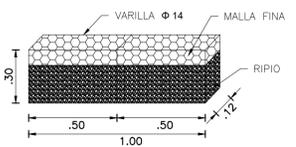
FACHADA IZQUIERDA
Esc---1.20



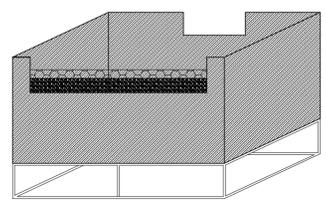
BASE METÁLICA PARA EL SOPORTE DEL ACRILICO
Esc---1.20



PARTE LATERAL DEL DISIPADOR DE ENERGÍA
Esc---1.20



ESTRUCTURA PARA ESTABILIZAR EL AGUA
Esc---1.20



TANQUE DISIPADOR DE ENERGÍA
Esc---1.20

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL</p>		
<p>PROYECTO: "MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SUMIDERO TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTES LONGITUDINALES DE AGUAS LUVIAS"</p>		
<p>CONTIENE: DISEÑO DEL MODELO HIDRÁULICO</p>		<p>ESCALA: Indicados FECHA: Enero 2020 LAMINA: 1/1</p>
<p>DISEÑADO POR: Edgo Marielo Robalino Lara</p>	<p>DISEÑADO POR: Edgo Marielo Robalino Lara</p>	<p>REVISADO POR: Ing. Mg. Fabián Morales Ing. Mg. Geovanny Paredes</p>