



**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 NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS TIPO T45 CON MODIFICACIÓN A REJILLAS CIRCULARES UTILIZADO EN ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN EN LA VIA, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**

---

**AUTOR:** Jorge David Paredes Ipiales

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

**AMBATO – ECUADOR**

**Marzo - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema **“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS TIPO T45 CON MODIFICACIÓN A REJILLAS CIRCULARES UTILIZADO EN ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN EN LA VIA, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**, elaborado por el Sr. Jorge David Paredes Ipiales, portador de la cedula de ciudadanía C.I. 160049646-5, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

---

**Ing. Mg. Lenin Rafael Maldonado Narváez**

**TUTOR**

## **AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Jorge David Paredes Ipiales**, con C.I. 160049646-5, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental bajo el tema: **“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS TIPO T45 CON MODIFICACIÓN A REJILLAS CIRCULARES UTILIZADO EN ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN EN LA VIA, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de la referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



---

**Jorge David Paredes Ipiales**

**CI: 160049646-5**

**AUTOR**

## **DERECHOS 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 autor.

Ambato, Marzo 2021



---

**Jorge David Paredes IpiALES**

**CI: 160049646-5**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jorge David Paredes Ipiales de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema **“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS TIPO T45 CON MODIFICACIÓN A REJILLAS CIRCULARES UTILIZADO EN ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN EN LA VIA, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**.

**Ambato, Marzo 2021**

---

**Ing. Mg. Dilon Germán Moya Medina**  
**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

A mi padre Jorge Paredes, por ser un claro ejemplo de lucha, ejemplo y dedicación en cada una de sus actividades y trabajos que ha realizado a lo largo de su vida, y ser quien durante toda mi carrera me ha enseñado que al triunfo se llega con dedicación y esfuerzo. Gracias por ser mi mayor fuente de inspiración y fuerza.

A mi madre Angélica Ipiales, que, por su amor y ternura, su lucha diaria y perseverancia, y sobre todo su dedicación tanto en su trabajo como en nuestro hogar ha hecho que me llene de grandes valores los cuales han guiado mis pasos desde el inicio de mi existencia. Gracias por ser mi amor incondicional.

A mi esposa Maritza Canseco, quien compartió a mi lado toda mi etapa universitaria brindándome los mejores momentos, apoyándome con su paciencia y dedicación en cada logro y dificultad, enseñándome con su ejemplo el amor y la pasión por triunfar en las metas que nos proponemos. Gracias por todo el amor que me brinda cada día, le amo.

A mí querido hermano José Luis, quien, a pesar de cualquier discusión, siempre ha estado conmigo a lo largo de mi carrera, sacándome sonrisas y brindándome su apoyo para tomar cada una de mis decisiones y brindarme sus consejos. Te quiero hermano mío.

A mis abuelitos, quienes desde muy pequeños me han enseñado que, con humildad y lucha, se llega a la cima del éxito y que no es necesario tener mucho sino lo suficiente para ser feliz.

A toda mi familia que siempre han sido pilares y ejemplos de lucha y perseverancia, sacando adelante y brindando su apoyo a quien más lo necesita. Este triunfo también es de todos Uds.

**JORGE DAVID PAREDES IPIALES**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser el eje principal de mi vida, llenándome de bendiciones durante toda mi carrera y aprendiendo de cada lección en la vida estudiantil.

A mis padres que me han apoyado en todas las circunstancias y gracias a ellos he llegado a ser el hombre que soy hoy en día.

A mi esposa Maritza, por su paciencia y apoyo incondicional durante mi carrera y su lucha continua para ser mejor persona día a día.

A mi hermano José Luis, quien durante mi carrera ha sido la persona que me ha apoyado en cada decisión de mi vida.

A mis compañeros de tesis, Andrea Acosta y Jaime Robalino, agradecerles por la dedicación y paciencia que le pusimos durante la ejecución de este Proyecto.

De igual manera a mi tutor, Ingeniero Lenin Maldonado quien me oriento y guio durante la resolución de cada peldaño para la ejecución del proyecto.

A cada uno de los docentes que han impartido sus conocimientos y consejos durante la carrera, para que cada estudiante sea un excelente profesional y una persona ejemplar, digna de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

A mi familia y amigos que con su apoyo me permitieron culminar mi proyecto y así alcanzar el objetivo propuesto.

## INDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPITULO 1.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1    Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1    Antecedentes.....	1
1.1.2    Justificación.....	4
1.1.3    Fundamentación Teórica.....	6
1.1.3.1    Análisis hidrológico.....	10
1.1.3.2    Análisis de la Normativa para el Diseño Vial.....	14
1.1.3.2.1    Elementos Generales del Diseño de Vías.....	14
1.1.3.3    Análisis Hidrológico.....	18
1.1.3.4    Introducción a los momentos Hidráulicos.....	24
1.1.3.4.1    Análisis Dimensional (Modelos CFD).....	24
1.1.3.4.2    Diferencias entre modelos físicos y numéricos.....	25
1.1.3.4.3    Método de elementos finitos.....	28
1.1.3.4.4    Método de Volúmenes Finitos.....	28
1.1.4    Hipótesis.....	28
1.1.4.1    Hipótesis alterna.....	28
1.1.4.2    Hipótesis nula.....	28
1.2    Objetivos.....	29
1.2.1    Objetivo General.....	29
1.2.2    Objetivos Específicos.....	29
CAPÍTULO II-.....	30
2    METODOLOGIA.....	30
2.1    Materiales y Equipos.....	30

2.2	Métodos.....	31
2.2.1	Nivel o tipo de investigación.....	31
2.2.2	Población y Muestra.....	32
2.2.2.1	Población.....	32
2.2.2.2	Muestra.....	35
2.2.3	Plan de recolección de Información.....	37
2.2.4	Plan de procesamiento y análisis.....	37
CAPÍTULO III.- .....		39
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1	Análisis de resultados.....	39
3.1.1	Investigaciones previas.....	39
3.1.2	Descripción general del modelo.....	42
3.1.2.1	Geometría de los Elementos.....	43
3.1.2.2	Condiciones del Fluido.....	47
3.1.2.3	Condiciones del Borde.....	48
3.1.2.4	Mallado.....	49
3.1.2.5	Caudales.....	50
3.1.3	Procesamiento y Análisis de Resultados.....	50
3.1.3.1	Tiempo de simulación.....	50
3.1.3.2	Calibración del modelo.....	52
3.1.3.3	Renderización del proceso de modelación.....	52
3.1.3.4	Calibración del modelo físico y modelo numérico.....	55
3.1.3.5	Curvas de Eficiencia del modelo numérico computacional.....	57
3.1.3.6	Comparación entre escenarios (Un sumidero Vs Dos sumideros).....	66
3.1.3.7	Ecuaciones de Tendencia y eficiencia.....	78
3.1.4	Discusión de Resultados.....	82
3.1.5	Verificación de la hipótesis.....	85
CAPITULO IV.....		86
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
4.1	Conclusiones.....	86
4.2	Recomendaciones.....	88
Bibliografía.....		89
ANEXOS.....		92

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Periodo de retorno .....	7
<b>Tabla 2:</b> Valores propuestos por Raws para C.....	12
<b>Tabla 3:</b> Valores propuestos para “C” en Zona Urbana.....	12
<b>Tabla 4:</b> Intensidad máxima en 24 horas determinada con información pluviométrica .....	13
<b>Tabla 5:</b> Intensidad máxima, ecuaciones representativas de estaciones pluviográficas .....	13
<b>Tabla 6:</b> Velocidades de diseño .....	15
<b>Tabla 7:</b> Radios de Curvatura mínimos (m).....	15
<b>Tabla 8:</b> Ancho de calzada.....	16
<b>Tabla 9:</b> Porcentajes de pendiente transversal de una vía.....	17
<b>Tabla 10:</b> Porcentajes de pendientes longitudinales .....	18
<b>Tabla 11:</b> Combinaciones de pendientes.....	32
<b>Tabla 12:</b> Combinaciones de pendientes tomadas como muestra.....	35
<b>Tabla 13:</b> Viscosidad dinámica del agua en varias temperaturas.....	47
<b>Tabla 14:</b> Caudales de Ingreso para cada combinación de pendientes. ....	50
<b>Tabla 15:</b> Ejemplo de resultados de simulación en Escenario 1. ....	51
<b>Tabla 16:</b> Parámetros para el sumidero (Escenario 1) .....	56
<b>Tabla 17:</b> Datos y resultados del Modelo Físico y Numérico.....	56
<b>Tabla 18:</b> Eficiencia de Sumidero modificado con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%.....	58
<b>Tabla 19:</b> Eficiencia de Sumidero modificado con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 2%.....	59
<b>Tabla 20:</b> Eficiencia de un sumidero modificado con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%.....	60
<b>Tabla 21:</b> Eficiencia de un sumidero modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%.....	61
<b>Tabla 22:</b> Eficiencia de dos sumideros modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 2%.....	62
<b>Tabla 23:</b> Eficiencia de dos sumideros modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 2%.....	63
<b>Tabla 24:</b> Eficiencia de dos sumideros modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%.....	64
<b>Tabla 25:</b> Eficiencia de dos sumideros modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%.....	65
<b>Tabla 26:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%) .....	66
<b>Tabla 27:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%) .....	67
<b>Tabla 28:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%) .....	68
<b>Tabla 29:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%) .....	69
<b>Tabla 30:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%) .....	70
<b>Tabla 31:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%) .....	71

<b>Tabla 32:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%) .....	72
<b>Tabla 33:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%) .....	73
<b>Tabla 34:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%) .....	74
<b>Tabla 35:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%) .....	75
<b>Tabla 36:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%) .....	76
<b>Tabla 37:</b> Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%) .....	77
<b>Tabla 38:</b> Eficiencias calculadas con un sumidero con barrotes circulares .....	84
<b>Tabla 39:</b> Eficiencias calculadas con dos sumideros con barrotes circulares .....	84
<b>Tabla 40:</b> Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en depresión (PT 4% - PL 4%).....	92
<b>Tabla 41:</b> Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocada en depresión (PT 4% - PL 12%).....	93
<b>Tabla 42:</b> Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en elevación (PT 4% - PL 12%).....	94
<b>Tabla 43:</b> Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocadas en elevación (PT 4% - PL 0.5%) .....	95

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Área de aporte por tiempos para Alcantarillado Pluvial.....	9
<b>Figura 2:</b> Hidrograma de crecida y de precipitación constante y uniforme .....	11
<b>Figura 3:</b> Flujo Laminar y Turbulento .....	20
<b>Figura 4:</b> Curva de la energía específica.....	21
<b>Figura 5:</b> Modelo Hidráulico Unidimensional.....	26
<b>Figura 6:</b> Modelo Hidráulico Bidimensional.....	27
<b>Figura 7:</b> Modelo Hidráulico Tridimensional.....	27
<b>Figura 8:</b> Escenario 1. Rejilla en Elevación.....	33
<b>Figura 9:</b> Escenario 2. Rejilla en Depresión .....	33
<b>Figura 10:</b> Escenarios según el número de sumideros .....	33
<b>Figura 11:</b> Dimensiones de la rejilla.....	34
<b>Figura 12:</b> <i>Diagrama de árbol de combinaciones de pendientes.</i> .....	36
<b>Figura 13:</b> Escenarios de sumideros tipo T45.....	39
<b>Figura 14:</b> Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S1 – Bombeo 2%).....	40
<b>Figura 15:</b> Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S1 – Bombeo 4%).....	41
<b>Figura 16:</b> Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S2 – Bombeo 2%).....	41
<b>Figura 17:</b> Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S2 – Bombeo 4%).....	42
<b>Figura 18:</b> Media vía con diferentes pendientes transversales y longitudinales. ....	43
<b>Figura 19:</b> Sumidero tipo T45, con modificación a rejillas circulares.....	44
<b>Figura 20:</b> Modelo S1, con el sumidero en elevación.....	44
<b>Figura 21:</b> Modelo S1, con el sumidero en depresión . ....	45
<b>Figura 22:</b> Modelo S2, con el sumidero en elevación.....	45
<b>Figura 23:</b> Modelo S2, con el sumidero en depresión. ....	46
<b>Figura 24:</b> Vista 3D, Pendiente transversal. ....	46
<b>Figura 25:</b> Vista 3D, Pendiente longitudinal. ....	47
<b>Figura 26:</b> Condiciones de contorno en el software. ....	48
<b>Figura 27:</b> Mallado de los elementos.....	49
<b>Figura 28:</b> Estabilización del flujo de captación (Grafica Caudal vs Tiempo).....	52
<b>Figura 29:</b> Renderización de la vía y la rejilla. ....	53
<b>Figura 30:</b> Renderización de la rejilla.....	53
<b>Figura 31:</b> Fenómeno de salto hidráulico por la colocación de la rejilla en elevación. ....	54
<b>Figura 32:</b> Continuidad del transcurso de agua en la vía y por la rejilla .....	54
<b>Figura 33:</b> Continuidad del fluido de escorrentía e ingreso al sumidero colocado en elevación. ....	55
<b>Figura 34:</b> Comparación del modelo numérico y el modelo físico.....	57
<b>Figura 35:</b> Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	58
<b>Figura 36:</b> Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	59
<b>Figura 37:</b> Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	60

<b>Figura 38:</b> Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	61
<b>Figura 39:</b> Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	62
<b>Figura 40:</b> Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	63
<b>Figura 41:</b> Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	64
<b>Figura 42:</b> Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0% .....	65
<b>Figura 43:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%) .....	66
<b>Figura 44:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%) .....	67
<b>Figura 45:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%) .....	68
<b>Figura 46:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%) .....	69
<b>Figura 47:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%) .....	70
<b>Figura 48:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%) .....	71
<b>Figura 49:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%) .....	72
<b>Figura 50:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%) .....	73
<b>Figura 51:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%) .....	74
<b>Figura 52:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%) .....	75
<b>Figura 53:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%) .....	76

<b>Figura 54:</b> Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotos circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%)	77
<b>Figura 55:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 2%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en elevación.	78
<b>Figura 56:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en depresión.	79
<b>Figura 57:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en elevación.	79
<b>Figura 58:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en depresión.	80
<b>Figura 59:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 2%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en elevación.	80
<b>Figura 60:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 2%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en depresión.	81
<b>Figura 61:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en elevación.	81
<b>Figura 62:</b> Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en depresión.	82
<b>Figura 63:</b> Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en depresión (PT 4% - PL 4%)	92
<b>Figura 64:</b> Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocada en depresión (PT 4% - PL 12%)	93
<b>Figura 65:</b> Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en elevación (PT 4% - PL 12%)	94
<b>Figura 66:</b> Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocadas en elevación (PT 4% - PL 0.5%)	95
<b>Figura 67:</b> Render de un sumidero colocado en elevación (PT 4% - PL 4%)	96
<b>Figura 68:</b> Caída de agua en un sumidero en elevación (PT 4% - PL 4%)	96
<b>Figura 69:</b> Render con transparencia , Caída de agua en la rejilla colocada en elevación (PT: 2% - PL: 8%)	97
<b>Figura 70:</b> Render de caída de agua de esorrentía por el diseño de la vía	97
<b>Figura 71:</b> Render de dos sumideros colocados en serie	98
<b>Figura 72:</b> Mallado de los dos sumideros en serie	98
<b>Figura 73:</b> Render de dos sumideros en serie colocados en depresión	99
<b>Figura 74:</b> Caída de agua en dos sumideros en serie colocados en depresión, con una pendiente de longitudinal del 8% y una transversal de 2%	99

## RESUMEN

Empezando con esta investigación se creó un modelo tridimensional a escala real con un software de mecánica de fluidos computacionales, el cual nos ayuda a realizar simulaciones en tres dimensiones del comportamiento ante la acción del agua de escorrentía y con esto analizar los resultados para realizar una comparación con el modelo actual de sumideros tipo T45 establecidos y utilizados en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12.

Las condiciones de las plataformas virtuales para la simulación fueron las mismas de la investigación a escala 1:4, por ello se ocupó una pendiente transversal o de bombeo de 2 y 4 por ciento y pendientes longitudinales de 0.5, 4 y 12 por ciento, y con caudales de ingreso que varían desde 16.91 lt/s a 111.65 lt/s.

También se consideraron varias modificaciones en la colocación del sumidero, creando así dos escenarios dependiendo de la colocación en la vía: Modelo S1: un sumidero ubicado en elevación de la vía, Modelo S2: un sumidero ubicado en depresión en la vía, así como dos escenarios dependiendo del número de sumideros: un escenario S1 donde se coloca un solo sumidero y un escenario S2 donde se colocan 2 sumideros en serie, con esto se obtuvo que el escenario S2 con dos sumideros en serie tiene una mayor eficiencia que el S1, y que existe una mejor eficiencia con las modificaciones en la forma de los barrotes de la rejilla.

## ABSTRACT

To begin with this research, a real-scale three-dimensional model was created with computational fluid dynamics software, which helps to carry out three-dimensional simulations of the behavior on the action of runoff water and analyze the results to make a comparison among the current established T45 type grating model and the ones used in the Standard Ecuadorian Vial NEVI-12.

The virtual platforms conditions for the simulation were the same as those of the 1:4 scale investigation, therefore a transverse or pumping slope of 2 and 4 percent and longitudinal slopes of 0.5, 4 and 12 percent were used with income flows that vary from 16.91lt/s to 111.65lt/s.

Several modifications were also considered in the placement of the grating, creating two scenarios depending on the placement on the road: S1 Model: a grating located in the elevation of the road, S2 Model: a grating located in depression on the road, as well as two scenarios depending on the number of gratings: an S1 scenario where a single grating is placed and an S2 scenario where 2 gratings are placed in series, the results showed that the S2 scenario with two gratings in series has a higher efficiency than S1, and there is a better efficiency with the modifications on the shape of the grating bearing bars.

## **CAPITULO 1**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 Antecedentes Investigativos**

##### **1.1.1 Antecedentes**

El sistema de alcantarillado pluvial fue creado por la necesidad de recoger el agua de escorrentía que fluye por las cunetas de las vías, para ello se crearon las estructuras de toma o también llamadas sumideros, estos son diseñados con el fin de evitar que el caudal de agua interfiera en lo mínimo posible con el tráfico vehicular, además de evitar la caída de material de arrastre hacia los colectores del sistema. [1]

Antiguas investigaciones sobre la eficiencia hidráulica de las tomas de agua se han enfocado en determinar formulas empíricas donde se dé a conocer el comportamiento del agua de escorrentía sin realizar modelos físicos en los que realice la experimentación, son muy pocas las investigaciones en donde se enfocaron en realizar una comparación y calibración entre los resultados de los modelos físicos con los modelos numéricos que permitan validar resultados exitosos.

En varios países del mundo donde existe un aumento repentino en la intensidad de las lluvias, provocan un colapso de los sumideros del alcantarillado debido a cambios en los patrones de intensidad de lluvia con los cuales se realizaron los diseños de las tomas provocando una baja capacidad de diseño de las rejillas, acompañado de su falta de mantenimiento y la obstrucción provocada con material de arrastre o basura.

En países Latinoamericanos, debido a esta problemática se ha optado por crear embaulados que conduzcan el agua de escorrentía hacia el sumidero, permitiendo un mayor contacto, mientras que en varias ciudades del mundo se realizaron estudios sobre el impacto producido por el alto volumen del agua lluvia que fluye en las calles, dando como resultado un daño permanente a los sistemas de alcantarillado de las ciudades, causando así la poca eficiencia de estas obras. [2]

En nuestro país, las normas suponen que con los diseños establecidos se logra captar en las tuberías de conducción el total del agua que fluye por las vías, pero en la verdad no sucede esto ya que, por el diseño de los sumideros, así como las dimensiones de las alcantarillas solo captan cierto porcentaje de agua, mientras que el restante sigue su circulación, esto produce inundaciones o accidentes en las vías.

Debido al impacto que produce el maximizar el caudal de agua captado por los sumideros y alcantarillas varios países han cambiado y replanteado los dimensionamientos de este tipo de sistemas y sus condiciones de diseño para adecuar un sistema de drenaje con un resultado óptimo.

Para el desarrollo de este tipo de investigaciones es importante realizar las modelaciones computacionales, mismas que permiten tomar decisiones para obtener mejores resultados aplicando la teoría de modelación, probabilidad y calidad, utilizando factores de estadística que afectan en la vida real.

Las modelaciones computacionales nos ayudan a crear una interfase entre lo real y lo virtual, siendo la manera más viable para el comparar el comportamiento de sistemas de alcantarillado numéricos utilizando datos captados por modelos físicos que ya han sido utilizados en escenarios similares. [3]

Estos resultados son de gran ayuda en la búsqueda del mejor comportamiento para un nuevo diseño, y las ecuaciones complejas utilizadas para su búsqueda son factibles debido a que los computadores realizan la mayor cantidad de cálculos en un lapso determinado por su eficiencia al momento de procesar la información ingresada en el software que permite la modelación del sistema. [2]

Dentro de nuestra facultad se han diseñado estudios preliminares en donde se busca una nueva determinación con características distintas para mejorar la eficiencia en la captación de agua. Dentro de estos estudios se analizó las dimensiones y características de algunos tipos de sumideros existentes que cumplen con las normas locales de diseño, pero se demostró que no solo existe esa eficiencia con la que fue diseñado el sumidero por normativa. [4]

Mediante las características del flujo se encontraron las fórmulas empíricas con las cuales se pudo determinar la eficiencia hidráulica entre los bordillos y las rejillas, esto se aplicó en la rejilla denominada Barcelona creando un diseño computacional y una plataforma en escala real, dando como resultado una fiabilidad alta por las calibraciones entre sus dos modelos. [5]

Antiguos estudios realizados ya por estudiantes y docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de Universidad Técnica de Ambato determinaron la eficiencia del sumidero tipo T45, fabricando un modelo a escala y realizando su comparación con los resultados dados en los modelos computacionales con las mismas características dadas por la normativa del país para este tipo de construcciones.

Un estudio realizado en el trabajo denominado “Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros de aguas lluvias”, realizó dicho estudio determinando la eficiencia en diferentes escenarios en donde los sumideros se colocaron con diferentes pendientes, mientras que en el artículo “Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales” realizado por docentes de

la Carrera de Ingeniería Civil de la UTA, estudiaron la influencia de las pendientes longitudinales y transversales en la eficiencia hidráulica de los sumideros. [6]

La presente investigación tiene por objetivo estudiar la eficiencia en los sumideros tipo T45 aplicando mecánica de fluidos computacionales, evaluando y validando cambios en las condiciones geométricas y geográficas para hacer del sistema de alcantarillado una obra óptima y eficiente.

### **1.1.2 Justificación**

En relación con los estudios realizados y citados en anterioridad, se comprobó la falta de investigación realizando modelaciones computacionales de los sumideros ante un fenómeno de escorrentía, sin la necesidad de su realización en escala física.

Siendo los sumideros una parte esencial de un sistema de alcantarillados, se vuelve importante el estudio de la eficiencia que provoca este elemento. Para ello se ha determinado la realización de varios modelos en su geometría o creando diferentes estructuras en su localización para determinar una eficiencia óptima. [6]

Las investigaciones realizadas con anterioridad han permitido la caracterización en los modelos de sumideros, o dentro de los mismos, realizando cambios en la geometría de las rejillas. Pero esto no se torna factible en su realización física ya sea por costes o por el tiempo de realización y de ensayos. [5]

En esta investigación se busca la solución a los problemas de inundaciones por el agua de escorrentía, no solo en zonas urbanas sino también en zonas rurales, determinando la capacidad de recolección de agua en los colectores, los mismos que están dimensionados por su tamaño o por la velocidad de captación de agua que se determina por la topografía del sitio. [7]

Con la modelación computacional se realiza un importante estudio acerca del desarrollo de las simulaciones, con características significativas como la capacidad de flujo, las dimensiones propuestas tanto en modelos de 2 o 3 dimensiones, entre otras.

El CFD (Dinámica de fluidos computacional) es uno de los diferentes tipos de software existentes hoy en día para la resolución de las ecuaciones matemáticas en la aplicación de las técnicas para la resolución de fenómenos físicos en el movimiento de los fluidos.

Esta clase de programas simulan el recorrido del agua, empezando por el descenso del fluido hacia la superficie, hasta la descarga en el sistema de alcantarillado, sin importar su extensión. [8]

Con relación a un modelo físico, la mayor ventaja es que, con la utilización de estos softwares podemos recrear los modelos intercambiando sus dimensiones y geometrías introduciendo datos de caudales, pendientes y condiciones de caso para determinar la mayor eficiencia en cada escenario propuesto.

Por estos motivos, la presente investigación dará un alcance para la determinación de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas de escorrentía, buscando que en futuras investigaciones puedan realizarse los cambios en las normas de creación de los sistemas de alcantarillado y embaulamiento de agua lluvia.

### **1.1.3 Fundamentación Teórica**

El análisis hidrológico es un estudio que determina caudales máximos en cuencas hidrográficas. Para ello resulta esencial conocer el tipo de superficie, pendiente y longitud, así como los tiempos de concentración y coeficientes de escorrentía.

Para el diseño hidrológico se consideran los siguientes aspectos:

#### **➤ Cuenca Hidrográfica**

La cuenca hidrográfica es una unidad geográfica e hidrológica, formada por un río principal y todos sus territorios asociados entre el origen del río y su desembocadura, además incluye el área, los ecosistemas y sus interacciones que inciden en el curso de agua, tanto en su calidad como en su cantidad. [9]

#### **➤ Área de Drenaje**

Se define como el espacio en el territorio por el cual recorre el agua lluvia o superficial hasta su desembocadura o desfogue. Se expresa en hectáreas (Ha) o en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>). [10]

#### **➤ Precipitación**

Una precipitación es agua líquida o sólida formada en la atmósfera que regresa a la superficie terrestre en forma de lluvia, aguanieve, nieve, etc. Si la nube es cálida por estar en altitudes bajas caerá lluvia, o si está más fría y en altitudes altas caerá parcial o totalmente congelada. [11]

➤ **Intensidad de precipitación**

La intensidad de precipitación es igual a precipitación/tiempo. Para ello es indispensable el conocimiento del volumen de agua y el tiempo que tarda en caer a la superficie de una determinada área geométrica. Esto no se realiza en tiempos de lluvias extraordinarias ni tampoco en tormentas, el análisis es utilizado en tiempos de lluvias ordinarias o moderadas y depende de la zona. [12]

➤ **Periodo de Retorno**

También conocido como “frecuencia”. Es el tiempo promedio en años en el cual un fenómeno con intensidad menor, igual o mayor, se repite. En toda obra civil es considerado este parámetro. [13]

Este valor es una representación usada para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinada, en ingeniería hidráulica se utiliza para mostrar la probabilidad de que se presente una avenida con determinado caudal en un año cualquiera. [14]

Los valores son expuestos en la tabla 1.

**Tabla 1:** Periodo de retorno

<b>PERIODO DE RETORNO MÍNIMO DE DISEÑO</b>	
<b>Tipo de Estructura</b>	<b>Periodo de Retorno (años)</b>
Zanja de Drenaje	5 – 50
Drenaje de Carreteras	50
Vías Locales	1.5
Aguas Pluviales	2 – 10
Áreas Recreativas	1.0

**Fuente:** U.A.M. Formula Racional

### ➤ Relación Intensidad, Duración y Frecuencia

La Curva Intensidad, Duración, Frecuencia, son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media (I) en intervalos de diferente duración (D) y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (F). [15]

Una vez determinadas las intensidades máximas para los diferentes tiempos o duraciones y periodos de retorno, aplicamos logaritmo a cada valor de intensidad máxima y se procede a graficar estos valores obteniendo la curva (IDF)

Para la determinación de las curvas IDF se utilizan los valores extremos de precipitación en tiempos determinados que son almacenados en los conocidos registros pluviógrafos. Con las intensidades máximas encontradas se deriva la ecuación general para determinar la intensidad máxima.

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde

I. - Intensidad de precipitación (mm/h)

T. - Periodo de retorno (años)

t. - Tiempo de duración (horas)

K, m, n. - Constantes de ajuste propias dependiendo de la estación.

También podemos derivar la ecuación en función a una intensidad diaria.

$$I_{TR} = \frac{K * I_{dTR}}{t^n} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde

$I_{TR}$ . - Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno (mm/h)

$I_{dTR}$ . - Intensidad diaria para un periodo de retorno (mm/h)

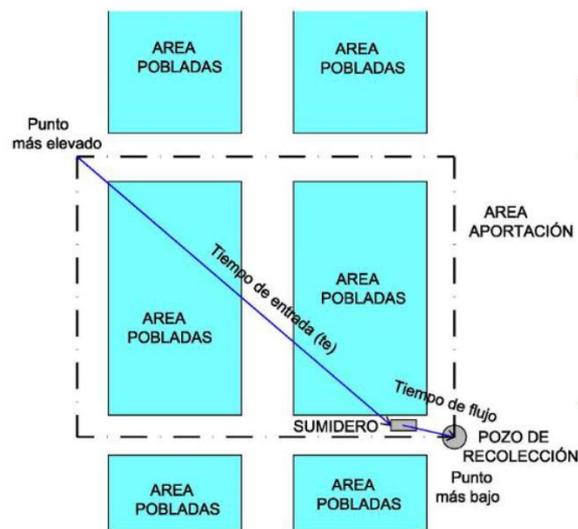
T. - Tiempo de duración de la lluvia (minutos)

K, m, n. - Constantes de ajuste propias dependiendo de la estación.

### ➤ Tiempo de Concentración

Se le denomina tiempo de concentración al periodo que tarda en recorrer una gota de agua desde la parte más alta de una cuenca hasta la llegada a su drenaje en los sumideros, se lo considera en un lapso de 10 a 20 minutos dependiendo de la topografía de los suelos, sus pendientes y los tipos de superficie del recorrido.

**Figura 1:** Área de aporte por tiempos para Alcantarillado Pluvial



**Fuente:** David Paredes

El tiempo de concentración es determinado como la adición entre el tiempo de entrada más el tiempo de flujo, siendo este resultado menor o igual a la duración de la lluvia. Así como se puede visualizar en la Fig. No. 1. [10]

$$t_c = t_o + t_f \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde

$t_c$ . - tiempo de concentración, min.

$t_o$ . - tiempo de entrada, min.

$t_f$ . - tiempo de flujo, min.

### ➤ **Caudales Máximos de Crecida**

Para el cálculo de los caudales de escurrimiento superficial se pueden utilizar 3 métodos de determinación: el método racional, el cual permite la estimación del escurrimiento en cuencas con una superficie inferior a 100 Ha., el método del hidrograma unitario sintético que es utilizado para cuencas con extensiones superiores a 100 Ha. y el análisis estático se utiliza para áreas de contribución en donde son superiores a 25 km<sup>2</sup>, todos se usan basándose en datos de observación de las precipitaciones y su escurrimiento superficial. [16]

Siendo el más usado en nuestro medio el método racional.

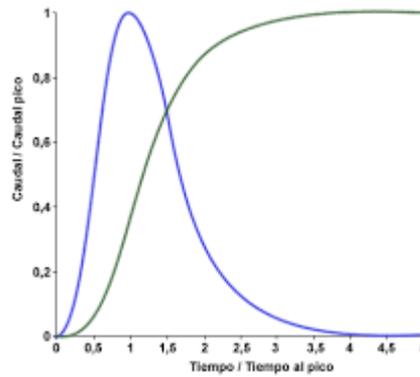
#### **1.1.3.1 Análisis hidrológico**

##### ➤ **Método Racional**

Es el método más utilizado para la estimación del caudal máximo asociado con un fenómeno de lluvia determinado de diseño. Su uso es importante, especialmente en obras de drenaje urbano y rural. Además, no se necesita de datos hidrométricos para la determinación de Caudales Máximos.

Este método utiliza una hipótesis en donde se considera una lluvia constante y uniforme sobre el área donde se produce un caudal de descarga, con esto se determina el valor máximo una vez que el caudal este distribuida por toda el área determinada.

**Figura 2:** Hidrograma de crecida y de precipitación constante y uniforme



**Fuente:** Determinación de Caudales Máximos con el método racional [17]

El método racional utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = 0.278 \times CiA \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

Q.- Caudal de escorrentía superficial ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

C.- Coeficiente de escorrentía

i.- Intensidad de precipitación ( $\text{mm}/\text{h}$ )

A.- Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

#### ➤ **Coeficiente de escorrentía**

Por causas o circunstancias como la infiltración, el estancamiento del agua o el fenómeno atmosférico de la evaporación, hacen que el agua circulante por las carreteras no llegue a ser evacuada en los sistemas de drenaje, es por esta razón que se toma en cuenta un coeficiente de escorrentía que se establece mediante tablas dependiendo de varias características como la topografía, las pendientes, el tipo de suelo y su permeabilidad y las diferentes coberturas vegetales encontradas en el área estipulada. [10]

**Tabla 2:** Valores propuestos por Raws para C.

<b>ZONA</b>	<b>C</b>
Bosque, Relieve Ondulado	0.18
Bosque, Relieve Quebrado	0.21
Pasto, Relieve Ondulado	0.36
Pasto, Relieve Quebrado	0.42
Cultivo, Relieve Ondulado	0.60
Cultivo, Relieve Quebrado	0.72

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador

**Tabla 3:** Valores propuestos para “C” en Zona Urbana.

<b>Descripción del área</b>	<b>Rango de C</b>	<b>Valor recomendado</b>
Centro comercial	0.70 - 0.95	0.85
Periférico	0.50 - 0.70	0.6
Residencial		
Casas Individuales	0.30 - 0.50	0.4
Deptos. Con espacios	0.40 - 0.60	0.5
Deptos. Pegados	0.60 - 0.75	0.7
Suburbano	0.25 - 0.40	0.35
Departamentos	0.50 - 0.70	0.6
Industrial		
Poco densa	0.50 - 0.80	0.65
Muy densa	0.60 - 0.90	0.75
Parques	0.10 - 0.25	0.2
Deportes	0.20 - 0.35	0.3
Baldíos	0.10 - 0.30	0.2
<b>Carácter de la Superficie</b>	<b>Rango de C</b>	<b>Valor recomendado</b>
Pavimento-Asfalto	0.70 - 0.95	0.85
Empedrado	0.75 - 0.85	0.8
Techos	0.75 - 0.95	0.85
Parques suelo arenoso		
0% - 2%	0.05 - 0.10	0.08
2% - 7%	0.10 - 0.15	0.13
Mayor 7%	0.15 - 0.20	0.18
Parques suelo pesado		
0% - 2%	0.13 - 0.17	0.15
2% - 7%	0.18 - 0.22	0.2
Mayor 7%	0.25 - 0.35	0.3

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador

➤ **Intensidad Máxima**

Para encontrar la intensidad máxima de una ciudad, se inicia a partir de una serie anual, por ello para una duración determinada, se selecciona la intensidad máxima observada en cada registro hidrológico anual. [13]

La determinación de las intensidades máximas depende de la ciudad y los datos de las estaciones en cada área encontrada, en este caso se tomarán los datos de la estación de la ciudad de Ambato, (Ambato Aeropuerto).

En la Tabla 4, se conoce la ubicación del lugar de la estación y sus tiempos de retorno.

**Tabla 4:** Intensidad máxima en 24 horas determinada con información pluviométrica

<b>INTENSIDAD MÁXIMA</b>									
<b>Código</b>	<b>Estación</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altitud</b>	<b>Tr (Años)</b>				
		<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>		<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
M0066	Ambato	01°12'00	78°34'00	2515	1.	1.	1.	1.	1.6
	Aeropuerto	”	”		2	3	4	5	
		S	W						

**Fuente:** INAMHI – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. [13]

Se observan las tablas de las ecuaciones para el cálculo de intensidad máxima que determinan las estaciones pluviográficas de la ciudad de Ambato del INAMHI.

**Tabla 5:** Intensidad máxima, ecuaciones representativas de estaciones pluviográficas

<b>ECUACIONES - AMBATO</b>			
<b>Código</b>	<b>Estación</b>	<b>Duración</b>	<b>Ecuación</b>
M0066	Ambato	5 min < 34 min	$I_{TR} = 197.86 * t^{-0.5556} I_{dTR}$
	Aeropuerto	34 min < 1440 min	$I_{TR} = 616.96 * t^{-0.885} I_{dTR}$

**Fuente:** INAMHI – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. [13]

### **1.1.3.2 Análisis de la Normativa para el Diseño Vial**

Los distintos métodos, criterios y parámetros para el desarrollo de las obras viales y sus estudios previos son definidos por la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI) quien en conjunto con el Ministerio de Transporte y Obras Publicas garantizan la seguridad vial en los diferentes aspectos que pueda tener tanto en su tipología de ruta, como en las características de la zona donde se va a realizar la obra vial y los diferentes fenómenos que pueden ocurrir.

#### **1.1.3.2.1 Elementos Generales del Diseño de Vías**

La funcionalidad de la obra vial es lo más importante en su desarrollo, para lo cual existen varios elementos que se consideran para su diseño, para nuestra investigación tomaremos las más importantes para la determinación de la eficiencia de los sumideros.

##### **➤ La Topografía**

Es un factor principal de la localización física de la vía, depende de esto su alineamiento horizontal, sus pendientes, las distancias de visibilidad y sus secciones transversales. Por medio de este factor se los clasifica en cuatro categorías: }

Terreno plano. – Tiene pendientes transversales menores del 5% y pendientes longitudinales menores a 3%.

Terreno ondulado. – Tiene pendientes transversales de 6 a 12 % y pendientes longitudinales de 3 a 6 %.

Terreno montañoso. – Tiene pendientes transversales de 13 a 40 % y pendientes longitudinales de 6 a 8 %.

Terreno escarpado. – Tiene pendientes transversales que sobrepasan el 40 % y pendientes longitudinales mayores al 8%.

➤ **La velocidad de diseño**

También llamada velocidad del proyecto es uno de los factores esenciales en cualquier transporte, ya que de ella depende el tiempo de traslado de personas, cosas o en nuestro caso del agua de escorrentía de un sitio a otro.

El Ministerio de Transporte y Obras públicas dispone de velocidades permisibles para vehículos en general como lo indica la tabla 4:

**Tabla 6:** Velocidades de diseño

<b>CLASE</b>	<b>Terreno Llano</b>	<b>Terreno Ondulado</b>	<b>Terreno Montañoso</b>
<b>I (3000 A 8000 TPDA)</b>	110	100	80
<b>II (1000 A 3000 TPDA)</b>	100	90	70
<b>III (300 A 1000 TPDA)</b>	90	80	60
<b>IV (100 A 300 TPDA)</b>	80	60	50
<b>V (MENOR A 100 TPDA)</b>	60	50	40

Fuente: MTOP. [18]

➤ **Radio de Curvatura**

Se define como el valor de radio más bajo para brindar seguridad en el tránsito a una velocidad de diseño dada en función del peralte y el coeficiente de fricción lateral correspondiente. [14] BM

**Tabla 7:** Radios de Curvatura mínimos (m)

<b>Clase de Carretera</b>	<b>Llano</b>	<b>Ondulado</b>	<b>Montañoso</b>
<b>I 3000 A 8000 TPDA</b>	430	350	210
<b>II 1000 A 3000 TPDA</b>	350	275	160
<b>III 300 A 1000 TPDA</b>	275	210	110
<b>IV 100 A 300 TPDA</b>	210	110	75
<b>V MENOR A 100 TPDA</b>	110	75	42

Fuente: MTOP. [18]

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

➤ **Ancho de calzada**

Se define como el ancho requerido de la vía, espaldones, taludes interiores y cunetas.

[18]

Los valores del ancho de calzada se presentan en la tabla 6, dependiendo de su tráfico promedio diario anual.

**Tabla 8:** Ancho de calzada

Clase de Carretera	Ancho de 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 menos de 100 TPDA	4.00	4.00

Fuente: MTOP [18]

➤ **Pendiente transversal (Bombeo)**

La pendiente transversal se la incluye en el diseño con el fin de permitir el escurrimiento del agua que cae sobre la calzada y se desliza desde el centro de la vía hacia los costados de esta, este tipo de pendiente se lo denomina bombeo.

En la tabla 7, se presentan los porcentajes de las pendientes transversales que recomienda el Ministerio de Transportes y Obras Públicas del país.

**Tabla 9:** Porcentajes de pendiente transversal de una vía

<b>Clase de Carretera</b>	<b>Tipo de Superficie</b>	<b>Gradiente Transversal (%)</b>
R-I o R-II > 8000 TPDA	Alto grado estructural: concreto asfáltico u hormigón	1.5 – 2
I 3000 a 8000 TPDA	Alto grado estructural: concreto asfáltico u hormigón	1.5 – 2
II 1000 a 3000 TPDA	Grado estructural intermedio	2.00
III 300 a 1000 TPDA	Bajo grado estructural: doble tratamiento superficial Bituminoso D.T.S.B.	2.00
IV 100 a 300 TPDA	Grava o D.T.S.B.	2.5 – 4
V Menor a 100 TPDA	Grava, Empedrado, Tierra	4.00

Fuente: MTOP [18]

### ➤ **Pendiente Longitudinal**

El valor de las pendientes longitudinales depende de la eficiencia de operación de los vehículos, ya que se realiza la relación, a mayor pendiente se produce una velocidad limitada de los automóviles, haciendo crítico la circulación de vehículos con pesos elevados.

Por ellos se determina que una pendiente alta hace que el costo del transporte aumente significativamente, mientras que, con pendientes bajas, el costo del transporte disminuye y se incrementa el costo de la vía.

En la tabla 8, se presentan los porcentajes de las pendientes longitudinales que se utilizan por normativa en nuestro país.

**Tabla 10:** Porcentajes de pendientes longitudinales

CATEGORIA	RECOMENDABLE			MÁXIMO (%)		
	(%)					
Clase de vía	LL	O	M	LL	O	M
I	3	4	6	3	5	7
II	3	4	6	4	6	8
III	3	5	7	4	7	9
IV	4	6	8	6	8	10
V	4	6	8	6	8	12

Fuente: MTOP. [18]

### 1.1.3.3 Análisis Hidrológico

#### ➤ Hidráulica de canales

La hidráulica de canales se determina como las definiciones y principios básicos para el análisis hidráulico de la realización y diseño de canales, así como el cálculo de secciones y las diferentes ecuaciones básicas que se utilizan para el cálculo de este tipo de obras de movimiento de aguas.

#### ➤ Tipos de Flujo

Se determinan dos tipos de flujo:

##### ○ Flujos en canales abiertos.

Esta clasificación se determina por la gran dificultad de la determinación de los coeficientes de rugosidad y los factores de fricción, además que tienen pueden tener diferentes dimensiones o cambios bruscos de geometría entre secciones. Su identificación se deriva a flujo con superficie libre y sujetos a la presión atmosférica.

- **Flujos a presión**

Su identificación se basa a que la presión del fluido es constante por su circulación por medio de tuberías y se los identifica como flujos sin contacto directo con la presión atmosférica y solo con presión hidráulica.

- **Estados de flujo**

- **Numero de Reynolds**

Es un parámetro adimensional utilizado para conocer las características de flujo dentro de una tubería, expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad en el interior de una corriente. [19]

A continuación, las ecuaciones para determinar el número de Reynolds para los diferentes tipos de Flujos:

$$Re = \frac{V*De*\rho}{\mu} = \frac{V*De}{\nu} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$De = 4Rh = 4 \frac{A}{p} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\text{FLUJO LAMINAR} \quad Re < 2000 \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\text{FLUJO TRANSITORIO} \quad 2000 \leq Re \leq 4000 \quad (\text{Ec. 9})$$

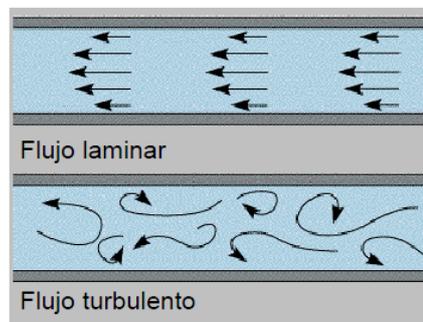
$$\text{FLUJO TURBULENTO} \quad Re > 4000 \quad (\text{Ec. 10})$$

- **Flujo turbulento, transitorio y laminar**

- **Flujo Laminar.** – Se define cuando las partículas del líquido se mueven siempre a lo largo de trayectorias uniformes, indicando siempre la misma dirección, sentido y magnitud. Tal como se explica en la Figura 3. [20]

- **Flujo Transitorio.** – Los flujos transitorios tienen lugar cuando se ponen en funcionamiento o paran las bombas de una instalación, en los procesos de llenado y vaciado de tuberías, ya que se produce una variación brusca en la velocidad del fluido. [21]
- **Flujo Turbulento.** - Se produce cuando las partículas del líquido fluyente siguen trayectorias erráticas y desordenadas, formando pequeños torbellinos. Esto se produce cuando aumenta la velocidad del flujo y el número de Reynolds crece. Se puede visualizar en la Figura 2. [20]

**Figura 3:** Flujo Laminar y Turbulento



**Fuente:** Ven Te, Chow. Hidráulica de Canales Abiertos

### ➤ Regímenes de Flujo

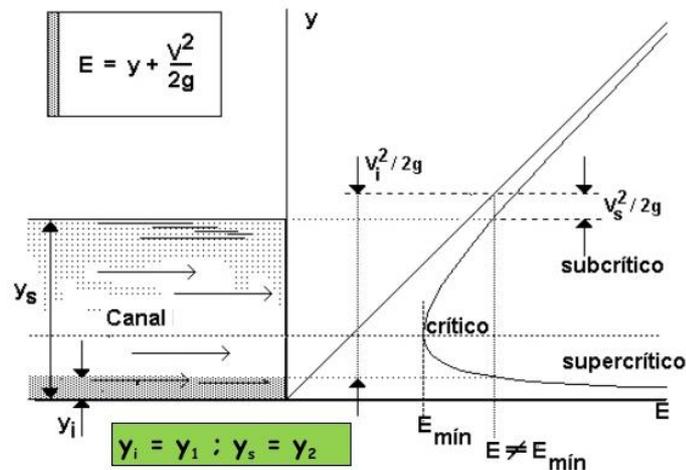
- **Energía Específica (Definición y curva de energía)**

La energía específica en la sección de un canal se define como la energía por kilogramo de agua que fluye a través de la sección, medida con respecto al fondo del canal.

En la Figura 3 podemos observar la curva de la energía específica para un caudal constante, la cual se forma cuando el área es una función del tirante y el caudal tiene un valor fijo, con esto para cualquier valor de  $E > E_{\min}$ , se tiene dos tirantes alternos.

- $Y_1 > Y_a$ . – Régimen Subcrítico ( $Fr < 1$ )
- $Y_1 < Y_a$ . – Régimen Supercrítico ( $Fr > 1$ )

**Figura 4:** Curva de la energía específica



**Fuente:** García Naranjo Manuel E. [22]

○ **Número de Froude**

El número de Froude es un numero adimensional obtenido por la relación existente entre las fuerzas gravitacionales con las fuerzas de inercia, este permite clasificar los regímenes de flujo mediante la ecuación 11.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde

- V: Velocidad media de flujo (m/s)
- g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- D: Profundidad Hidráulica (m)

➤ **Flujo Super crítico, subcrítico y crítico**

Existen varios fenómenos en los flujos que se dan cuando se combina la gravedad y la viscosidad en un canal abierto, estos pueden ser:

- **Flujo Super crítico**

Se da cuando el número de Froude es mayor a la unidad, expresando que las fuerzas de inercia sobrepasan mucho a las fuerzas de gravedad, las pendientes y velocidades del flujo son altas. [23]

- **Flujo Subcrítico**

Se da cuando el número de Froude es menor que la unidad, expresando que las fuerzas de inercia superan a las fuerzas de gravedad, las pendientes y velocidades del flujo son bajas. [23]

- **Flujo Crítico**

Se da cuando el número de Froude es igual a la unidad, en este régimen las fuerzas de inercia y de gravedad están inestables, provocando un estado intermedio y cambiante. [23]

- **Ecuación de la Conservación de la Energía**

También denominada ecuación de Bernoulli, se lo considera como el descenso de la presión del fluido en las regiones donde la velocidad es mayor.

La ecuación 12 está determinada como la igualdad entre la energía por unidad de volumen inicial y la energía por unidad de volumen final:

$$Ec_i + Ep_i + Es_i = Ec_f + Ep_f + Es_f + E_{HF} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde

Ec: Energía Cinética.

Ep: Energía Potencial.

Es: Energía Elástica.

$E_{HF}$ : Energía Térmica.

i, f: Subíndices de tiempos inicial y final. [24]

➤ **Ecuación de Cantidad de Movimiento**

Es el producto de la masa por la velocidad, se utiliza para la diferenciación de dos cuerpos con distintas masas, pero una velocidad igual. [25]

La ecuación 13 es la que determina la cantidad de movimiento:

$$p = m * v \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde

p: Cantidad de movimiento (kg m/s)

m: Masa (kg)

a: velocidad (m/s)

➤ **Ecuación de la Continuidad**

La ecuación de la continuidad es un caso particular del principio de conservación de la masa y se basa en que el caudal permanecerá constante durante toda la trayectoria

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = q \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

A: Área transversal del canal (m<sup>2</sup>)

Q: Flujo que circula en el área del canal (m<sup>3</sup>/s)

q: Flujo entrante/saliente (m<sup>2</sup>/s)

➤ **Ecuación del Momentum**

El momentum se define como el producto de la masa de un cuerpo y su velocidad, por lo que, de acuerdo con la segunda ley de movimiento, descubierta por Newton, el cambio de momentum por unidad de tiempo en el cuerpo de agua en un canal es igual a la resultante de todas las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo

$$\frac{Q\gamma}{g} (V_2 - V_1) = P_1 - P_2 \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

Q: Gasto o caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$\gamma$ : Peso específico del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

V: Velocidad en la sección 1 y 2.

P: Presiones resultantes que actúan en las dos secciones. [26]

#### **1.1.3.4 Introducción a los momentos Hidráulicos**

La inexistencia de métodos numéricos o analíticos hacen posible la creación de los modelos hidráulicos con la finalidad de atacar problemas en los que intervienen efectos como las inundaciones y posibles escurrimientos con condiciones complicadas, para esto el diseñador requiere de estudios óptimos con posibles escenarios que puedan ocurrir y así analizar los cambios necesarios antes de empezar las obras.

Algunas de las ventajas de este tipo de modelos es la obtención de curvas o graficas del funcionamiento de ciertos elementos o caracteres de las obras para las diferentes condiciones que se presenten, también la capacidad didáctica es una ventaja importante, gracias a estos se pueden recrear los escenarios con características de escurrimiento que pueden darse con el paso del tiempo y que las personas puedan imaginarse en los casos más probables dependiendo los estudios realizados en el área de construcción de la obra y las estadísticas de los fenómenos físicos que se puedan producir por épocas. [27]

##### **1.1.3.4.1 Análisis Dimensional (Modelos CFD)**

Un modelo es una estructuración esquematizada de un elemento real, se los realiza con una ampliación o una reducción de su tamaño en relación con el prototipo o elemento real dependiendo su estudio.

La función de estos modelos es analizar la obra o construcción y determinar los posibles fallos o daños que puedan sufrir ante diferentes escenarios que puedan darse

en la realidad, esto evita el colapso de estas por su mal diseño o falta de confiabilidad frente a escenarios riesgosos, provocando pérdidas económicas.

La mecánica de fluidos computacional (CFD), ayuda a determinar mediante el análisis dimensional características como la capacidad hidráulica, reducciones de pérdidas de carga, así como realizar un buen diseño de puentes, estructuras de embalse, presas y en nuestro caso, a conocer la mejor eficiencia ante un fenómeno de escorrentía para un sistema de drenaje.

El análisis dimensional se produce mediante la aplicación y resolución de ecuaciones empíricas que el programa o software comparan con resultados de modelos hidráulicos con características similares ya creadas, con el fin de realizar un ajuste en su diseño antes de su construcción.

Para la presente investigación se realizará un modelo en 3D en uno de los programas más actualizados para el modelado de fluidos.

#### **1.1.3.4.2 Diferencias entre modelos físicos y numéricos**

Como lo dice la teoría, un modelo físico es una representación a escala, una maqueta, por decirlo de un modo más simple. Mientras que el modelo numérico, también se lo considera como una representación, la diferencia es que esta utiliza comandos basándose en fórmulas matemáticas que permiten recrear el comportamiento de la obra con diferentes escenarios por medio de simulacros de fenómenos que puedan ocurrir. [28]

La combinación de los dos modelos, tanto físico como numérico, acercan mas al proyecto a encontrar la mejor efectividad para su operación, pues estos son complementarios entre sí, además que disminuyen tiempos y costos en su construcción, lo cual resulta beneficioso en obra.

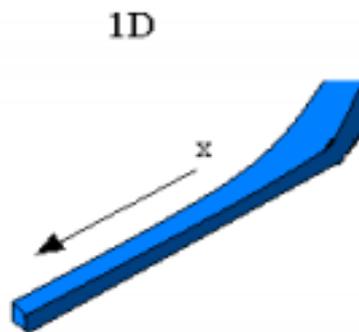
## **Tipos de modelos numéricos (1D, 2D, 3D)**

Los modelos numéricos se los asume en base a las dimensiones que prevalecen sus características, dentro de estas se pueden encontrar 3 tipos

- **Unidimensionales (1D)**

En los modelos unidimensionales (1D) prevalece una sola dimensión sobre las otras dos, esta es la longitudinal a lo largo del eje del río o canal, tomando en cuenta la hidráulica y topografía en toda la sección, es decir toda la sección está determinada por un único valor medio.

**Figura 5:** Modelo Hidráulico Unidimensional

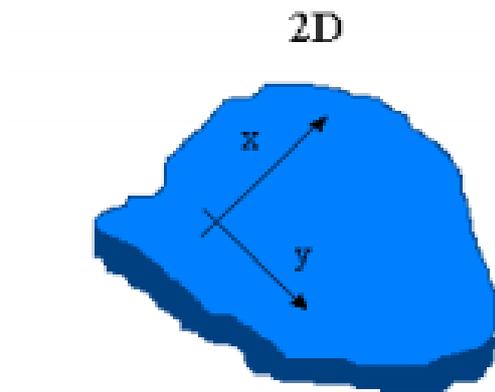


**Fuente:** Modelación Bidimensional (Biblioteca UDEP)

- **Bidimensionales (2D)**

Los modelos bidimensionales (2D) prevalecen las variaciones en las dos dimensiones del plano horizontal. Es mayormente usado para cálculos de flujos muy extendidos, donde la variación de velocidad es pequeña, su cambio con el unidimensional se lo enfoca tanto en el tratamiento de los datos, la discretización de la geometría y la asignación de condiciones iniciales y de contorno.

**Figura 6:** Modelo Hidráulico Bidimensional.

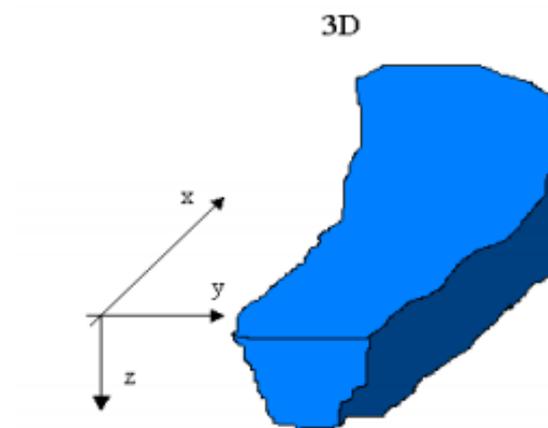


**Fuente:** Modelación Bidimensional (Biblioteca UDEP)

- **Tridimensional (3D)**

Los modelos tridimensionales (3D) se consideran los más completos para la modelación, ya que abarcan la mayor cantidad de características e información sobre el diseño, permitiendo el cálculo de todo el elemento espacialmente y para introducirlo en el campo práctico [22] MR

**Figura 7:** Modelo Hidráulico Tridimensional.



**Fuente:** Modelación Bidimensional (Biblioteca UDEP)

#### **1.1.3.4.3 Método de elementos finitos**

El método de elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos, en donde un elemento se divide en un número finito de partes, denominados “elementos”, que son unidos con sus adyacentes por puntos de unión llamados “nodos”.

Este sistema se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto, este cambio es denominado como “Discretización”. Su resultado determina el comportamiento en el interior de cada elemento basándose en la interpolación de los valores conocidos.

Mientras más un modelo se aproxime a la realidad, más precisas serán las soluciones que proporcione y más alto será el coste de análisis.

#### **1.1.3.4.4 Método de Volúmenes Finitos**

Este método es una herramienta utilizada en la actualidad para problemas hidrodinámicos, en donde se analiza los efectos de turbulencia.

Se los realiza implementando un tipo de mallado, y debido a su facilidad se impone la flexibilidad geométrica, resolviendo las ecuaciones en forma integral, por medio de una discretización muy intuitiva por las leyes físicas.

### **1.1.4 Hipótesis**

#### **1.1.4.1 Hipótesis alterna**

La geometría de sumideros de agua lluvia, pendiente longitudinal y transversal de la vía y caudal de escorrentía superficial representados en un modelo numérico influye en la eficiencia de captación de aguas de escorrentía y drenaje.

#### **1.1.4.2 Hipótesis nula**

La geometría de sumideros de agua lluvia, pendiente longitudinal y transversal de la vía y caudal de escorrentía superficial representados en un modelo numérico no influye en la eficiencia de captación de aguas de escorrentía y drenaje.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar la eficiencia hidráulica en la captación de agua en sumideros de aguas lluvia tipo t45 con modificación a rejillas circulares utilizado en elevación y depresión en vías urbanas mediante la aplicación de un modelo numérico computacional.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar varios modelos numéricos de sumideros en base a la eficiencia hidráulica y compararlos con el prototipo real.
- Insertar nuevos parámetros geométricos en la modificación de sumideros que actualmente se utilizan por la normativa actual.
- Comparar la eficiencia hidráulica de los sumideros modificados en relación con las investigaciones previas realizadas.

## CAPÍTULO II.-

### 2 METODOLOGIA

#### 2.1 Materiales y Equipos

##### **Software de modelación numérica para mecánica de fluidos.**

Para lograr los objetivos que nos propusimos en un inicio, se utilizará un software que aplica la dinámica de fluidos, el mismo que se considera como una herramienta computacional que permite el uso de métodos que simulan y resuelven problemas relacionados con la mecánica de fluidos, generalmente en laminas libres o sin obstáculos que los tornen turbulentos. [29]

Este tipo de software no solamente hace posible su uso en el campo hidráulico, sino que también permite simular los comportamientos producidos en áreas marítimas. Este software hace que el análisis tridimensional de un escenario se resuelva mediante la aplicación de técnicas de discretización y métodos de cálculo a través de elementos y volúmenes infinitos.

Debido al avance de la tecnología y al desarrollo que se produce por este tipo de modelos numéricos en las simulaciones de flujo, ha existido un incremento sustancial de la capacidad de las computadoras para la resolución de los modelos según su dimensionalidad.

Para nuestro estudio se resolverá el modelo de forma tridimensional. [30]

Para la resolución a nuestro proyecto utilizaremos la discretización utilizada en el método de “Volúmenes Finitos”, es decir que se discretizará un elemento en sus tres dimensiones (x, y, z).

El método de Volúmenes finitos asocia un volumen finito local a cada elemento, para luego aplicar la ley de integrales y lograr su resultado. Este método es utilizado debido a su sencillez, así como la facilidad de resolución dependiendo del mallado.

A mayor cantidad de Subdominios, mayor coste computacional y resultados más exactos.

## **2.2 Métodos**

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

#### **➤ Investigación exploratoria**

Con los estudios previos, se analizará los modelos de sumideros tipo T45 realizando una modificación en su diseño, intercambiando la geometría de sus rejillas. Para ello tomamos como muestra los modelos que se sugiere la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y utilizamos los datos pluviométricos del INHAMI como características principales.

#### **➤ Investigación Correlacional**

Los resultados obtenidos en esta investigación utilizando los datos pluviométricos del INHAMI como características principales permitirán analizar las características hidráulicas de los modelos ejecutados por el software de mecánica de fluidos y compararlos con los resultados tomados de investigaciones previas realizadas con la construcción de modelos a escala.

#### **➤ Investigación Descriptiva**

La determinación de la eficiencia en los sumideros con la modificación realizada en su geometría ocupando software de mecánica de fluidos, con los datos de investigaciones anteriores es la principal finalidad de esta investigación, para posteriormente realizar una comparación con el modelo físico a escala que se realizó en una investigación anterior.

#### **➤ Investigación Explicativa**

Resulta importante el conocimiento de las características del escenario tanto físico como hidráulico de los datos de caudales, velocidades y elementos geométricos de la vía para la determinación de la eficiencia hidráulica utilizando los datos del análisis computacional y de los datos de modelos físicos.

## 2.2.2 Población y Muestra

### 2.2.2.1 Población

El resultado que se da al unir las pendientes longitudinales y transversales, forman un conjunto de 36 combinaciones en porcentaje que se utilizan para determinar las pendientes del suelo para los escenarios propuestos para nuestro estudio. Estas combinaciones se determinan en la Tabla 11.

**Tabla 11:** Combinaciones de pendientes.

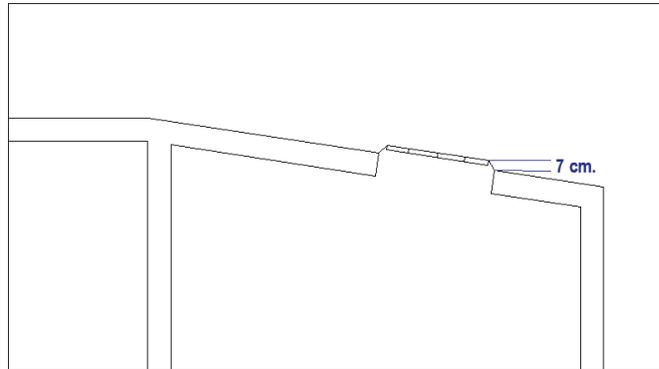
<b>Pendiente transversal</b>	<b>Pendiente Longitudinal</b>	<b>Combinaciones</b>
1.50 %	3.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [3.0] %
	4.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [4.0] %
2.0 %	5.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [5.0] %
	6.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [6.0] %
2.5 %	7.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [7.0] %
	8.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [8.0] %
4.0 %	9.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [9.0] %
	10.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [10.0] %
	12.0 %	[1.50, 2.0, 2.5, 4.0]% - [12.0] %
# Combinaciones		36

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

El primer escenario se determina como una vía con sus respectivas pendientes en las cuales el sumidero se encuentra ubicado en una altura de 7 cm de la vía, con una rampa de 45° de ángulo, tal como se observa en la figura 8.

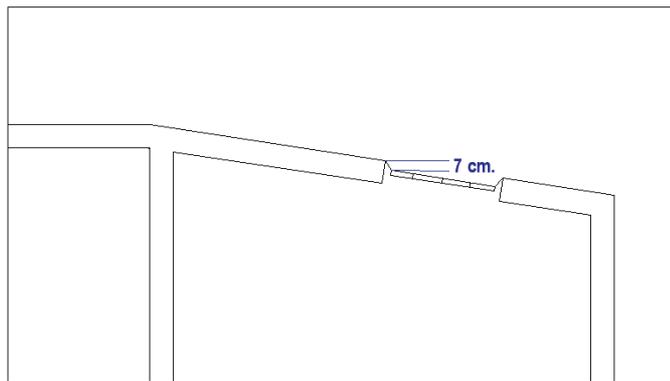
Y el segundo escenario se lo diferencia por la ubicación de la rejilla en depresión, la misma que se encuentra a 7 cm bajo la vía, con una inclinación de 45° de ángulo de depresión, tal como se observa en la figura 9.

**Figura 8:** Escenario 1. Rejilla en Elevación



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 9:** Escenario 2. Rejilla en Depresión



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

Para nuestra investigación, se propone dos diferentes escenarios según el número de sumideros tipo T45 de barrotes circulares. En la Figura 10 se observan los escenarios según el número de sumideros ocupados para nuestra investigación.

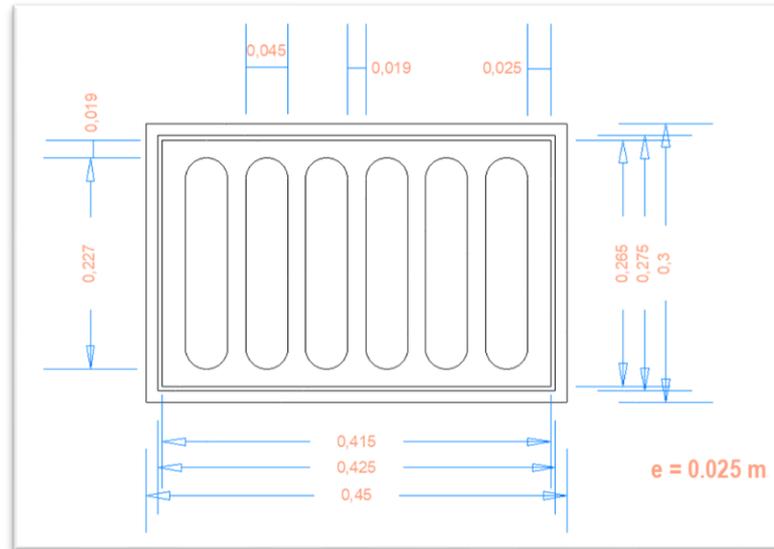
**Figura 10:** Escenarios según el número de sumideros

<p><b>Escenario 1 – S1</b></p>  <p>Sumidero T45 – Barrotes circulares</p>	<p><b>Escenario 2 – S2</b></p>  <p>Sumidero T45 – Barrotes circulares</p>
--	---

**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

Las dimensiones que se usaron en los sumideros tipo T45 con modificación en barrotes circulares utilizadas en este proyecto, se las puede observar en la figura 11.

**Figura 11:** Dimensiones de la rejilla.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

Los materiales propuestos para nuestra investigación son el acero para la rejilla, utilizando un coeficiente de rugosidad de 0.016, mientras que para la vía se utilizó concreto simple con un coeficiente de rugosidad de 0.013, estos valores son valores utilizados para todas las combinaciones propuestas para el programa.

Mientras que para la revisión del comportamiento de los flujos se utilizó valores de caudales de esorrentía que van desde los 16.91 lt/s hasta los 111.65 lt/s, utilizando 4 diferentes caudales para las combinaciones escogidas por criterio para su uso en nuestro software.

Y como resultado obtendremos un valor de caudal de captación en la rejilla, las cuales variaran dependiendo de las combinaciones de caudal, además de su estabilización dependiendo del tiempo de simulación presentado por el software.

### 2.2.2.2 Muestra

En nuestro trabajo analizaremos estas 6 combinaciones previamente escogidas a criterio personal, esto debido al tiempo de simulación en analizar por parte del software. En la Tabla 12 se explica la muestra tomada.

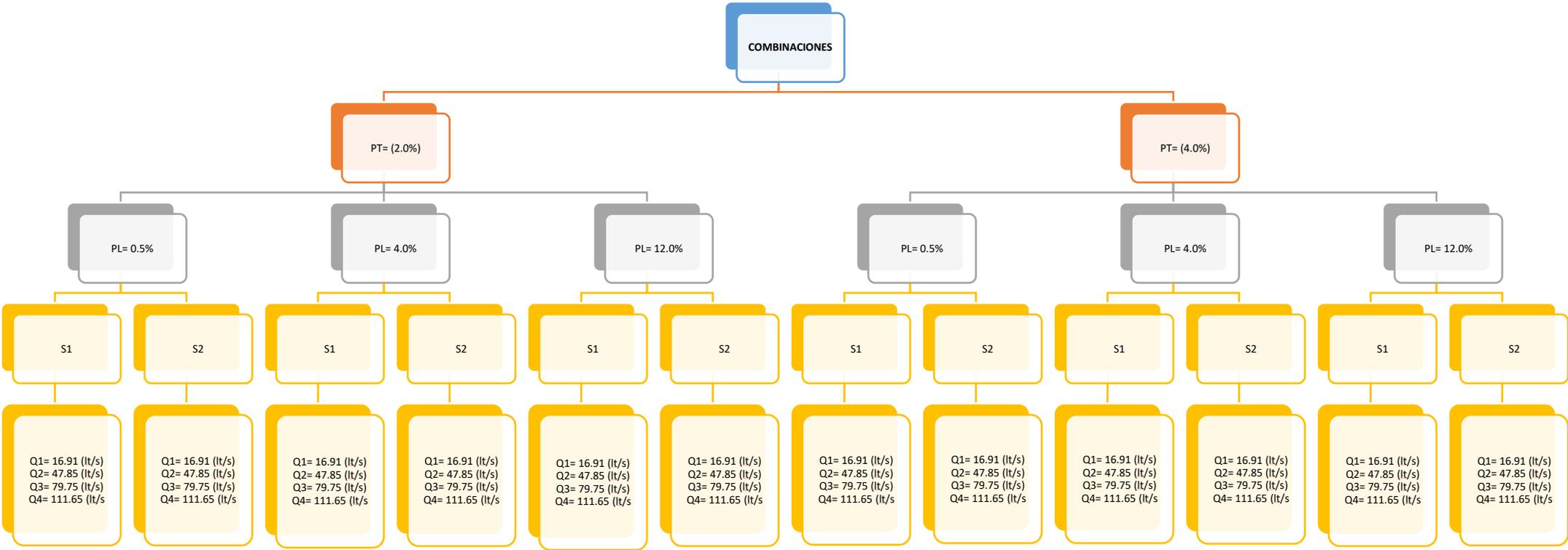
**Tabla 12:** Combinaciones de pendientes tomadas como muestra.

<b>MUESTRA</b>		
<b>PENDIENTE TRANSVERSAL</b>	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL</b>	<b>COMBINACIONES</b>
2.0 %	0.5 %	[0.5] : [2.0] %
	4.0 %	[4.0] : [2.0] %
	12.0 %	[12.0] : [2.0] %
4.0 %	0.5 %	[0.5] : [4.0] %
	4.0 %	[4.0] : [4.0] %
	12.0 %	[12.0] : [4.0] %

**Realizado por:** Jorge David Paredes IpiALES

En el siguiente diagrama, se indican las pendientes transversales y longitudinales que conforman las 48 combinaciones de pendientes que se ocuparon para las simulaciones en el software utilizando los dos escenarios propuestos y los 4 caudales previamente explicados en cada una de las combinaciones.

Figura 12: Diagrama de árbol de combinaciones de pendientes.



Realizado por: Jorge David Paredes Ipiales.

### **2.2.3 Plan de recolección de Información**

Para empezar la recolección de información, se tomó en cuenta características de investigaciones anteriores y normas que rigen en el país para la recolección de los siguientes aspectos :

- Descripción general del modelo, basándose en medidas reales.
- Determinación de la geometría para la modelación del sumidero como elemento sólido.
- Determinación de la geometría para la modelación de la vía como elemento sólido.
- Determinación de las combinaciones de pendientes para las simulaciones.
- Determinación de las condiciones para el fluido utilizado.
- Ingreso de la geometría del modelo en el software de fluidos computacionales.
- Ingreso de los coeficientes de cada elemento del modelo.
- Ingreso de los valores de caudales previamente escogidos.
- Determinación de las condiciones de mallado para los elementos del modelo.
- Calibración, comprobación del modelo con modelos de investigaciones previas.
- Determinación de las condiciones de contorno para cada uno de los modelos.
- Renderización de los casos más representativos del proceso de modelación.

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

Para el procesamiento y análisis de los datos en cuanto a la eficiencia hidráulica presentada por cada modelo realizamos:

- Cálculo de la eficiencia hidráulica en los escenarios actuales con las configuraciones en las rejillas y compararlos con un escenario antes modelado.
- Cálculo de la eficiencia hidráulica con las diferentes combinaciones de pendientes tomadas como muestras para nuestra investigación.
- Cálculo matemático aplicando mecánica de fluidos computacionales CFD.

- Recolección de datos de caudales captados por los sumideros en cada modelo.
- Comparación de escenarios con las mismas pendientes transversales con uno y dos sumideros, tanto en elevación y depresión.
- Comparación de eficiencias de captación entre modelos de uno y dos sumideros.
- Graficas de eficiencia vs caudal de cada modelo simulado en el software.
- Ecuaciones matemáticas que se ajusten al comportamiento de los resultados obtenidos en cada simulación.

## CAPÍTULO III.-

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

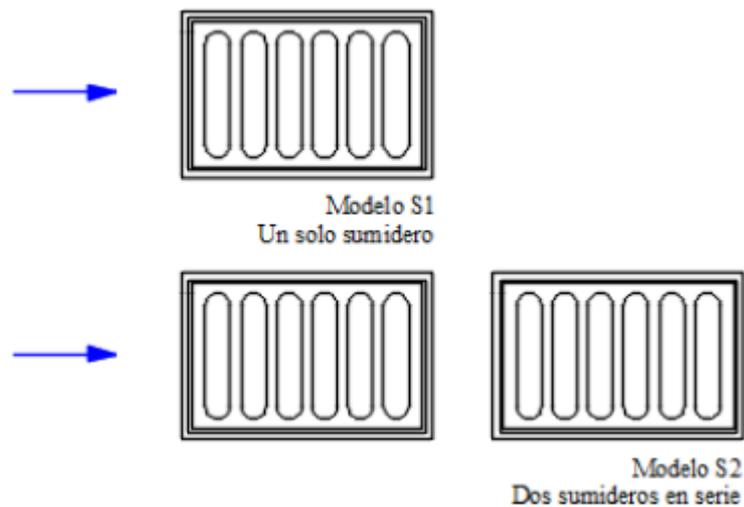
#### 3.1 Análisis de resultados

##### 3.1.1 Investigaciones previas

Para nuestra investigación, se utilizó información de investigaciones previas sobre la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales, en ellas se analizan dos tipos de escenarios donde se puede optimizar y diferenciar la eficiencia en los sumideros con sus modificaciones en sus rejillas.

En la Figura 13 se indica los dos escenarios a utilizarse en nuestra investigación previamente escogidos.

**Figura 13:** Escenarios de sumideros tipo T45

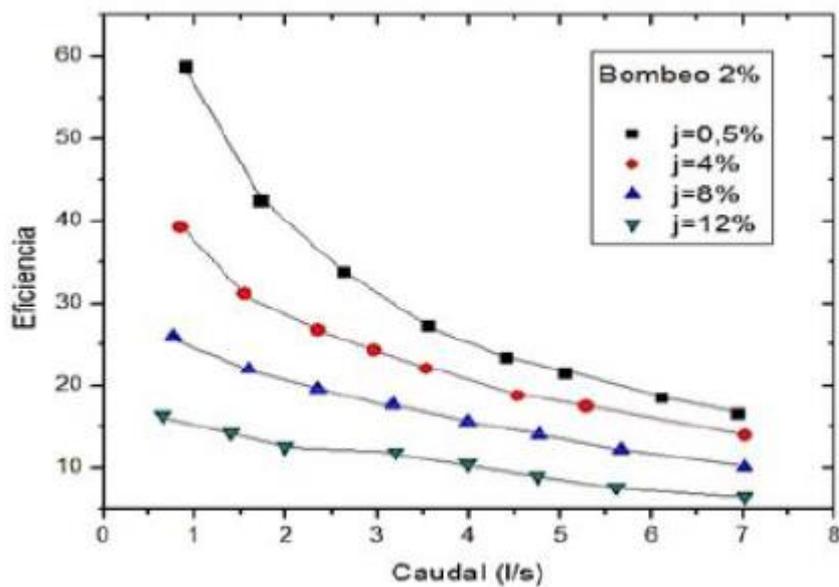


**Fuente:** Calculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales. [6]

Para el cálculo de la eficiencia se realizaron las simulaciones en el software en función a las combinaciones de pendientes transversales y longitudinales explicadas anteriormente.

En la Figura 14 observamos las curvas en donde se grafican las pendientes longitudinales (0.5; 4.0; 8.0 y 12.0 %) empleándola con una sola pendiente transversal (2.0 %), determinando así en la gráfica un comportamiento con un solo sumidero en el modelo ante la eficiencia de captación en función a su caudal de agua de escorrentía.

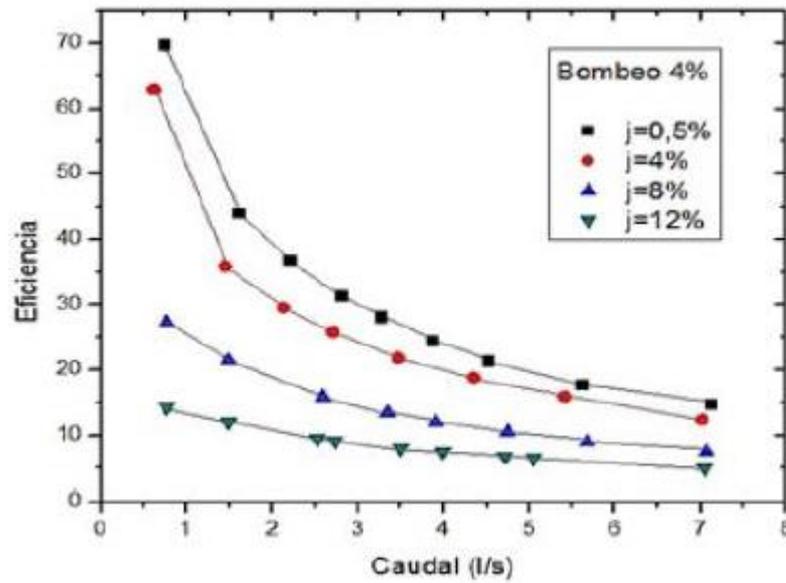
**Figura 14:** Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S1 – Bombeo 2%)



**Fuente:** Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros. [6]

En la Figura 15 observamos las curvas en donde se grafican las pendientes longitudinales (0.5; 4.0; 8.0 y 12.0 %) empleándola con una sola pendiente transversal (4.0 %), determinando así en la gráfica un comportamiento con un solo sumidero en el modelo ante la eficiencia de captación en función a su caudal de agua de escorrentía.

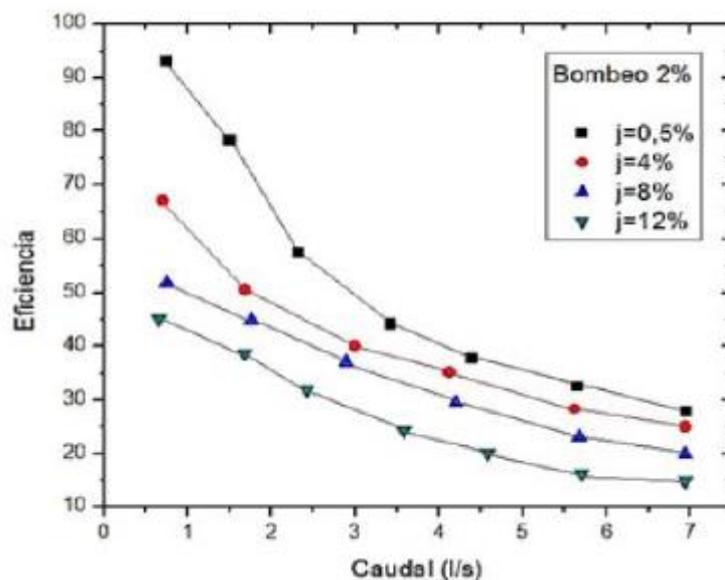
**Figura 15:** Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S1 – Bombeo 4%)



**Fuente:** Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros. [6]

En la Figura 16 observamos las curvas en donde se grafican las pendientes longitudinales (0.5; 4.0; 8.0 y 12.0 %) empleándola con una sola pendiente transversal (2.0 %), determinando así en la gráfica un comportamiento con dos sumideros colocados en serie ante la eficiencia de captación en función a su caudal de agua de escorrentía.

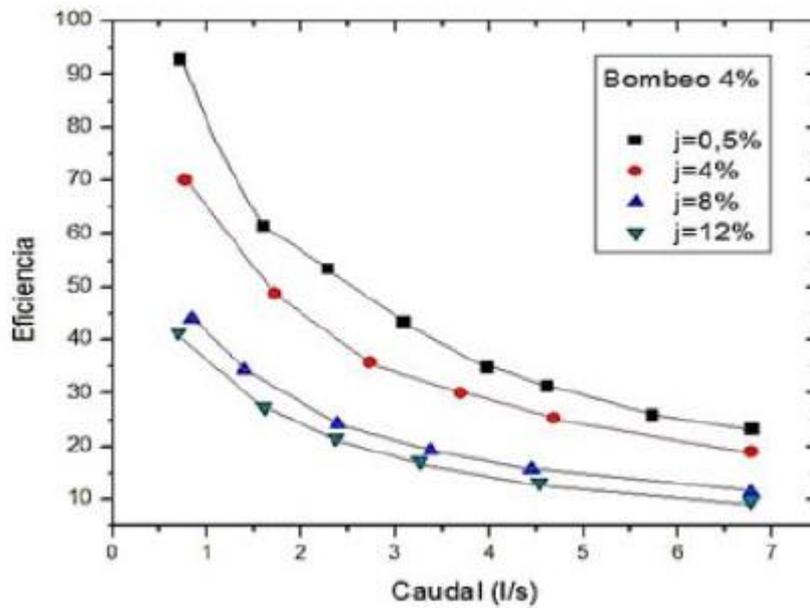
**Figura 16:** Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S2 – Bombeo 2%)



**Fuente:** Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros. [6]

En la Figura 17 observamos las curvas en donde se grafican las pendientes longitudinales (0.5; 4.0; 8.0 y 12.0 %) empleándola con una sola pendiente transversal (4.0 %), determinando así en la gráfica un comportamiento con dos sumideros colocados en serie ante la eficiencia de captación en función a su caudal de agua de escorrentía.

**Figura 17:** Eficiencia de captación Vs Caudal, (Modelo S2 – Bombeo 4%)



**Fuente:** Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros. [6]

### 3.1.2 Descripción general del modelo

Para nuestro trabajo experimental utilizamos un software de modelación para dibujar los siguientes elementos a escala real:

- Media vía con su bordillo y acera.
- Sumidero tipo T45, con modificación en los barrotes (a circulares).

Esto se realizó modelándolos con las dimensiones originales utilizadas según la normativa vigente en nuestro país.

### 3.1.2.1 Geometría de los Elementos.

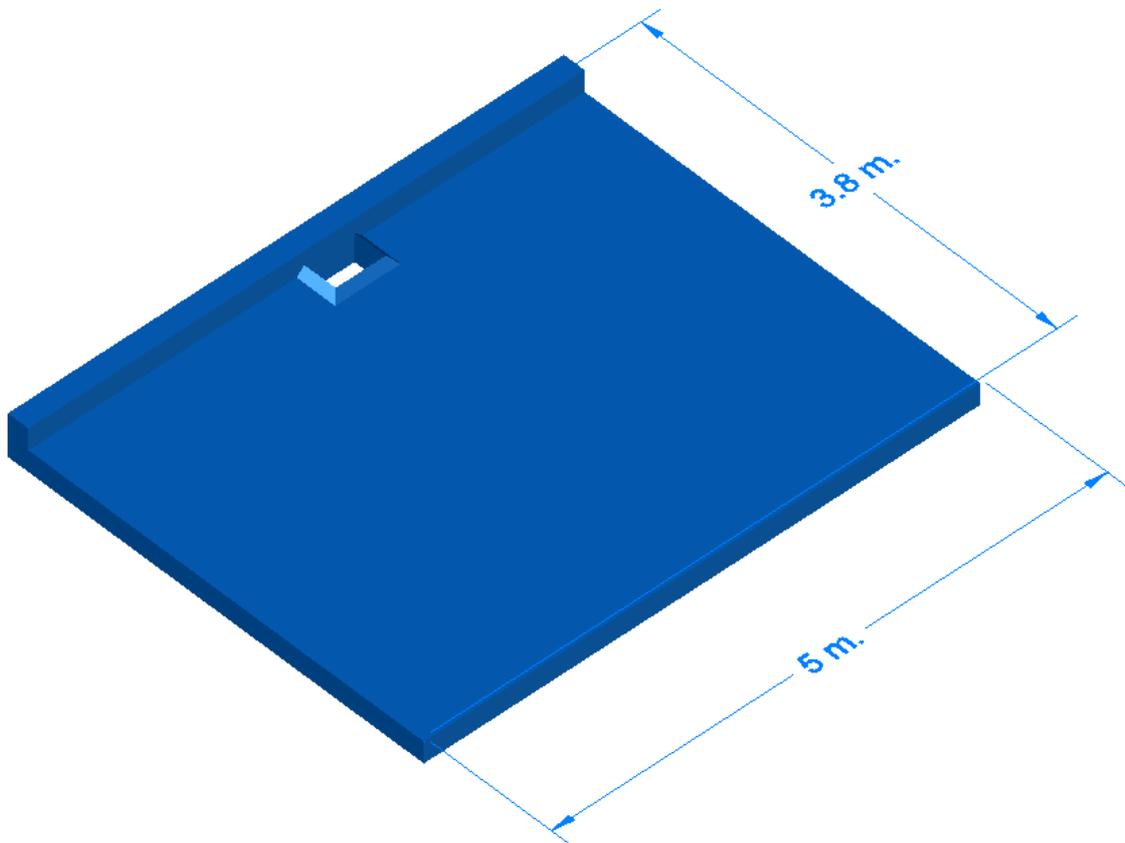
#### Media vía con bordillo y acera

Se modeló la plataforma por donde fluirá el agua de escorrentía simulando la media vía como se observa en la figura 18, en donde se realizaron para cada una de las simulaciones un cambio en la pendiente longitudinal y transversal, variando así su porcentaje de 0.5% a 12% en su longitud, mientras que en su forma transversal varia de 2% y 4%.

Se diseño la vía con las siguientes dimensiones:

- Tiene un ancho de 3.8 metros.
- Una longitud de 5 metros.
- Un espesor de 1 metro.

**Figura 18:** Media vía con diferentes pendientes transversales y longitudinales.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales.

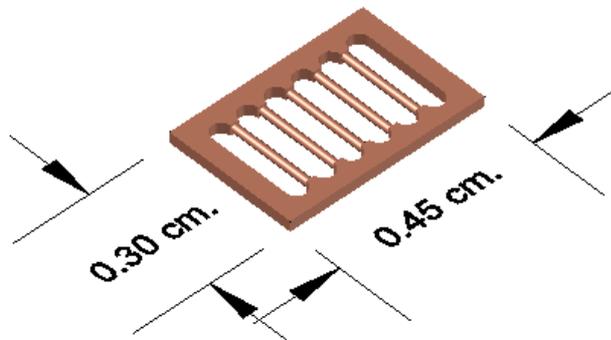
### **Sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares.**

Este elemento es el que se encarga de captar el agua que recorre por la vía, del dependerá la eficiencia de captación de agua, para ello se realizó la modificación de sus barrotes en su forma, cambiándolos a barrotes circulares.

Las dimensiones de este elemento son:

- Tiene una longitud de 45 cm.
- Un ancho de 30 cm
- El diámetro de los barrotes es de 1.9 cm.

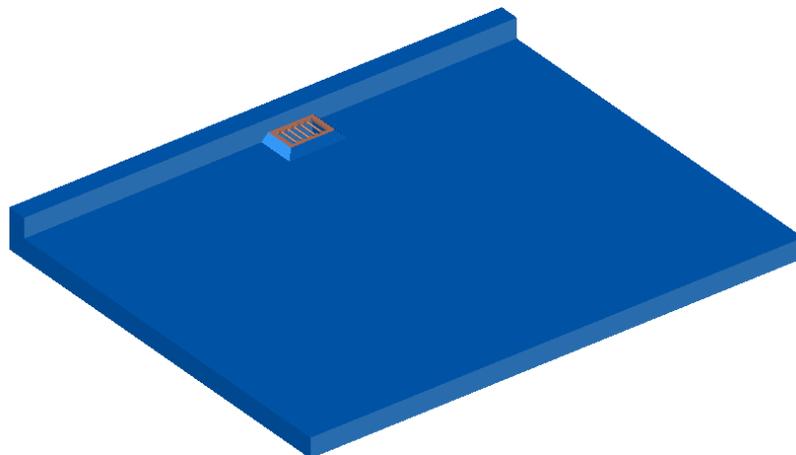
**Figura 19:** Sumidero tipo T45, con modificación a rejillas circulares.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales.

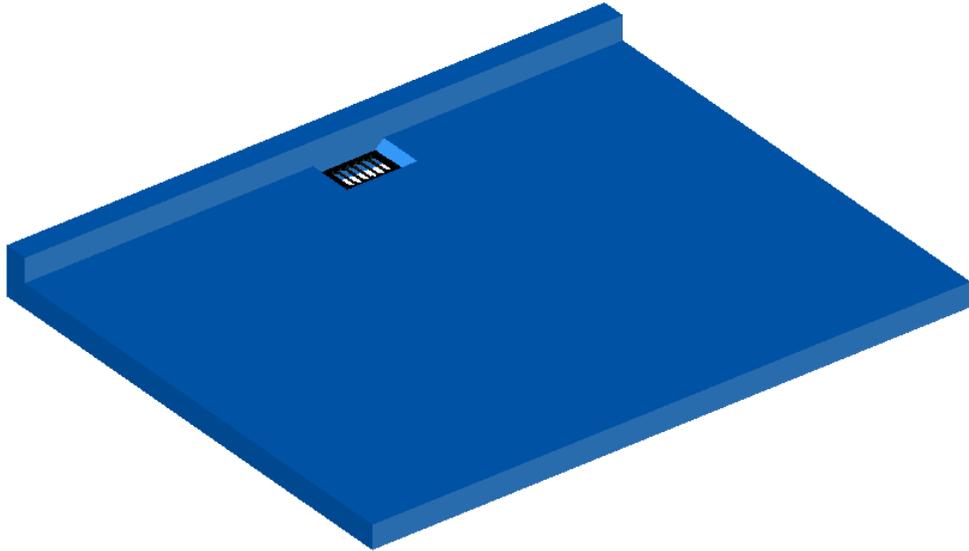
Este sumidero modificado se lo colocara junto al bordillo tal como se indica en la Figura 20, 21, 22 y 23, tanto para el modelo S1 y S2 respectivamente, colocados en elevación y depresión.

**Figura 20:** Modelo S1, con el sumidero en elevación.



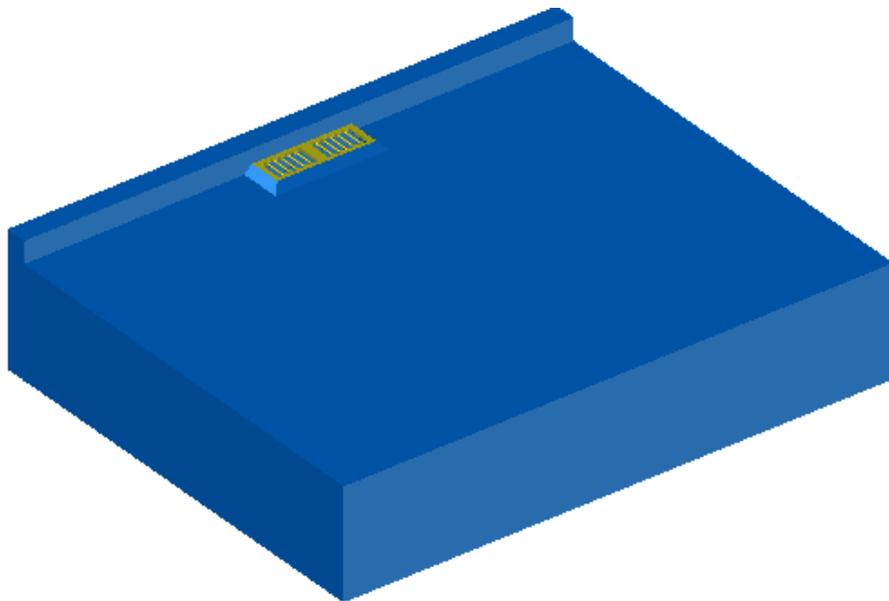
**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales.

**Figura 21:** Modelo S1, con el sumidero en depresión .



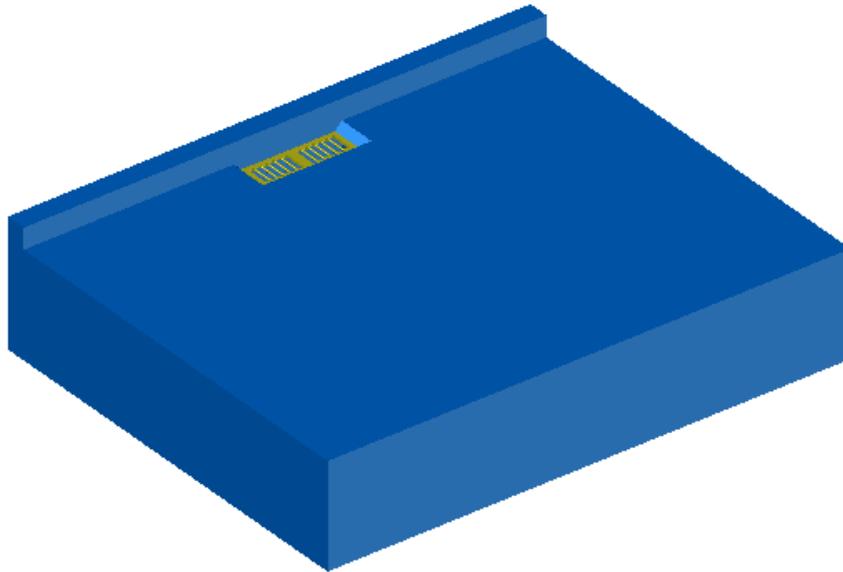
**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales.

**Figura 22:** Modelo S2, con el sumidero en elevación.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales.

**Figura 23:** Modelo S2, con el sumidero en depresión.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiates.

Para nuestra investigación se colocó la rejilla a 7 cm tanto en elevación como en depresión del nivel de la vía, con unas rampas con pendientes de  $45^\circ$ , tanto para el modelo “S1” y el modelo “S2” respectivamente.

Además, se realizaron 32 combinaciones por las variaciones de pendientes tanto longitudinal como transversalmente, y esto fue modificado en cada simulación realizada en el software de mecánica de fluidos.

**Figura 24:** Vista 3D, Pendiente transversal.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiates.

**Figura 25:** Vista 3D, Pendiente longitudinal.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales.

### 3.1.2.2 Condiciones del Fluido.

El fluido que se utilizó es agua que se encuentra a una temperatura de 20°C.

En la tabla 13 se indica el coeficiente de viscosidad utilizado para el análisis del software de mecánica de fluidos

**Tabla 13:** Viscosidad dinámica del agua en varias temperaturas.

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792
1	0,001731
2	0,001674
3	0,001620
4	0,001569
5	0,001520
6	0,001473
7	0,001429
8	0,001386
9	0,001346
10	0,001308
11	0,001271
12	0,001236
13	0,001202
14	0,001170
15	0,001139
16	0,001109
17	0,001081
18	0,001054
19	0,001028
20	0,001003
21	0,000979
22	0,000955
23	0,000933
24	0,000911
25	0,000891

**Fuente:** Hidraulica General y aplicada UTN-FRBA [25] RM.

### 3.1.2.3 Condiciones del Borde.

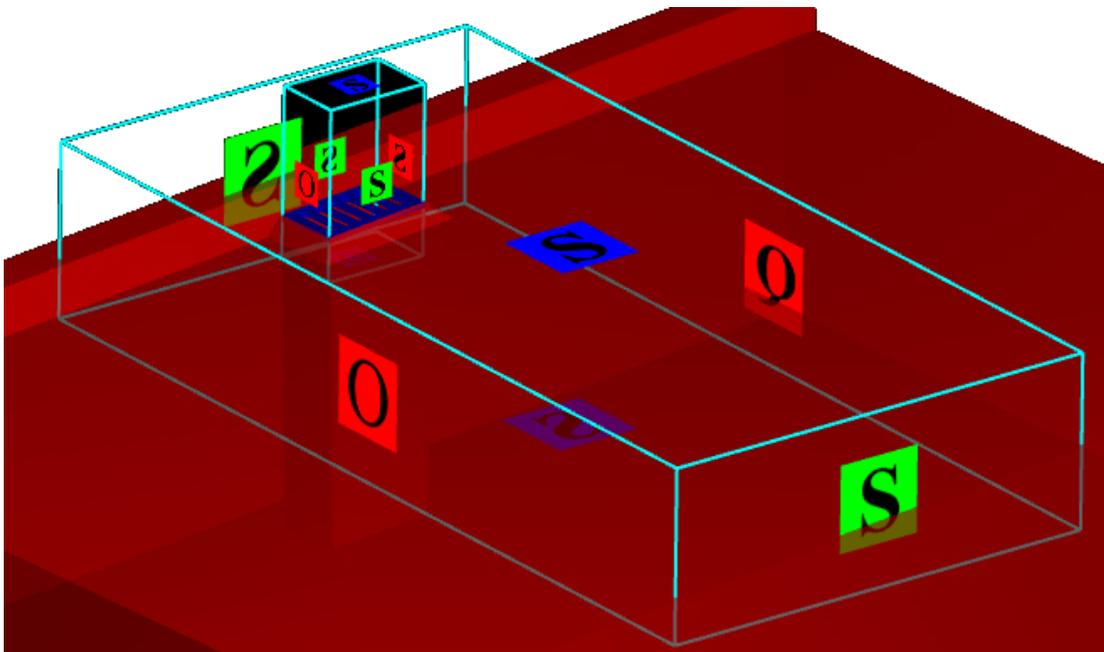
Las condiciones de contorno se asignan según el comportamiento que se realiza en cada borde o contorno de la malla de cada elemento.

Para la mayoría de los bordes del mallado asignamos simetría, pero para la salida del fluido asignamos salida de flujo, esto permite que el agua fluya libremente y se propague en función a la gravedad.

Estas condiciones propuestas se asignaron dependiendo de la disposición que tenga la vía, en donde :

- ✓ Q = Ingreso del Caudal.
- ✓ O = Salida del fluido.
- ✓ S = Simetría o continuación de las condiciones.

**Figura 26:** Condiciones de contorno en el software.

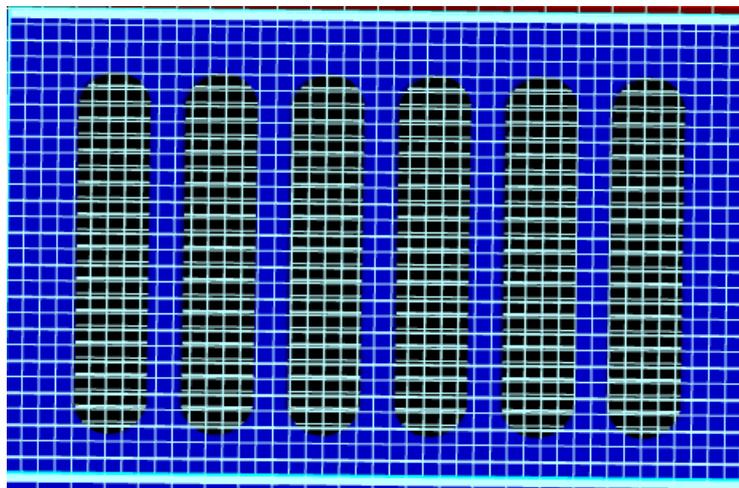
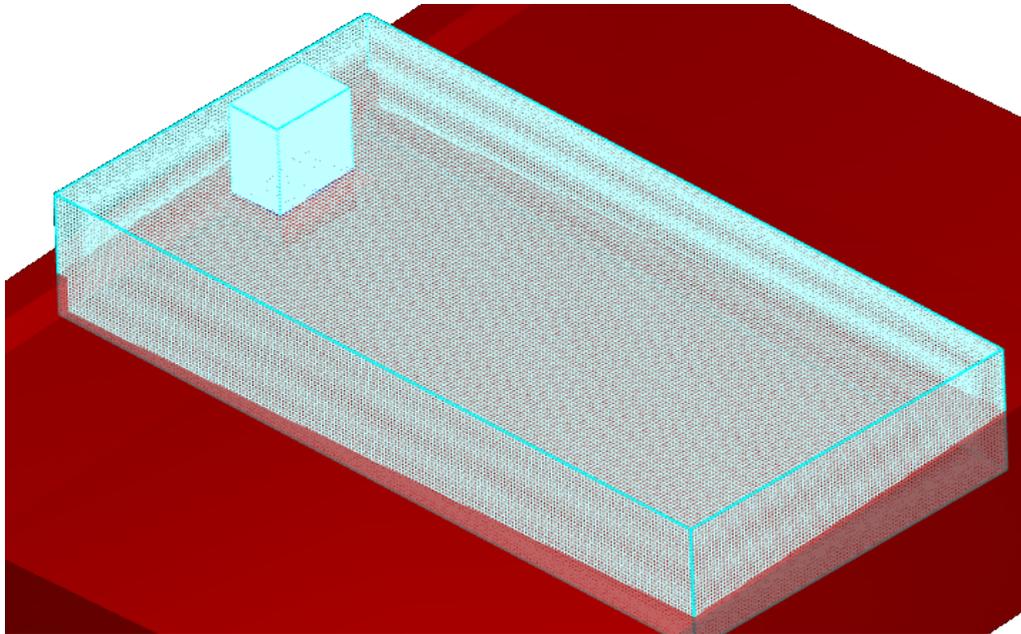


**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

### 3.1.2.4 Mallado

El mallado de los elementos se realizó de la siguiente manera: para la vía junto con el bordillo o vereda se especificó un mallado de 2 centímetros, mientras que para el sumidero tipo T45 con modificación en su rejilla se propuso un mallado de 1 centímetro, tomando en cuenta que se debe existir una simetría en la unión entre los mallados de los elementos para disminuir cualquier clase de error y reducir el tiempo de procesamiento al procesar el análisis del modelo en general.

**Figura 27:** Mallado de los elementos



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

### 3.1.2.5 Caudales

Para cada escenario realizado con las respectivas combinaciones de pendientes se ingresaron cuatro diferentes caudales, estos se tomaron de la Tesis “Modelación Hidraulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvias”

**Tabla 14:** Caudales de Ingreso para cada combinación de pendientes.

PENDIENTE TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL	ESCENARIOS	CAUDALES
2.0 %	0.5 %	S1 y S2	16.91; 47.85; 79.75; 111.65
	4.0 %		16.91; 47.85; 79.75; 111.65
	12.0 %		16.91; 47.85; 79.75; 111.65
4.0 %	0.5 %	S1 y S2	16.91; 47.85; 79.75; 111.65
	4.0 %		16.91; 47.85; 79.75; 111.65
	12.0 %		16.91; 47.85; 79.75; 111.65

**Realizado por :** Jorge David Paredes Ipiales

Se procede a la simulación de las 48 combinaciones de pendientes con sus respectivos caudales, tomando en cuenta que las características de diseño son las mismas, lo único que varía es las pendientes, tanto transversal como longitudinal, implementándolos en el escenario correspondiente.

### 3.1.3 Procesamiento y Análisis de Resultados

#### 3.1.3.1 Tiempo de simulación

El tiempo necesario para que el caudal de escorrentía se estabilice en el recorrido de nuestro modelo, será conocido como Tiempo de Simulación.

Para nuestras simulaciones se tomó un tiempo de simulación de 10 segundos, en donde encontramos que no existe una variación significativa del fluido que recorre el modelo de la simulación. Todos los modelos simulados se los realizaron con los 10 segundos. Se hizo el análisis que para cada simulación la duración del análisis fue distinta, esto debido a los cambios o modificaciones en las variables de cada escenario.

Se observó que en algunos escenarios el programa tuvo una demora de 4 a 6 horas de simulación, mientras que, cambiando algunas variables, el comportamiento del flujo en el programa y la determinación del caudal de entrada a la rejilla, se observó que el programa tuvo una demora de 12 a 18 horas en algunas simulaciones.

En la tabla 14 se detalla los valores de caudal que ingresa al sumidero en el escenario 1, realizada en la simulación de pendiente longitudinal de 12% y una pendiente transversal de 4%, además suministrando un caudal de escorrentía de 79.75 lt/s, dándonos así los siguientes resultados.

Los valores con signo negativos indican la cantidad de agua de escorrentía que ingreso en el sumidero en dicha simulación. Además, cabe recalcar que se realizó la salida de datos cada 0.1 segundos, pero para la creación de graficas Caudal Vs Eficiencia se tomaron los datos cada 0.5 segundos.

**Tabla 15:** Ejemplo de resultados de simulación en Escenario 1.

Tiempo	Caudal S. (79,75)		Sigue
0	0.000000	5	-3.903215
0.5	0.000000	5.5	-3.802435
1	-7.080430	6	-3.728020
1.5	-4.707968	6.5	-3.809145
2	-3.502454	7	-3.902043
2.5	-3.707239	7.5	-3.303311
3	-4.230407	8	-3.734576
3.5	-3.599650	8.5	-3.264547
4	-3.725319	9	-3.916441
4.5	-4.178371	9.5	-3.867020
		10	-4.314667

**Continua**

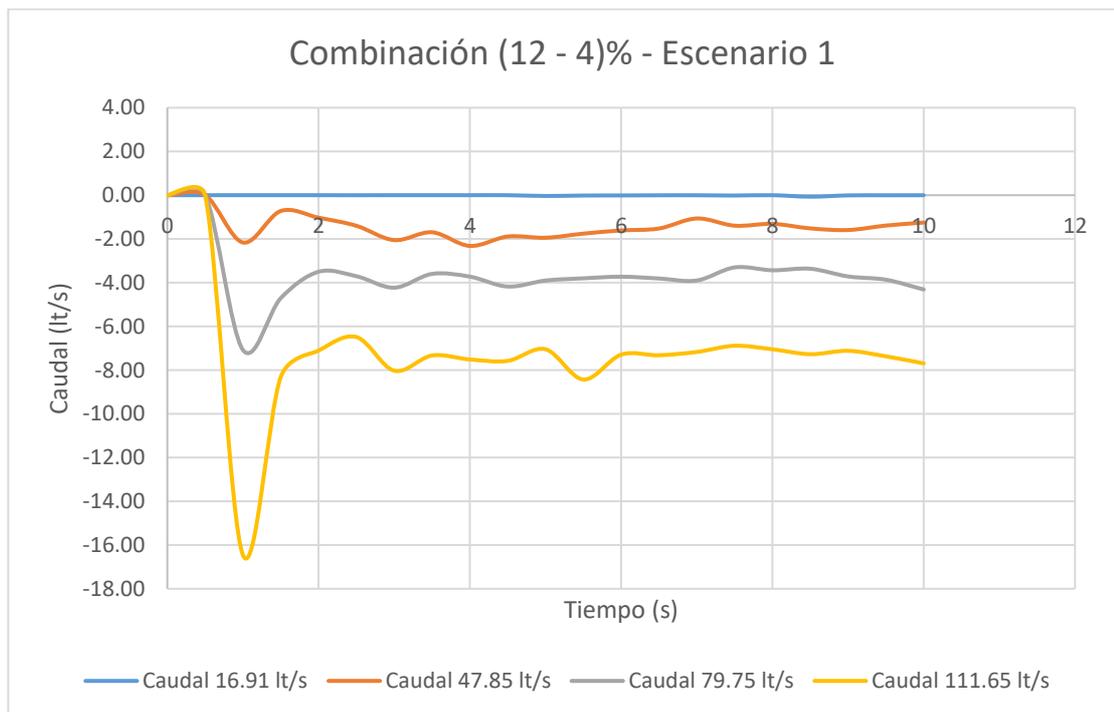
**Realizado por :** Jorge David Paredes Ipiales

### 3.1.3.2 Calibración del modelo

Para la determinación del caudal de escorrentía que ingresa a la rejilla en cada una de las simulaciones se determinó mediante graficas el tiempo que toma el flujo de captación en estabilizarse, dándose así que a partir del segundo 6 se observa que la curva empieza a tener un flujo estable, sin picos ni valles en su forma, es decir que no existe un cambio drástico y se vuelve un flujo constante de entrada a la rejilla.

En la siguiente figura se presenta una gráfica de tiempo vs caudal indicando la estabilización de flujo en las curvas.

**Figura 28:** Estabilización del flujo de captación (Grafica Caudal vs Tiempo)



**Realizado por:** Jorge David Paredes IpiALES

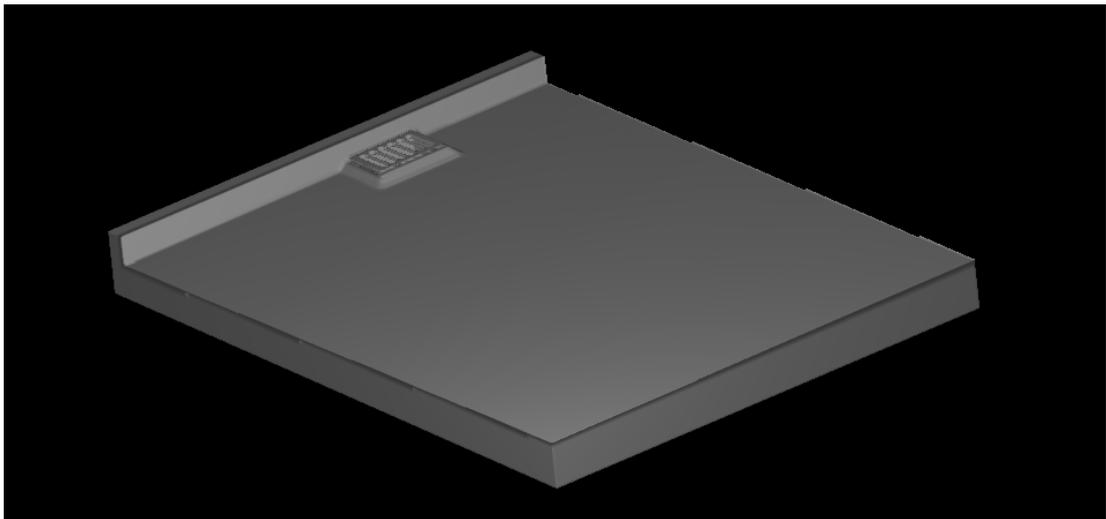
### 3.1.3.3 Renderización del proceso de modelación.

El software escogido para la resolución de las combinaciones de pendientes ante un fenómeno de recolección superficial de agua de escorrentía nos da la opción de observar una renderización de los elementos modelados, así como las gráficas

representativas donde se muestra el comportamiento del agua ante las modificaciones en la colocación y forma de la rejilla.

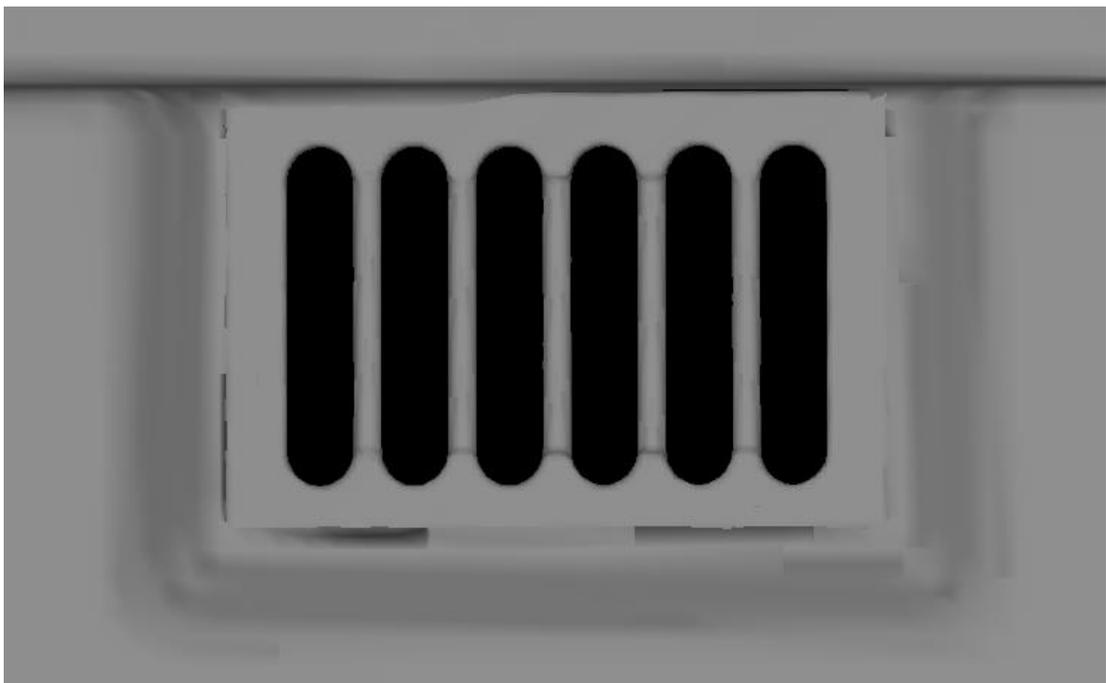
En las siguientes graficas se observan los casos más representativos de las simulaciones realizadas.

**Figura 29:** Renderización de la vía y la rejilla.



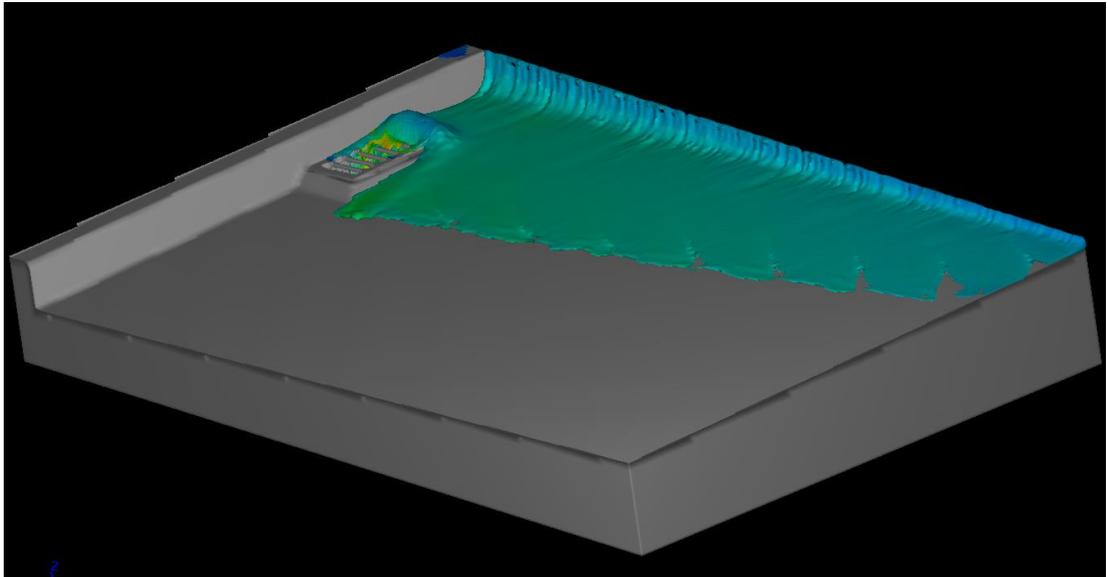
**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 30:** Renderización de la rejilla.



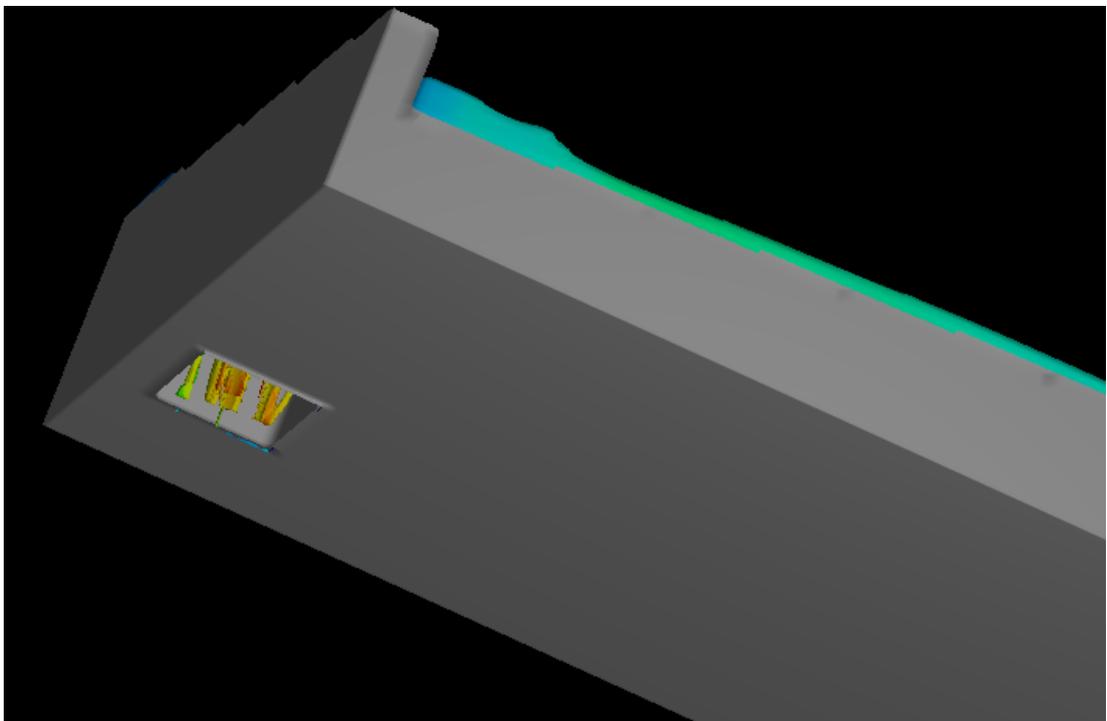
**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 31:** Fenómeno de salto hidráulico por la colocación de la rejilla en elevación.



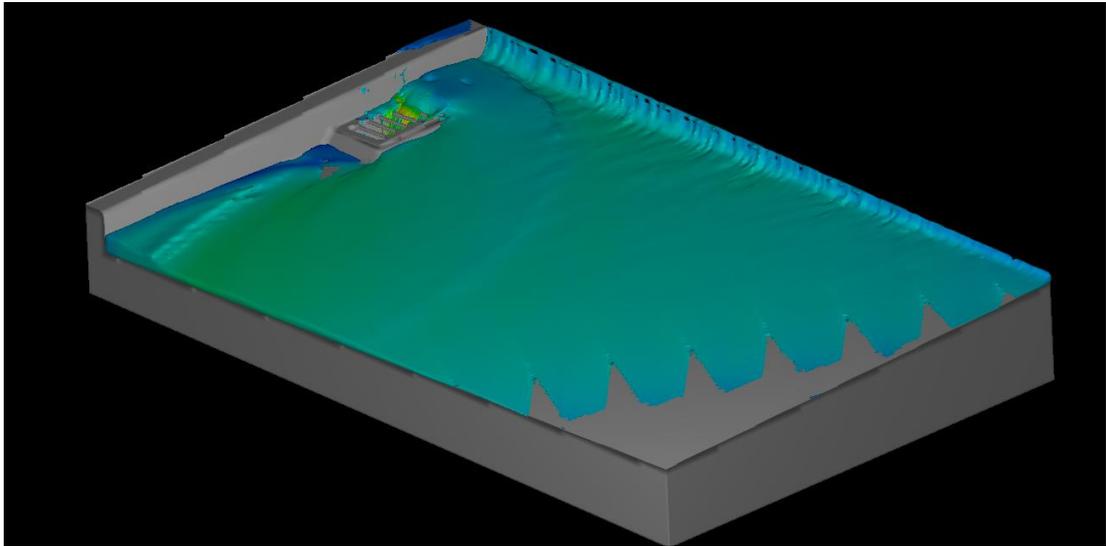
**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 32:** Continuidad del transcurso de agua en la vía y por la rejilla



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 33:** Continuidad del fluido de escorrentía e ingreso al sumidero colocado en elevación.



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

#### **3.1.3.4 Calibración del modelo físico y modelo numérico**

Para establecer resultados verídicos y que se acogen más a la realidad que vivimos hoy en día en cuestión de la recolección de aguas de escorrentía por los sistemas de drenaje, se realizó una comparación del modelo numérico realizado en software con el modelo físico propuesto antes por otros estudiantes en antiguas investigaciones.

Se determinó el comportamiento similar de dichos modelos por una sola combinación de pendientes, el resto de las semejanzas se omitieron debido al sistema de medición utilizado en las investigaciones anteriores para la fabricación del modelo físico.

Esta eficiencia se determinó con el caudal de ingreso y los factores alfa y beta según la siguiente fórmula:

$$E = \beta * Q_{ingreso}^{-\alpha} \quad \text{Ecuación 16}$$

Para ello, los factores de alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) se tomaron de la investigación “Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales”, indicadas en la siguiente tabla.

**Tabla 16:** Parámetros para el sumidero (Escenario 1)

	<b>j= 0,5%</b>	<b>j= 4%</b>	<b>j= 12%</b>
<b>i= 2%</b>	$\alpha= 0,68$	$\alpha= 0,65$	$\alpha= 0,47$
	$\beta= 60,31$	$\beta= 47,19$	$\beta= 13,91$
	$R^2\text{adj}= 0,999$	$R^2\text{adj}= 0,998$	$R^2\text{adj}= 0,989$
<b>i= 4%</b>	$\alpha= 0,56$	$\alpha= 0,38$	$\alpha= 0,19$
	$\beta= 56,30$	$\beta= 31,55$	$\beta= 14,42$
	$R^2\text{adj}= 0,997$	$R^2\text{adj}= 0,998$	$R^2\text{adj}= 0,998$

**Fuente:** Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales

Los datos de caudal de inicio y los resultados de las eficiencias fueron reducidos en escala 1:4 para su comparación.

Para el cálculo de la eficiencia del modelo realizado en el software se divide el valor del caudal captado por la rejilla, para el caudal de inicio y este se expresó en porcentaje

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Caudal captado}}{\text{Caudal de ingreso}} * 100 \quad \text{Ecuación 17}$$

En la Tabla 16, se describe los valores de los datos y resultados con una combinación de pendientes escogida para realizar la comparación de resultados del modelo físico con el modelo numérico, descrito en un escenario 1. (Con una sola rejilla)

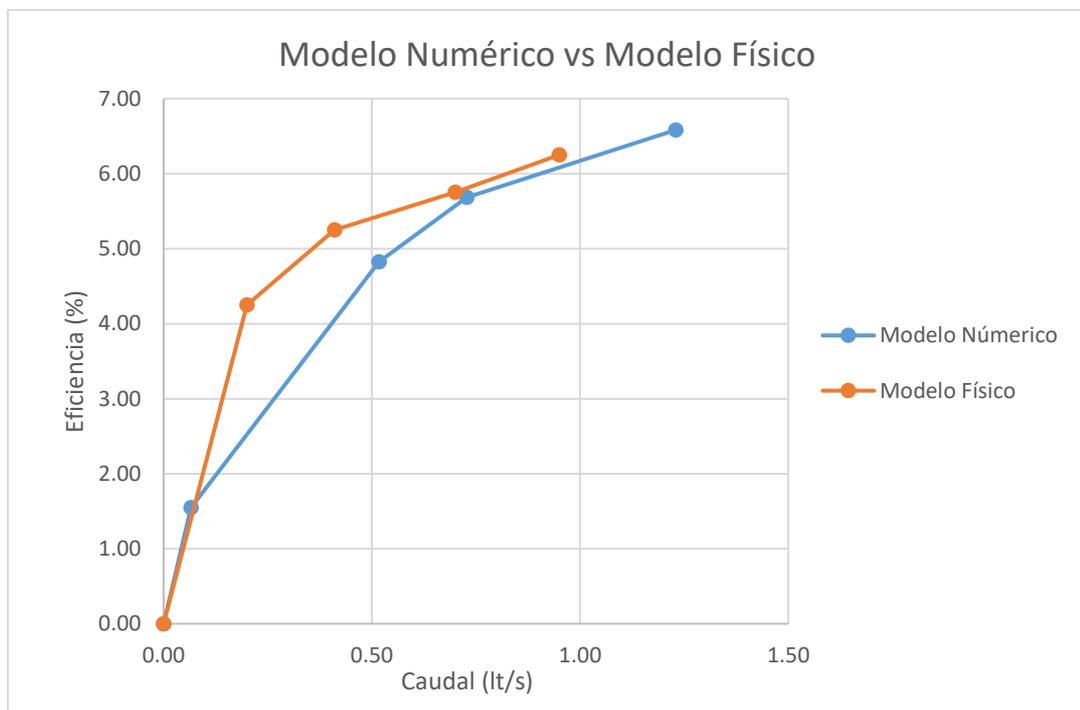
**Tabla 17:** Datos y resultados del Modelo Físico y Numérico

<b>Pendientes</b>		<b>Q Ingreso matemático (lt/s)</b>	<b>Q Ingreso físico (lt/s)</b>	<b>Eficiencia</b>	
<b>Transversal</b>	<b>Longitudinal</b>			<b>Modelo Numérico</b>	<b>Modelo Físico</b>
		0.00	0.00	0.00	0.00
2.00%	4.00%	0.07	0.20	1.55	4.25
		0.52	0.41	4.32	5.25
		0.73	0.70	5.69	5.75
		1.23	0.95	6.58	6.25

**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

Estos resultados de la tabla 16, reflejan que la curva del modelo físico se asemeja a la del modelo numérico, siendo así que los 2 modelos tienen a tener resultados parecidos, pero siempre tomando en cuenta que el modelo numérico llega a tener una mayor precisión a los hechos que suceden en la realidad por las condiciones y los coeficientes de los elementos utilizados, mientras que en el modelo a escala no se obtiene un 100% de efectividad en las condiciones del fenómeno.

**Figura 34:** Comparación del modelo numérico y el modelo físico



**Realizado por:** Jorge David Paredes IpiALES

### 3.1.3.5 Curvas de Eficiencia del modelo numérico computacional

Las simulaciones realizadas utilizando las combinaciones escogidas en los modelos numéricos de las vías, con la modificación en las rejillas a barrotes circulares nos arrojaron los siguientes resultados de eficiencias, explicados en las siguientes tablas y graficas.

✓ **Escenario 1 – Un sumidero en elevación**

En la tabla 17, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 2% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

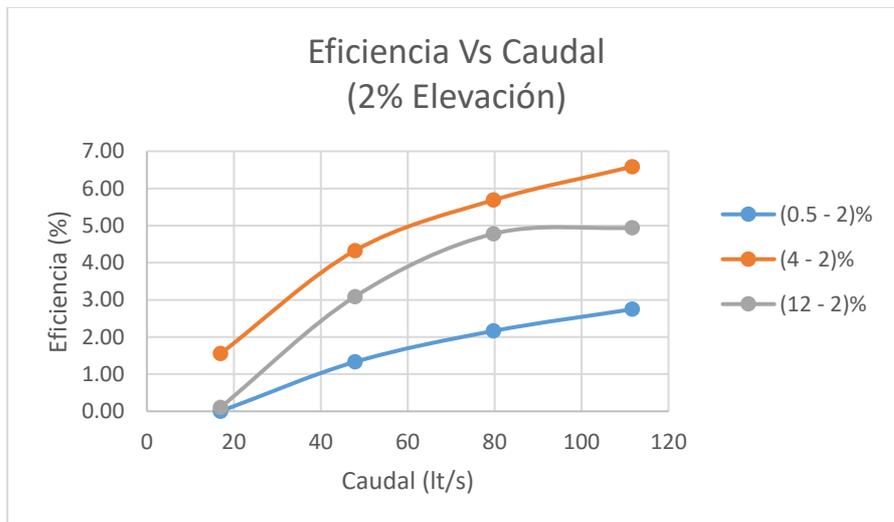
**Tabla 18:** Eficiencia de Sumidero modificado con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	2.00%	0.00000	1.549665	0.102694
47.85		1.32929	4.323724	3.085976
79.85		2.16323	5.685880	4.777826
111.65		2.74653	6.583217	4.941409

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en elevación, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 4.0%, seguida de la eficiencia de 12.0% y la eficiencia mas baja se da con la pendiente de 0.5%.

**Figura 35:** Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

✓ **Escenario 1 – Un sumidero en depresión**

En la tabla 18, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 2% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

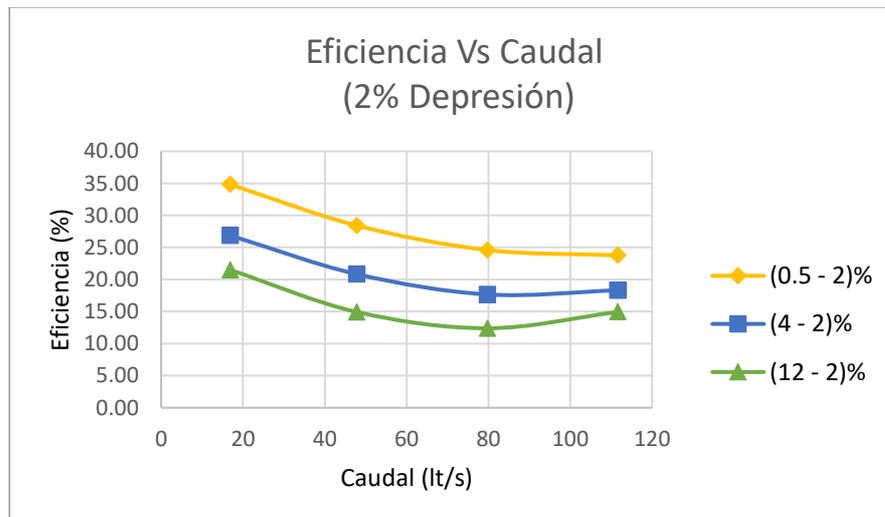
**Tabla 19:** Eficiencia de Sumidero modificado con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 2%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	2.00%	34.80949	26.856339	21.494143
47.85		28.42042	20.835273	14.931654
79.85		24.59654	17.667275	12.398438
111.65		23.76662	18.319684	14.940134

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en depresión, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 0.5%, seguida de la eficiencia de 4.0% y la eficiencia más baja se da con la pendiente de 12.0%.

**Figura 36:** Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

✓ **Escenario 1 – Un sumidero en elevación**

En la tabla 19, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 4% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

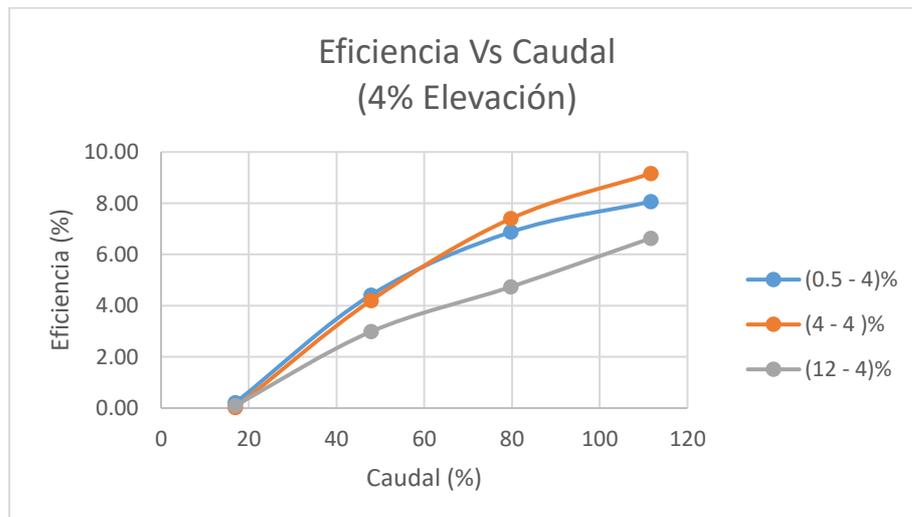
**Tabla 20:** Eficiencia de un sumidero modificado con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	4.00%	0.20803	0.018455	0.102694
47.85		4.41506	4.200229	2.984008
79.85		6.87560	7.398690	4.735870
111.65		8.06029	9.160592	6.633887

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en elevación, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 4.0%, seguida de la eficiencia de 0.5% y la eficiencia más baja se da con la pendiente de 12.0%.

**Figura 37:** Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

✓ **Escenario 1 – Un sumidero en depresión**

En la tabla 20, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 4% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

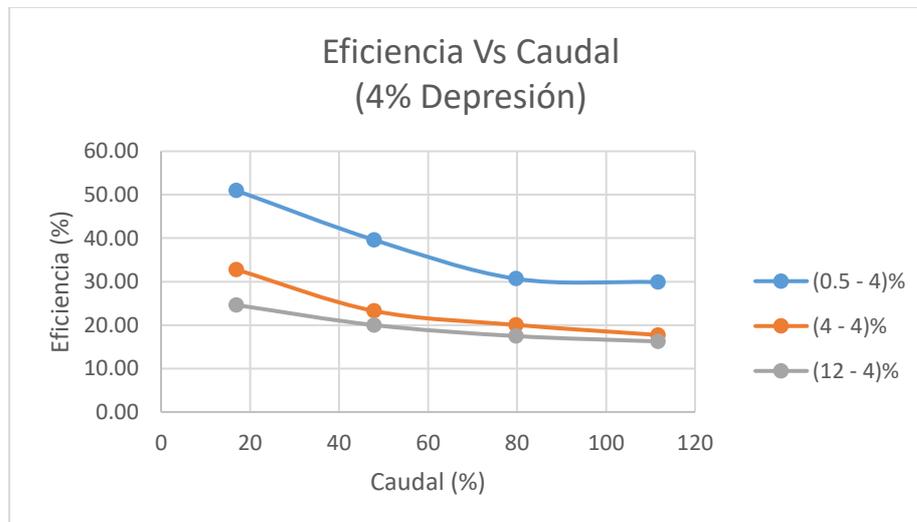
**Tabla 21:** Eficiencia de un sumidero modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	4.00%	50.95900	32.769582	24.615461
47.85		39.61172	23.262990	20.002575
79.85		30.66856	20.042364	17.470713
111.65		29.89410	17.717556	16.235403

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en depresión, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 0.5%, seguida de la eficiencia de 4.0% y la eficiencia más baja se da con la pendiente de 12.0%.

**Figura 38:** Curvas de eficiencia de sumidero T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

✓ **Escenario 2 – Dos sumideros en elevación**

En la tabla 21, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 2% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

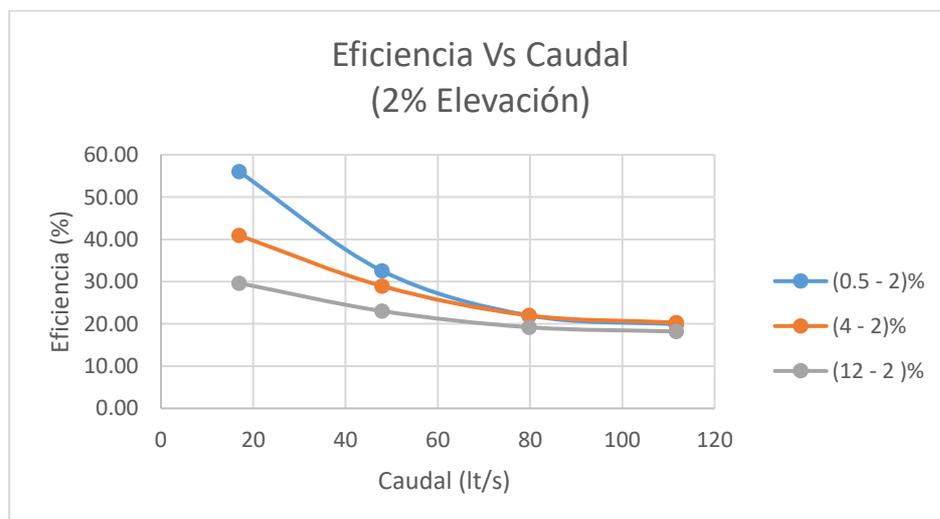
**Tabla 22:** Eficiencia de dos sumideros modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 2%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	2.00%	56.03860	40.931298	29.645502
47.85		32.60070	28.981979	23.047427
79.85		21.99031	22.001231	19.202926
111.65		19.88757	20.306479	18.200583

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en elevación, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 0.5%, seguida de la eficiencia de 4.0% y la eficiencia más baja se da con la pendiente de 12.0%.

**Figura 39:** Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

✓ **Escenario 2 – Dos sumideros en depresión**

En la tabla 22, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 2% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

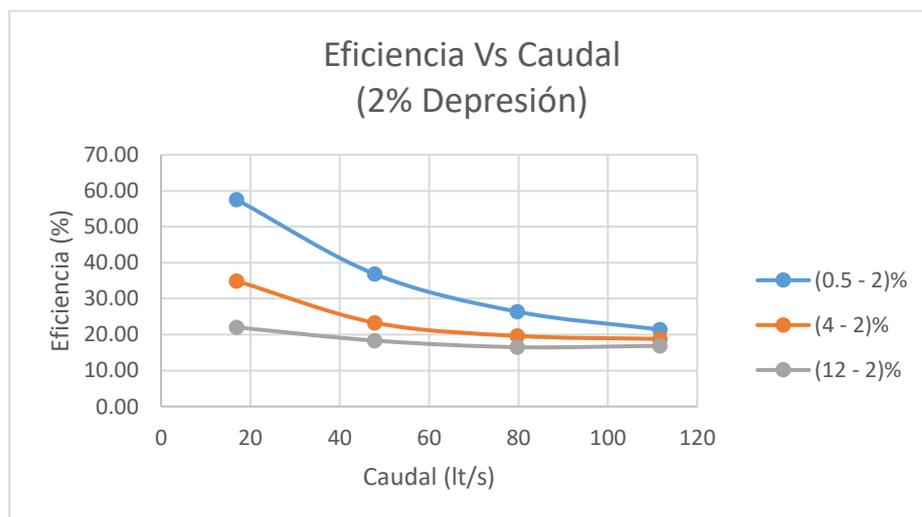
**Tabla 23:** Eficiencia de dos sumideros modificados con barrotes circulares en el modelo numérico, Bombeo 2%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	2.00%	57.54490	34.895298	22.014952
47.85		36.83613	23.316221	18.343208
79.85		26.37639	19.637696	16.511113
111.65		21.41067	18.787968	16.890886

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en depresión, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 0.5%, seguida de la eficiencia de 4.0% y la eficiencia más baja se da con la pendiente de 12.0%.

**Figura 40:** Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barrotes circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 2% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

✓ **Escenario 2 – Dos sumideros en elevación**

En la tabla 23, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 4% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

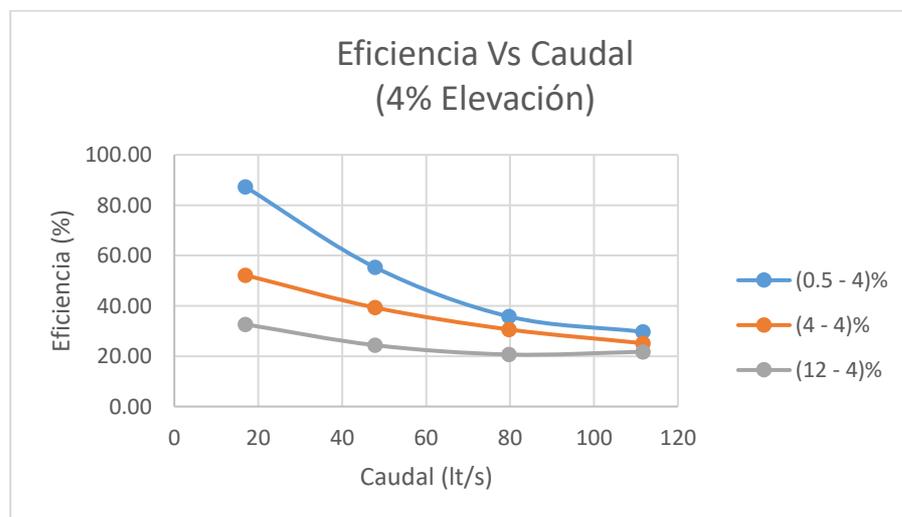
**Tabla 24:** Eficiencia de dos sumideros modificados con barros circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	4.00%	87.29392	52.200281	32.654884
47.85		55.30266	39.315657	24.368061
79.85		35.78005	30.615977	20.672825
111.65		29.67972	25.157426	21.737076

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en elevación, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 0.5%, seguida de la eficiencia de 4.0% y la eficiencia más baja se da con la pendiente de 12.0%.

**Figura 41:** Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barros circulares ubicado en elevación del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

✓ **Escenario 2 – Dos sumideros en depresión**

En la tabla 24, se establece una tabla indicando los caudales de ingreso en el modelo junto con las combinaciones de pendientes utilizadas para el bombeo de 4% y como resultados, las eficiencias de entrada de caudal con cada caudal enviado.

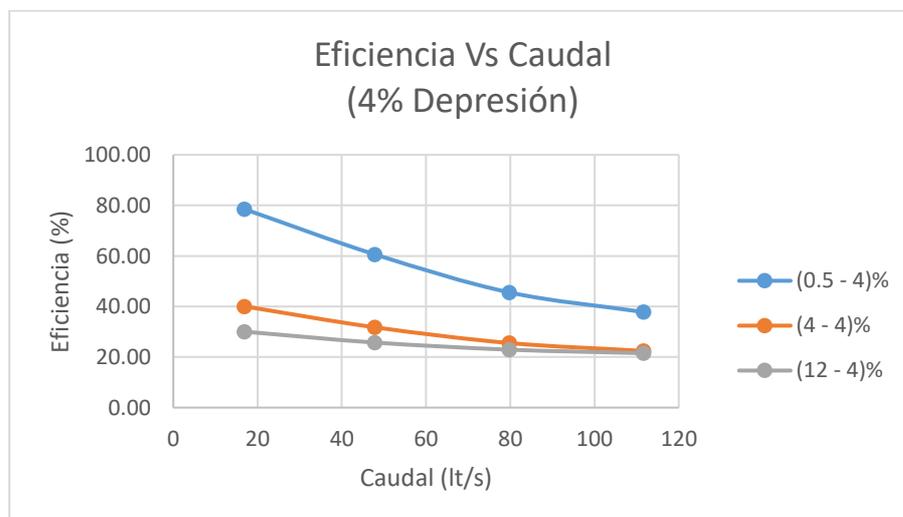
**Tabla 25:** Eficiencia de dos sumideros modificados con barrotos circulares en el modelo numérico, Bombeo 4%

Q Ingreso (lt/s)	Eficiencia Modelo Numérico (%)			
	Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal		
		0.50%	4.00%	12.00%
16.91	4.00%	78.49986	40.031055	30.039315
47.85		60.62154	31.773174	25.736551
79.85		45.58860	25.554221	22.926951
111.65		37.80812	22.430909	21.534603

**Realizado:** Jorge David Paredes Ipiales

Con estos resultados representamos las curvas de las pendientes longitudinales de 0.5%, 4.0% y 12.0% respectivamente, con el sumidero ubicado en depresión, demostrando que existe una mayor eficiencia en la pendiente longitudinal del 0.5%, seguida de la eficiencia de 4.0% y la eficiencia más baja se da con la pendiente de 12.0%.

**Figura 42:** Curvas de eficiencia de dos sumideros T45 con modificación con barrotos circulares ubicado en depresión del Modelo Numérico para 4% de bombeo y pendientes longitudinales de 0.5, 4.0 y 12.0%



**Realizado por:** Jorge David Paredes Ipiales

### 3.1.3.6 Comparación entre escenarios (Un sumidero Vs Dos sumideros)

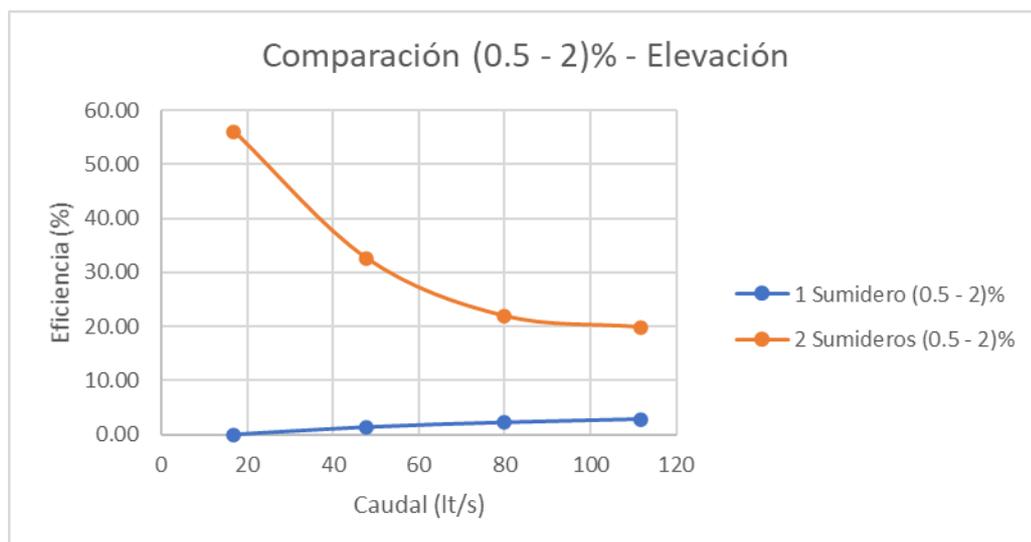
La siguiente comparación mostrada en la tabla 25 indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, con una combinación de pendiente transversal de 2% y longitudinal de 0.5%, con el sumidero en elevación. Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar la mejor eficiencia cuando se encuentran dos sumideros en serie y existe un caudal bajo, mientras mayor caudal exista, la eficiencia desciende.

**Tabla 26:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%)

(0.5 - 2)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	0.000	56.039	56.039
47.85	1.329	32.601	31.271
79.75	2.163	21.990	19.827
111.65	2.747	19.888	17.141

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 43:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 26 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, con el sumidero ubicado en depresión.

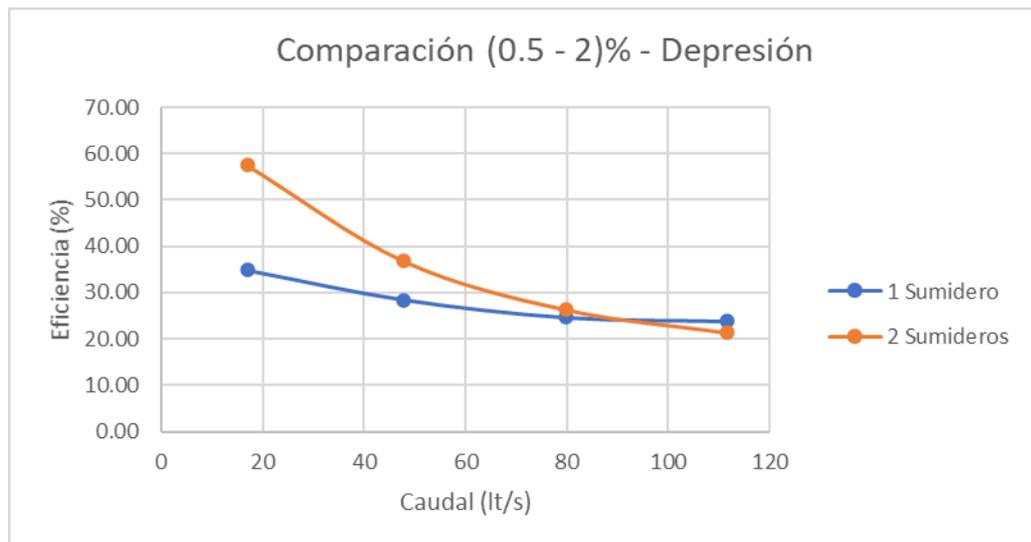
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar la mejor eficiencia cuando se encuentran dos sumideros en serie con caudales bajos, mientras que con caudales altos la eficiencia se torna mejor con un solo sumidero.

**Tabla 27:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%)

<b>(0.5 - 2)%</b>			
<b>Caudal Vía</b>	<b>Eficiencia</b>		<b>% Δ Eficiencia</b>
	<b>1 sumidero</b>	<b>2 sumideros</b>	
16.91	34.809	57.545	22.735
47.85	28.420	36.836	8.416
79.75	24.597	26.376	1.780
111.65	23.767	21.411	-2.356

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 44:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 2%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 27 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, con el sumidero ubicado en elevación.

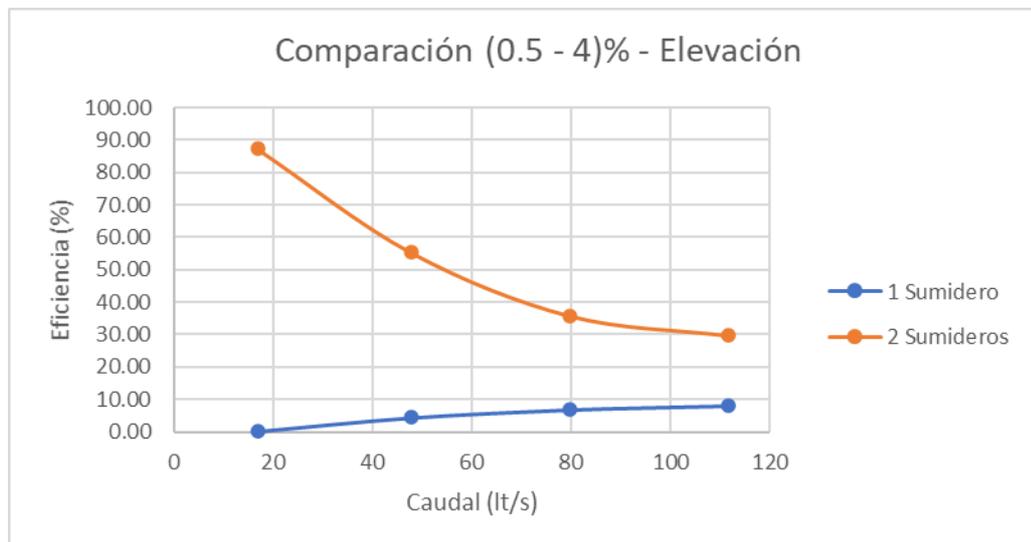
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar la mejor eficiencia cuando se encuentran dos sumideros en serie.

**Tabla 28:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%)

(0.5 - 4)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	0.208	87.294	87.086
47.85	4.415	55.303	50.888
79.75	6.876	35.780	28.904
111.65	8.060	29.680	21.619

**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 45:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%)



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 28 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, con el sumidero ubicado en depresión.

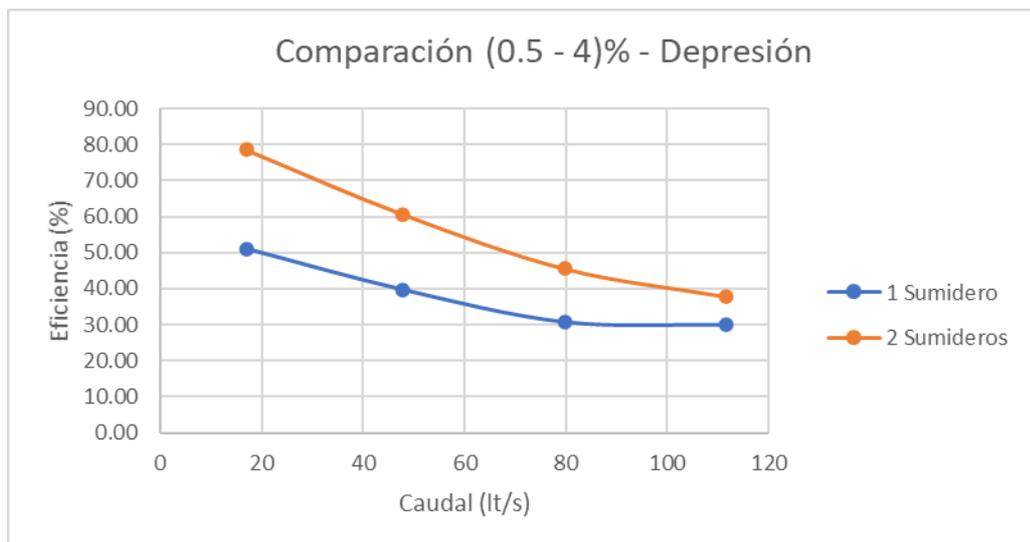
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar la mejor eficiencia cuando se encuentran dos sumideros en serie.

**Tabla 29:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%)

(0.5 - 4)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	50.959	78.500	27.541
47.85	39.612	60.622	21.010
79.75	30.669	45.589	14.920
111.65	29.894	37.808	7.914

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 46:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL0.5% y PT 4%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 29 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 2% y pendiente longitudinal de 4%, con el sumidero ubicado en elevación.

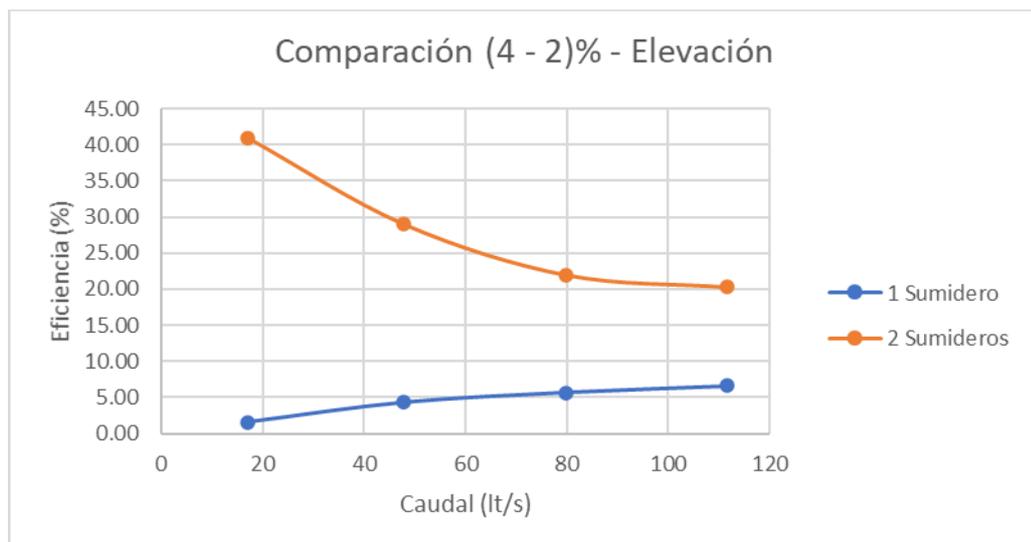
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar la mejor eficiencia cuando se encuentran dos sumideros en serie.

**Tabla 30:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%)

(4 - 2)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	1.550	40.931	39.382
47.85	4.324	28.982	24.658
79.75	5.686	22.001	16.315
111.65	6.583	20.306	13.723

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 47:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 30 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 2% y pendiente longitudinal de 4%, con el sumidero ubicado en depresión.

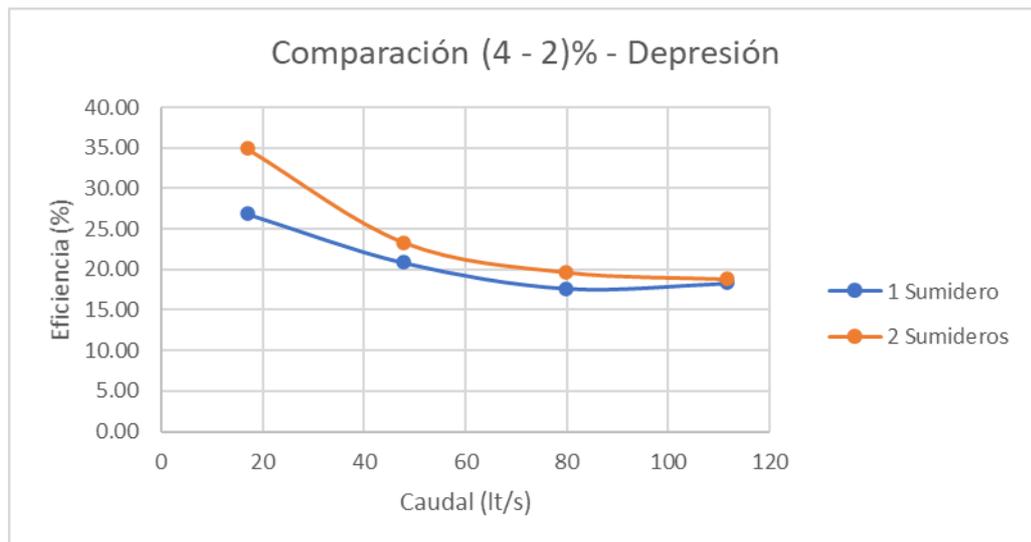
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar la mejor eficiencia cuando se encuentran dos sumideros en serie, pero mientras el caudal aumenta, la eficiencia baja se asemeja al de un solo sumidero.

**Tabla 31:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%)

(4 - 2)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	26.856	34.895	8.039
47.85	20.835	23.316	2.481
79.75	17.667	19.638	1.970
111.65	18.320	18.788	0.468

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 48:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 2%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 31 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 4% y pendiente longitudinal de 4%, con el sumidero ubicado en elevación.

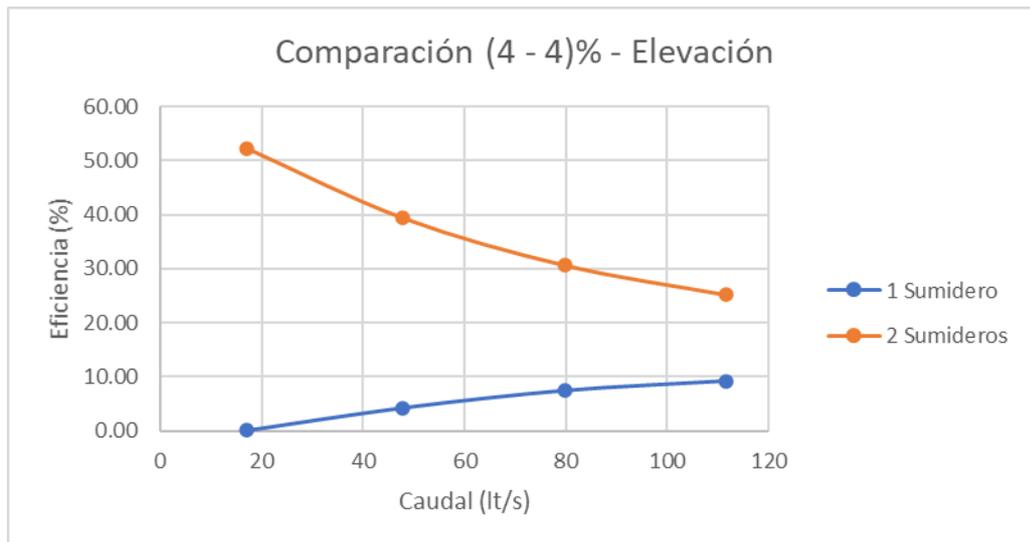
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar que la eficiencia es mayor cuando se encuentran dos sumideros en serie.

**Tabla 32:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%)

(4 - 4)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	0.018	52.200	52.182
47.85	4.200	39.316	35.115
79.75	7.399	30.616	23.217
111.65	9.161	25.157	15.997

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 49:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 32 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 4% y pendiente longitudinal de 4%, con el sumidero ubicado en depresión.

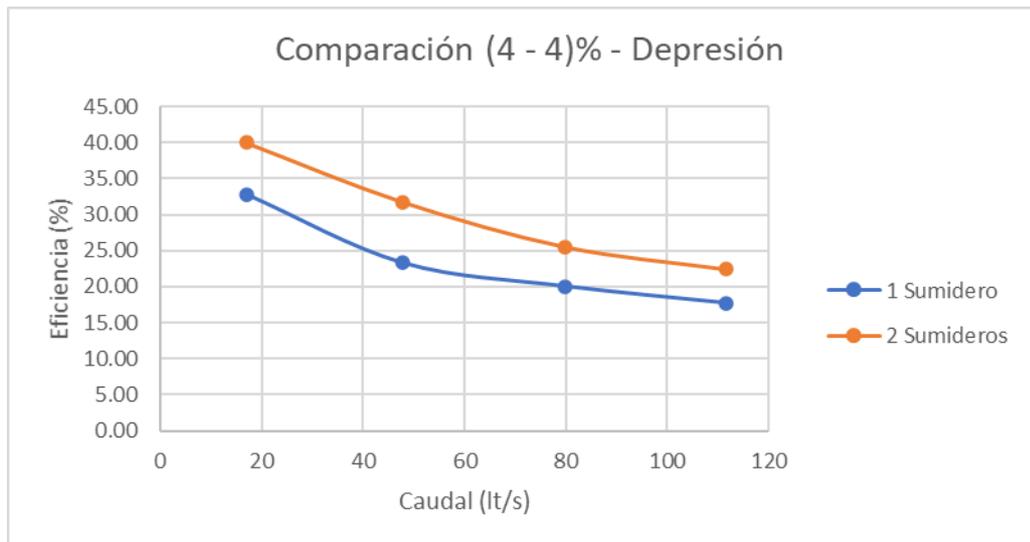
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar que la eficiencia es mayor cuando se encuentran dos sumideros en serie, pero sus curvas son bastantes similares.

**Tabla 33:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%)

(4 - 4)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	32.770	40.031	7.261
47.85	23.263	31.773	8.510
79.75	20.042	25.554	5.512
111.65	17.718	22.431	4.713

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 50:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 4% y PT 4%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 33 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 2% y pendiente longitudinal de 12%, con el sumidero ubicado en elevación.

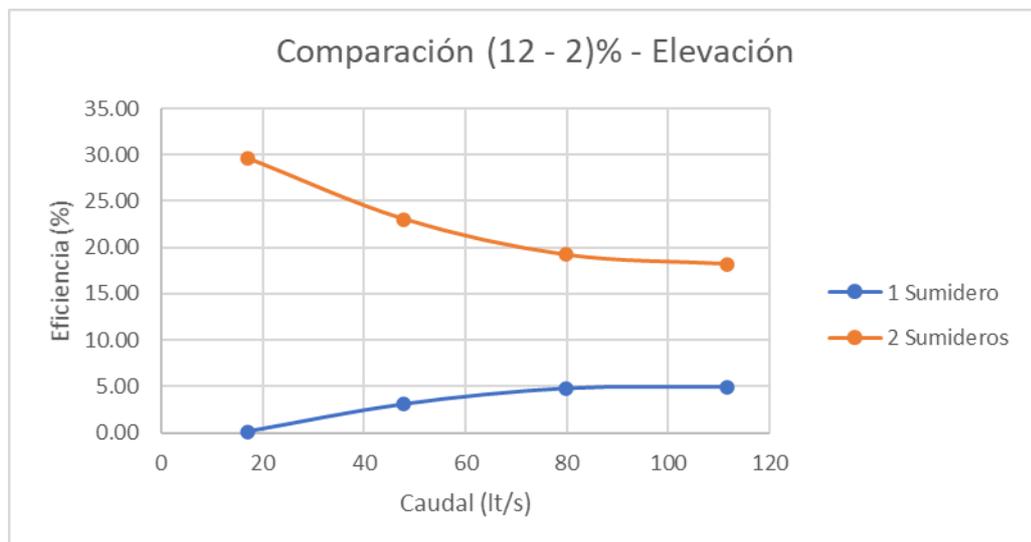
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar que la eficiencia es mayor cuando se encuentran dos sumideros en serie.

**Tabla 34:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%)

(12 - 2)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	0.103	29.646	29.543
47.85	3.086	23.047	19.961
79.75	4.778	19.203	14.425
111.65	4.941	18.201	13.259

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 51:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 34 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 2% y pendiente longitudinal de 12%, con el sumidero ubicado en depresión.

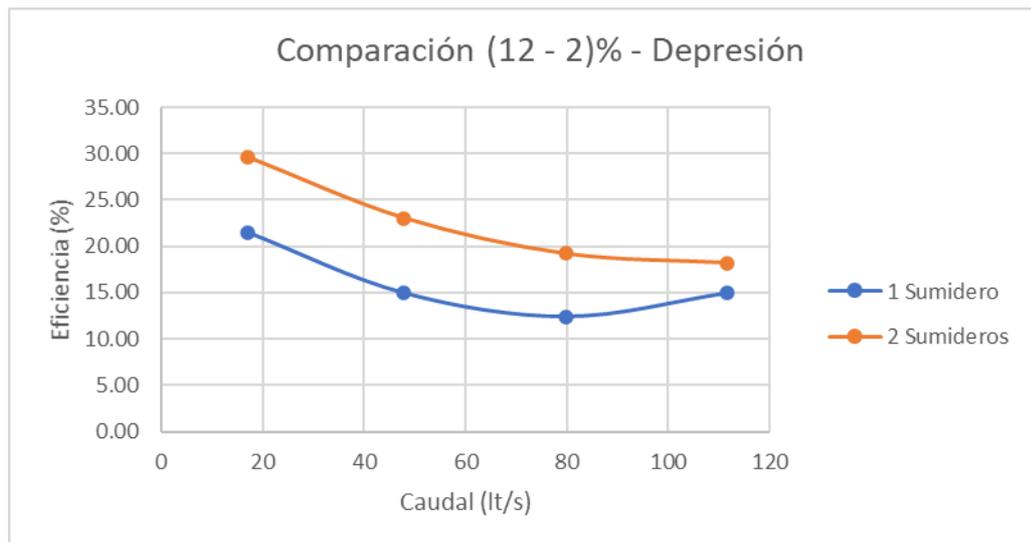
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar que la eficiencia es mayor cuando se encuentran dos sumideros en serie, pero sus curvas son bastantes similares y con caudales mayores pueden llegar a unirse.

**Tabla 35:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%)

<b>(12 - 2)%</b>			
<b>Caudal Vía</b>	<b>Eficiencia</b>		<b>% Δ Eficiencia</b>
	<b>1 sumidero</b>	<b>2 sumideros</b>	
16.91	21.494	22.015	0.521
47.85	14.932	18.343	3.412
79.75	12.398	16.511	4.113
111.65	14.940	16.891	1.951

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 52:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 2%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 35 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 4% y pendiente longitudinal de 12%, con el sumidero ubicado en elevación.

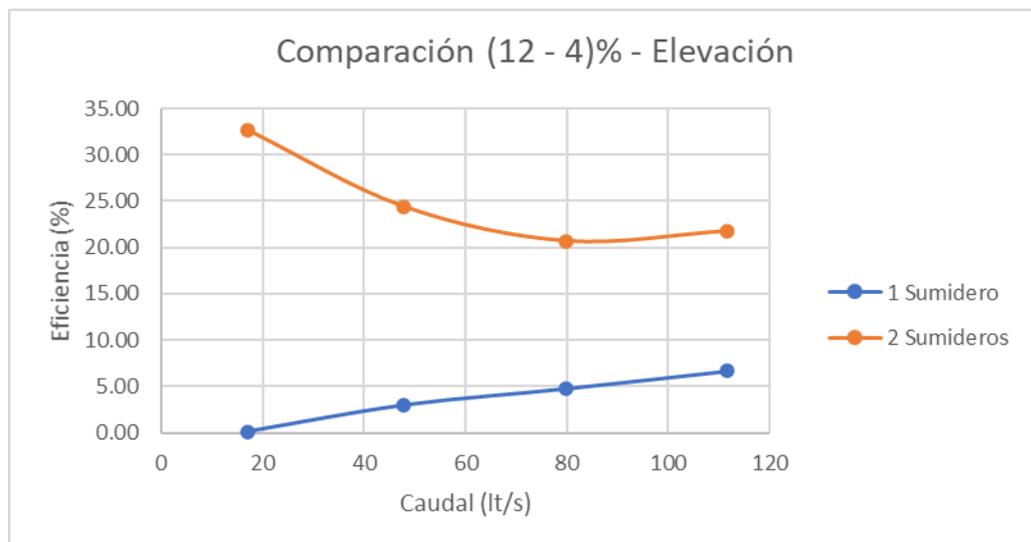
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar que la eficiencia es mayor cuando se encuentran dos sumideros en serie.

**Tabla 36:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%)

(12 - 4)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	0.103	32.655	32.552
47.85	2.984	24.368	21.384
79.75	4.736	20.673	15.937
111.65	6.634	21.737	15.103

Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 53:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en elevación y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%)



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

En la tabla 36 se indica la diferencia que existe en los resultados de eficiencia entre el escenario 1, que consta de una sola rejilla y el escenario 2, que consta de doble rejilla ubicada en serie, en este caso de la combinación de pendiente transversal de 4% y pendiente longitudinal de 12%, con el sumidero ubicado en depresión.

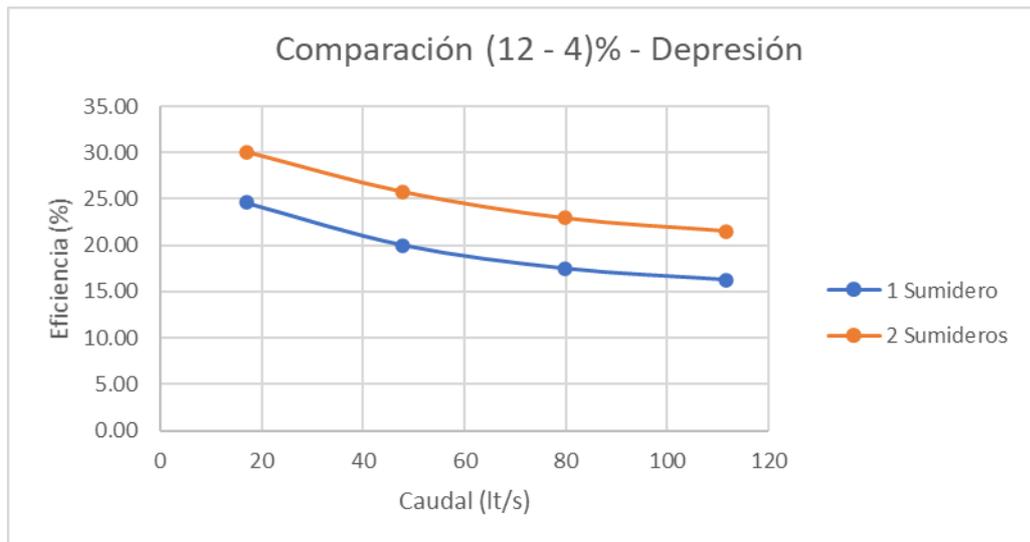
Seguido del diagrama de curva de los modelos analizados en base a su combinación de pendientes, en donde se puede notar que la eficiencia es mayor cuando se encuentran dos sumideros en serie, pero es importante observar que las curvas tienen el mismo sentido en los dos escenarios y su comportamiento es similar.

**Tabla 37:** Eficiencia de captación del sumidero tipo T45 con modificación a barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%)

(12 - 4)%			
Caudal Vía	Eficiencia		% Δ Eficiencia
	1 sumidero	2 sumideros	
16.91	24.615	30.039	5.424
47.85	20.003	25.737	5.734
79.75	17.471	22.927	5.456
111.65	16.235	21.535	5.299

Fuente: Jorge David Paredes IpiALES

**Figura 54:** Comparación de la Eficiencia de captación sumidero T45 modificado con barrotes circulares ubicado en depresión y utilizados en los 2 escenarios, (PL 12% y PT 4%)



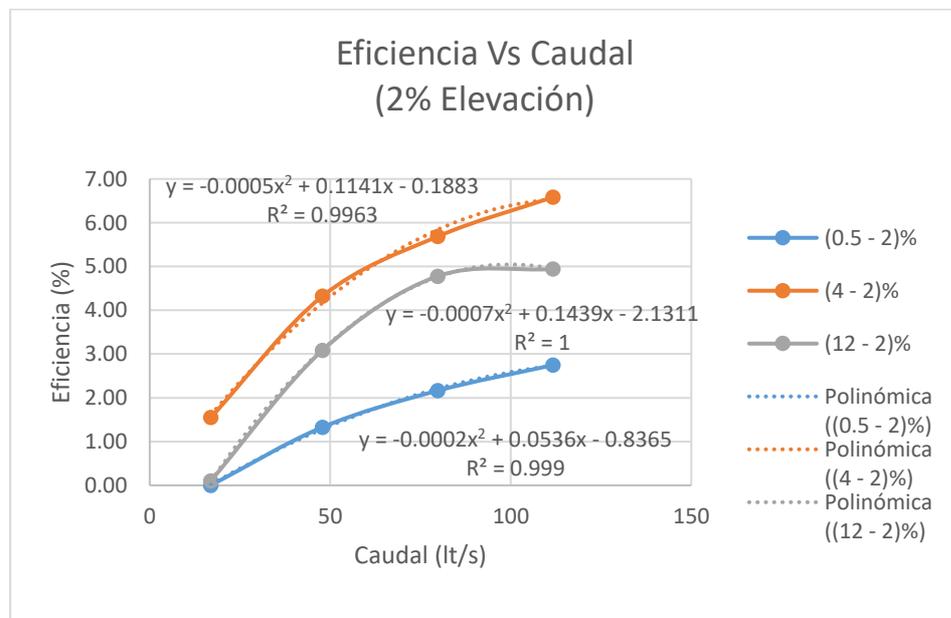
Fuente: Jorge David Paredes IpiALES

### 3.1.3.7 Ecuaciones de Tendencia y eficiencia

Por los resultados de los caudales captados por los sumideros y el cálculo de las eficiencias en cada combinación de pendientes, se pudo determinar las ecuaciones de tendencia de las curvas, esto con el afán de lograr determinar el ingreso del caudal o la eficiencia del sumidero con diferentes caudales de entrada.

En el siguiente grafico se muestra las ecuaciones de tendencia para las combinaciones con bombeo de 2%, utilizando los 4 caudales utilizados en las simulaciones.

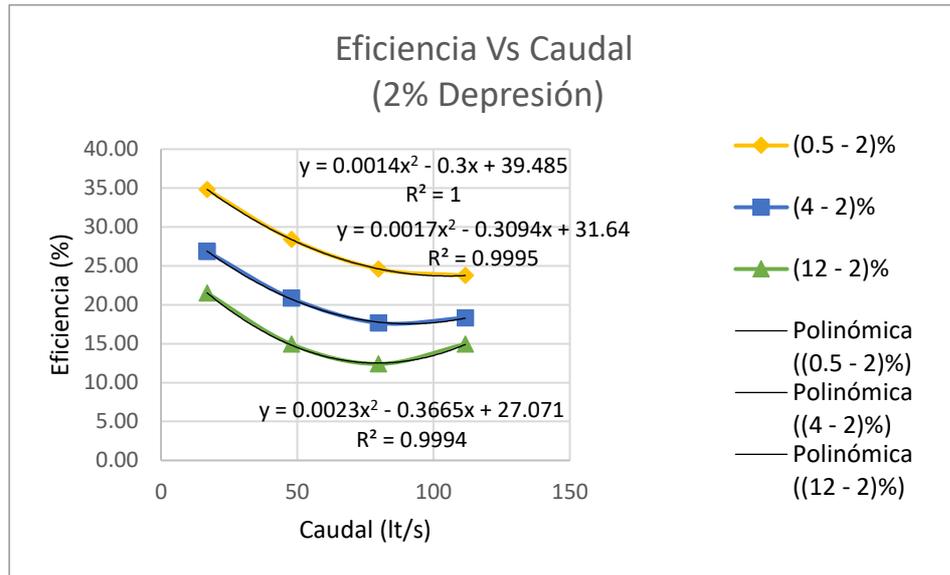
**Figura 55:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 2%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en elevación.



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

La siguiente figura indica las ecuaciones de tendencia que se realizó para un bombeo de 4%, en conjunto con las combinaciones de pendientes longitudinales de la muestra, para el cálculo de la eficiencia de captación de un sumidero ubicado en depresión.

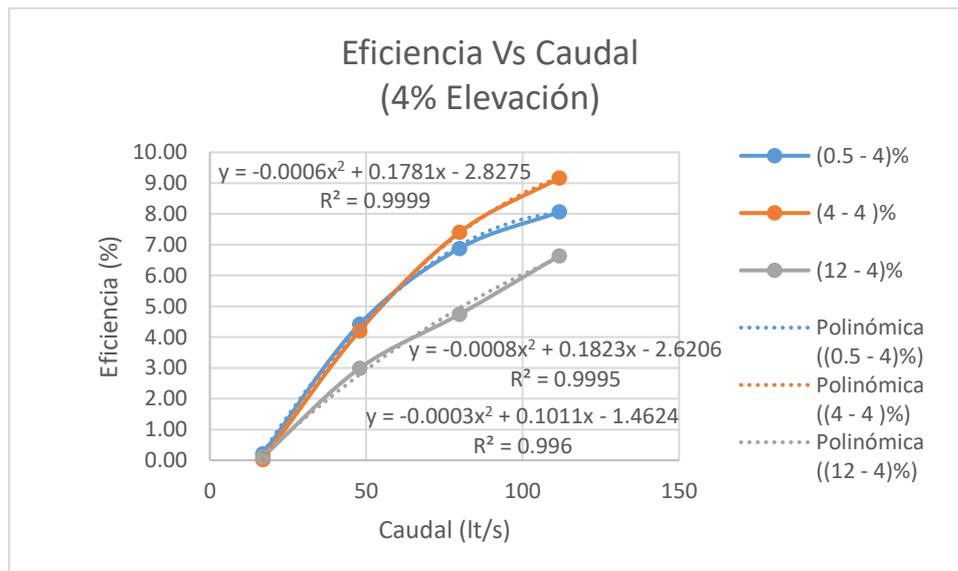
**Figura 56:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en depresión.



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

La figura 57 indica las ecuaciones de tendencia que se realizó para un bombeo de 4%, en conjunto con las combinaciones de pendientes longitudinales de la muestra, para el cálculo de la eficiencia de captación de un sumidero, ubicado en elevación.

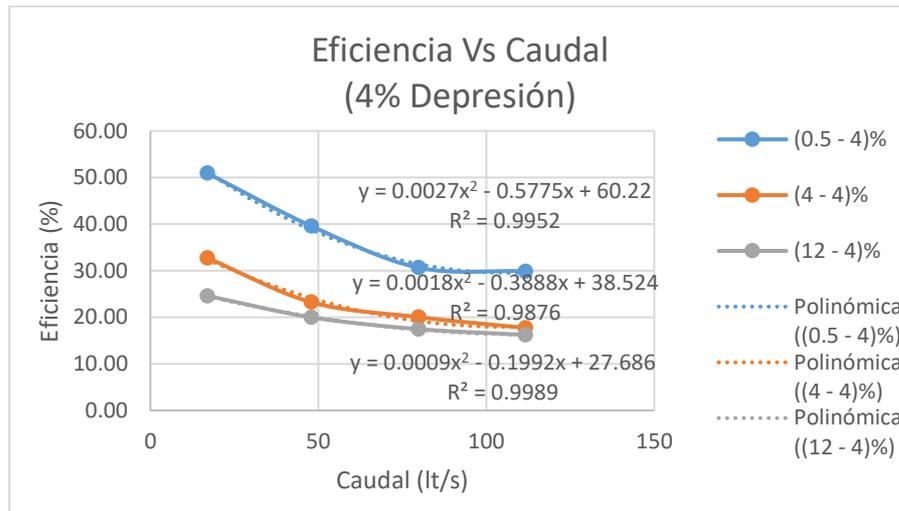
**Figura 57:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en elevación.



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

La figura 58 indica las ecuaciones de tendencia que se realizó para un bombeo de 4%, en conjunto con las combinaciones de pendientes longitudinales de la muestra, para el cálculo de la eficiencia de captación de un sumidero, ubicado en depresión.

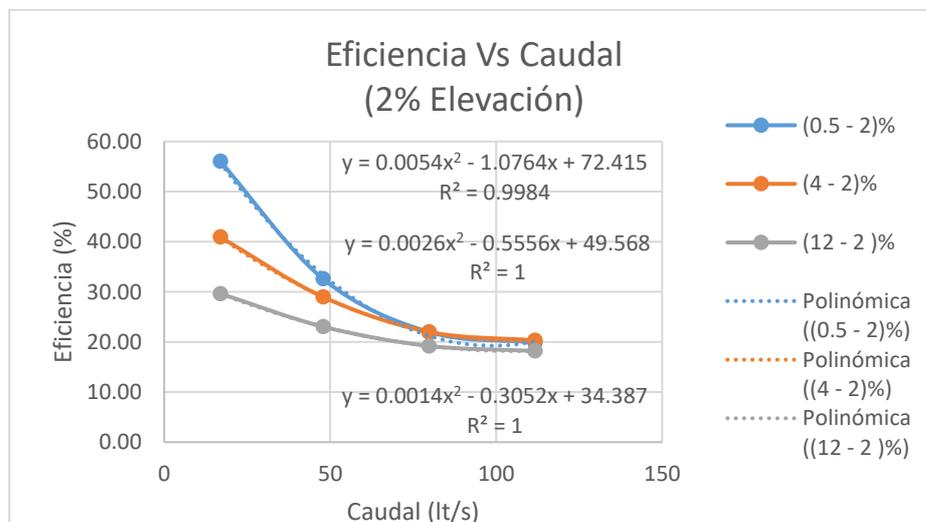
**Figura 58:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para un sumidero colocado en depresión.



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

La figura 59 indica las ecuaciones de tendencia que se realizó para un bombeo de 2%, en conjunto con las combinaciones de pendientes longitudinales de la muestra, para el cálculo de la eficiencia de captación de dos sumideros en serie, ubicados en elevación.

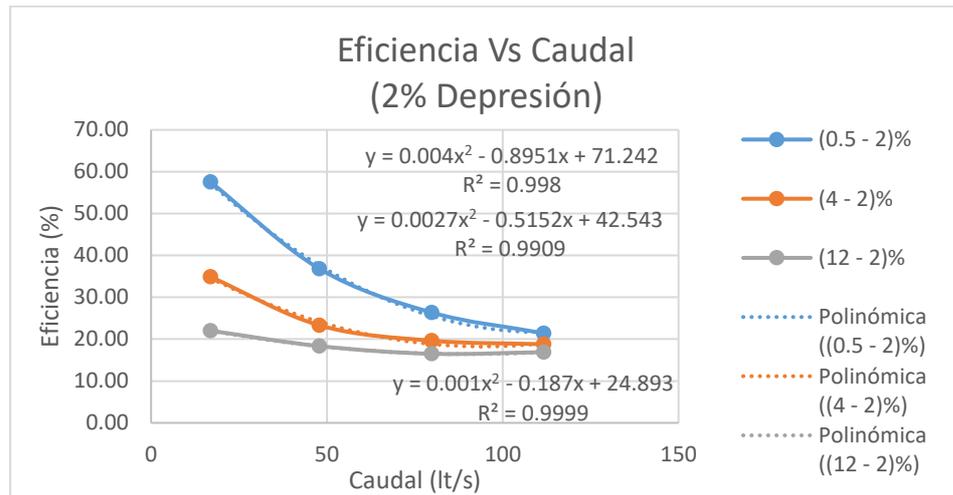
**Figura 59:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 2%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en elevación.



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

La figura 60 indica las ecuaciones de tendencia que se realizó para un bombeo de 2%, en conjunto con las combinaciones de pendientes longitudinales de la muestra, para el cálculo de la eficiencia de captación de dos sumideros en serie, ubicados en depresión.

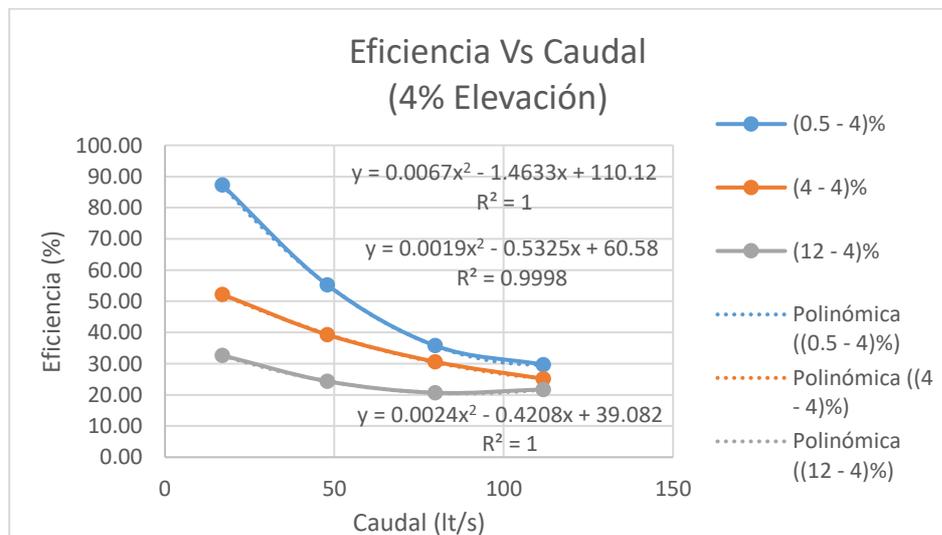
**Figura 60:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 2%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en depresión.



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

La figura 61 indica las ecuaciones de tendencia que se realizó para un bombeo de 4%, en conjunto con las combinaciones de pendientes longitudinales de la muestra, para el cálculo de la eficiencia de captación de dos sumideros en serie, ubicados en elevación.

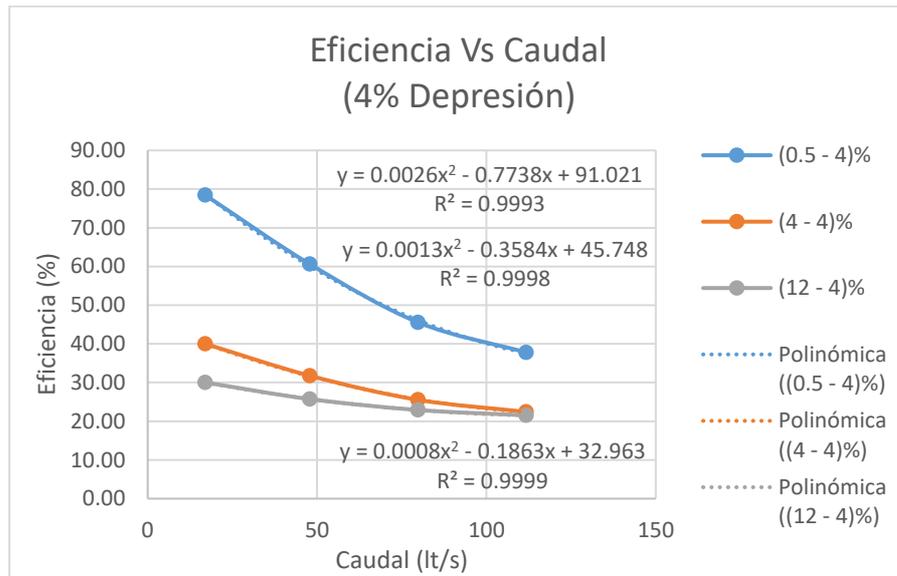
**Figura 61:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en elevación.



**Fuente:** Jorge David Paredes Ipiales

La figura 62 indica las ecuaciones de tendencia que se realizó para un bombeo de 4%, en conjunto con las combinaciones de pendientes longitudinales de la muestra, para el cálculo de la eficiencia de captación de dos sumideros en serie, ubicados en depresión.

**Figura 62:** Representación de la eficiencia de captación para bombeo de 4%, por medio de las ecuaciones de tendencia, para dos sumideros en serie colocados en depresión.



Fuente: Jorge David Paredes Ipiales

### 3.1.4 Discusión de Resultados

Observando los resultados de nuestras simulaciones, mientras las comparamos con los resultados del modelo físico hecho en laboratorio, podemos observar que el comportamiento de los resultados es similar en los dos modelos, la diferencia se radica en que los modelos matemáticos realizados en el software de fluidos computacionales, hacen que sus resultados tengan un margen de error mínimo por las características que se les da a cada escenario o modelo a simularse, tanto en coeficientes de los materiales utilizados en cada sección del modelo, como en las condiciones de contorno y los supuestos casos que se pueden dar en cada simulación, mientras que en el modelo físico se intentó simular los escenarios el aforo del agua a una escala 1:4 debido a la insuficiencia del equipo utilizado y esto causó que las curvas tengan un error de 7 a 10%, por la dificultad de la medición exacta del caudal principal utilizado y el caudal captado en cada sumidero.

Con esto determinamos que la eficiencia de captación en los sumideros tipo T45 con modificación a barrotos circulares, es inversamente proporcional tanto al caudal de ingreso o caudal de escorrentía, como a las pendientes longitudinales y transversales. También se observó que cuando un sumidero es colocado en elevación, existe una mayor eficiencia de captación en caudales altos antes que en caudales bajos.

Lo contrario sucede en sumideros colocados en depresión, por ello se nota que cuando hay caudales bajos, la eficiencia va a ser baja, pero mientras el caudal sigue aumentando, la eficiencia de captación también se incrementa.

En las simulaciones realizadas colocando dos sumideros en serie, notamos un comportamiento diferente al colocar un solo sumidero, por sus resultados podemos admitir que, colocando los sumideros en serie en elevación, existe un comportamiento similar a cuando colocamos dos sumideros en serie o un solo sumidero en depresión, ya que existe una mayor eficiencia de la captación cuando existen caudales bajos y la curva empieza a descender mientras el caudal sigue aumentando.

Observamos que, al momento de aumentar un sumidero, en el escenario 2 no solo aumento la eficiencia de captación con relación al escenario 1, sino que también en ciertos casos hubo un cambio de comportamientos para la captación por parte de varios modelos, pero siempre admitiendo que el incremento de sumideros no garantiza que la eficiencia de captación de agua se duplique o triplique, sino solo aumenta la captación en un porcentaje pequeño

A continuación, se adjuntó las tablas completas de los resultados del porcentaje de eficiencia que se calculó con ayuda de los caudales de captación arrojados por el programa de mecánica de fluidos.

**Tabla 38:** Eficiencias calculadas con un sumidero con barrotes circulares

SUMIDERO CON MODIFICACION A REJILLAS CIRCULARES ( 1 Sumidero)												
EFICIENCIAS												
Caudales	(0.5 + 2)		(0.5 + 4)		(4 + 2)		(4 + 4)		(12 + 2)		(12 + 4)	
	Elevacion	Depresion										
16.91	0.000000	34.809489	0.208032	50.959005	1.549665	26.856339	0.018455	32.769582	0.102694	21.494143	0.102694	24.615461
47.85	1.329288	28.420424	4.415065	39.611716	4.323724	20.835273	4.200229	23.262990	3.085976	14.931654	2.984008	20.002575
79.75	2.163232	24.596538	6.875599	30.668556	5.685880	17.667275	7.398690	20.042364	4.777826	12.398438	4.735870	17.470713
111.65	2.746534	23.766622	8.060295	29.894103	6.583217	18.319684	9.160592	17.717556	4.941409	14.940134	6.633887	16.235403

Elaborado por: Jorge David Paredes IpiALES

**Tabla 39:** Eficiencias calculadas con dos sumideros con barrotes circulares

SUMIDERO CON MODIFICACION A REJILLAS CIRCULARES ( 2 Sumidero)												
EFICIENCIAS												
Caudales	(0.5 + 2)		(0.5 + 4)		(4 + 2)		(4 + 4)		(12 + 2)		(12 + 4)	
	Elevacion	Depresion										
16.91	56.038598	57.544902	87.293916	78.499860	40.931298	34.895298	52.200281	40.031055	29.645502	22.014952	32.654884	30.039315
47.85	32.600697	36.836126	55.302659	60.621542	28.981979	23.316221	39.315657	31.773174	23.047427	18.343208	24.368061	25.736551
79.75	21.990311	26.376392	35.780052	45.588599	22.001231	19.637696	30.615977	25.554221	19.202926	16.511113	20.672825	22.926951
111.65	19.887570	21.410671	29.679722	37.808124	20.306479	18.787968	25.157426	22.430909	18.200583	16.890886	21.737076	21.534603

Elaborado por: Jorge David Paredes IpiALES

### 3.1.5 Verificación de la hipótesis

Al iniciar el presente trabajo experimental planteamos como hipótesis alterna:

*“La geometría de sumideros de agua lluvia, pendiente longitudinal y transversal de la vía y caudal de escorrentía superficial representados en un modelo numérico influye en la eficiencia de captación de aguas de escorrentía y drenaje.”*

Una vez de haber realizado el procesamiento y análisis de resultados se llegó a demostrar:

- Se determinó la eficiencia de captación de los sumideros tipo T45 con una modificación a forma circular en la geometría de sus rejillas y colocando el mismo en elevación o depresión variando sus pendientes transversales y longitudinales para la captación de agua de escorrentía, encontrando una eficiencia máxima de 50.959% en el modelo con un solo sumidero, y de 87.294% para el modelo de dos sumideros en serie.
- El caudal de entrada es influido por ambas pendientes ya que alteran la velocidad de recorrido del flujo y el paso de este por la rejilla, disminuyendo la eficiencia de captación del agua de lluvia y demostrando una tendencia negativa.
- La geometría del sumidero influye directamente en la eficiencia de captación de la rejilla por la forma de los barrotes y su disposición en la vía ya que de ello depende el canal a cielo abierto que se forma en el proceso de escorrentía superficial.

Por lo expuesto anteriormente, se acepta la hipótesis alterna como valida debido a directa influencia de la pendiente transversal, longitudinal, el caudal y la geometría influyen en la eficiencia de captación.

## CAPITULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- ✓ Se determinó la eficiencia de captación de los sumideros tipo T45 con una modificación a forma circular de sus rejillas y colocando el mismo en elevación o depresión variando sus pendientes transversales y longitudinales para la captación de agua de escorrentía, encontrando una eficiencia máxima de 50.95% en el modelo con un solo sumidero, y de 87.29% para el modelo de dos sumideros en serie.
- ✓ Se concluyó que, aunque exista un aumento de rejillas, no se garantiza que la eficiencia de captación aumente considerablemente, sino que existen diferentes aspectos que influyen en el caudal de captación de cada rejilla, por ello se consideró diferentes pendientes, caudales, geometría de la vía y coeficientes de los materiales de cada elemento.
- ✓ Se determinó que la mayor eficiencia en todas las modelaciones realizadas en nuestro proyecto fue de 87.29%, esta se encontró con dos sumideros en serie ubicados en elevación y con una combinación de pendientes de 4 en su pendiente de bombeo y de 0.5% en su pendiente longitudinal.
  - Se concluyo que la máxima eficiencia de captación con un solo sumidero se dio cuando el sumidero se encontraba colocado en depresión con una combinación de pendientes de 4% de bombeo, de 0.5% de pendiente longitudinal y con un caudal de entrada de 16.91 lt/s.

- La eficiencia de captación mínima o nula se dio al ocupar un sumidero tipo T45 con modificación a rejillas circulares ubicado en elevación, con un caudal de 16.91 lt/s y con una combinación de pendientes de 2% en bombeo y de 0.5% en pendiente longitudinal, ya que el agua de escorrentía solo rodeó el sumidero y nunca ingreso agua al mismo.
- Se concluyó que en la mayoría de los escenarios existe una mejor eficiencia con caudales bajos en comparación a caudales altos, pero se observó que puede cambiar esto dependiendo de las condiciones del sumidero y de factores como el caudal inicial o las pendientes de la vía, así como se produjo con el escenario 1, con el sumidero ubicado en elevación.
- ✓ Se concluyó que, al comparar los resultados del modelo matemático con los resultados del modelo físico, tenemos un menor margen de error en el matemático ya que por la dificultad del ingreso de caudal y la toma de resultados en la maqueta propuesta, hace que el margen de error se incremente y los resultados no sean tan exactos.
- ✓ Se determinó que los resultados del software de fluidos computacionales son más exactos que los del modelo físico, por las condiciones que se le asigna al programa para cada uno de los casos, así como todos los coeficientes de cada elemento diseñado para su modelación.
- ✓ Se concluyó que, al utilizar software de fluidos computacionales con elementos finitos, a mayor número de elementos discretizados, el coste computacional se aumenta y por lo tanto el tiempo de resolución también se incrementa.

## 4.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda que exista un mayor manejo de software de mecánica de fluidos, porque el mismo permite una manera óptima y rápida de simular futuros fenómenos que pueden darse con aguas de escorrentía.
- ✓ Se recomienda investigar datos hidrográficos de las precipitaciones por sectores antes de realizar una simulación en software de mecánica de fluidos, con eso podemos determinar la mejor eficiencia y el número de sumideros necesarios en el diseño de un sistema de recolección de aguas de escorrentía.
- ✓ Se recomienda cambiar configuraciones y diseños a los sumideros de agua lluvia, esto permitirá buscar un modelo que represente una mejor eficiencia de captación de agua, pero sin desconfigurar su uso ni dificultar el paso de vehículo, peatones o cualquier tránsito.
- ✓ Para mejorar la eficiencia de los modelos de sumideros usados en la actualidad por normativa, se sugiere cambiar el diseño de los barrotes de rectangulares a circulares, esto ha dado una mejor eficiencia en la captación de agua lluvia.
- ✓ Para futuras investigaciones, es recomendable crear un prototipo tanto físico como computacional de un modelo de sumidero con un dissipador de energía, esto permitirá que exista una disminución de velocidad de agua y a su vez esta tendrá mayor ingreso al sistema de drenaje de agua.

## Bibliografía

- [1] A. I. Civil, «Apuntes Ingeniería Civil,» [En línea]. Available: [http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/sumideros-de-aguas-de-lluvia\\_05.html](http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/sumideros-de-aguas-de-lluvia_05.html).. [Último acceso: 25 Agosto 2020].
- [2] E. K. Kriguer, «Repositorio Universidad de Chile,» 2008. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/125299>.. [Último acceso: 31 Agosto 2020].
- [3] F. Rodriguez, «BIBGIDITAL ESCUELA POLITECNICA NACIONAL,» 2016. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16626/1/CD-7255.pdf>.. [Último acceso: 26 Agosto 2020].
- [4] R. Morales, Análisis de estudios experimentales realizados por el Instituto Nacional de Hidraulica, Santiago de Chile : Chile , 2016.
- [5] J. Recasens, Modelación tridimensional del flujo de entrada en un sumidero., Barcelona , 2014.
- [6] R. H. F. M. J. L. F. Pazmiño, Cálculo experimental de la eficiencia Hidráulica en sumideros de aguas pluviales, Ambato , 2017.
- [7] M. G. J. Dolz, «Polipapers - Universidad Politecnica de Valencia,» 1994. [En línea]. Available: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2631/2614L>.. [Último acceso: 05 Septiembre 2020].
- [8] J. Vasquez, «Researchgate,» 2003. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/264879979\\_Modelacion\\_Numerica\\_en\\_Hidraulica\\_MODELACION\\_NUMERICA\\_EN\\_HIDRAULICA](https://www.researchgate.net/publication/264879979_Modelacion_Numerica_en_Hidraulica_MODELACION_NUMERICA_EN_HIDRAULICA).. [Último acceso: 05 Septiembre 2020].
- [9] UICN - ORMACC, «Cuenca Hidrográfica,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/cuenca\\_hidrografica.pdf](https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/cuenca_hidrografica.pdf). [Último acceso: 05 Septiembre 2020].
- [10] J. C. I. G. J. Alfaro, «UES,» 2012. [En línea]. Available: [http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1698/1/DISE%20DEL%20SISTEMA%20DE%20ALCANTARILLADO\\_SANITARIO,\\_AGUAS\\_LLUVIAS\\_Y\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RE.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1698/1/DISE%20DEL%20SISTEMA%20DE%20ALCANTARILLADO_SANITARIO,_AGUAS_LLUVIAS_Y_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RE.pdf).. [Último acceso: 06 Septiembre 2020].
- [11] GeoEnciclopedia, «Precipitación,» [En línea]. Available: <https://www.geoenciclopedia.com/precipitacion/>. [Último acceso: 06 Septiembre 2020].

- [12] L. Maldonado, Método Racional, Ambato, 2018.  
]
- [13] INAMHI, «Servicio Meteorológico,» 2015. [En línea]. Available:  
] [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO\\_DE\\_INTENSIDADES\\_V\\_FINAL.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf).. [Último acceso: 07 Septiembre 2020].
- [14] U. N. d. A. d. P. A. Frizanco, «Periodo de Retorno,» 2018. [En línea].  
] Available: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-altiplano-de-puno/hidrogeologia/resumenes/periodo-de-retorno/2948643/view>. [Último acceso: 06 Septiembre 2020].
- [15] IDEAM, «IDEAM,» 2017. [En línea]. Available:  
] <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>.. [Último acceso: 06 Septiembre 2020].
- [16] SENAGUA, «Secretaria Nacional del Agua,» 2012. [En línea]. Available:  
] [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_disenos.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf).. [Último acceso: 06 Septiembre 2020].
- [17] T. I. Civil, «Determinación de Caudales Máximos con el Método Racional,»  
] 2012. [En línea]. Available:  
<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>. [Último acceso: 06 Septiembre 2020].
- [18] MTOP, Norma Ecuatoriana Vial, Quito, 2002.  
]
- [19] J. Gaviria, «Numero de Reynolds,» Noviembre 2014. [En línea]. Available:  
] <http://mecanicadefluidoscod5131587.blogspot.com/2015/11/numero-de-reynolds.html>.. [Último acceso: 07 Septiembre 2020].
- [20] OCWUS, «Hidraulica y Riesgos - Principios de Hidráulica,» [En línea].  
] Available: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema 1.Principios de Hidraulica/tutorial\\_05.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%201.Principios%20de%20Hidraulica/tutorial_05.htm). [Último acceso: 07 Septiembre 2020].
- [21] Scribd, «Flujo transitorio,» 2010. [En línea]. Available:  
] <https://es.scribd.com/doc/226780710/Flujo-transitorio>. [Último acceso: 07 Septiembre 2020].
- [22] N. B. M. E. Garcia, «Energia específica y Tirante Crítico,» Abril 2015. [En  
] línea]. Available: <https://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/energia-especifica-46604328>. [Último acceso: 07 Septiembre 2020].
- [23] A. Albadía, «Scribd - Flujo Crítico,» [En línea]. Available:  
] <https://es.scribd.com/doc/69167170/FLUJO-CRITICO>.. [Último acceso: 07 Septiembre 2020].

- [24 R. N. M. Olmo, «Ecuacion de Bernoulli,» [En línea]. Available:  
 ] [http://hyperphysics.phy-  
 astr.gsu.edu/hbases/pber.html#:~:text=Ecuaci%C3%B3n%20de%20Bernoulli,  
 para%20el%20flujo%20de%20fluidos.&text=En%20el%20flujo%20de%20alta  
 ,de%20la%20energ%C3%ADa%20de%20presi%C3%B3n..](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbases/pber.html#:~:text=Ecuaci%C3%B3n%20de%20Bernoulli,para%20el%20flujo%20de%20fluidos.&text=En%20el%20flujo%20de%20alta,de%20la%20energ%C3%ADa%20de%20presi%C3%B3n..) [Último acceso: 07  
 Septiembre 2020].
- [25 Fisica Practica , «Impulso- Cantidad- Movimiento.,» [En línea]. Available:  
 ] <https://www.fisicapractica.com/impulso-cantidad-movimiento.php..> [Último  
 acceso: 07 Septiembre 2020].
- [26 H. L. Sanchez, «Slideshare - Hidraulica de canales,» 2016. [En línea].  
 ] Available: <https://es.slideshare.net/3duardoJose/3-fuerza-especifica>. [Último  
 acceso: 08 Septiembre 2020].
- [27 G. E. Aldape, «Slideshare - Introduccion a los Modelos Hidráulicos,» [En  
 ] línea]. Available: [https://es.slideshare.net/juanrobertolopezbetanzos/21-  
 introduccion-a-los-modelos-hidraulicos](https://es.slideshare.net/juanrobertolopezbetanzos/21-introduccion-a-los-modelos-hidraulicos). [Último acceso: 08 Septiembre 2020].
- [28 A. G. Boza, «UDEP - La modelación Física y Numérica son herramientas  
 ] claves en la optimización de los diseños hidráulicos,» 12 Agosto 2015. [En  
 línea]. Available: [http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-modelacion-fisica-y-  
 numerica-son-herramientas-claves-en-la-optimizacion-de-los-disenos-  
 hidraulicos/#:~:text=Tal%20como%20se%20conoce%2C%20un,el%20compor  
 tamiento%20de%20una%20materia..](http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-modelacion-fisica-y-numerica-son-herramientas-claves-en-la-optimizacion-de-los-disenos-hidraulicos/#:~:text=Tal%20como%20se%20conoce%2C%20un,el%20comportamiento%20de%20una%20materia..) [Último acceso: 08 Septiembre 2020].
- [29 J. Fernández, Técnicas Numéricas en Ingeniería de Fluidos, Barcelona :  
 ] REVERTÉ S.A., 2012.
- [30 E. Casa, Modelación Numérica del flujo rasante en una rápida escalonada  
 ] aplicando la dinámica de fluidos computacionales (CFD), Quito: Programa  
 Flow 3D, 2016.
- [ J. Ochoa, «Acading,» [En línea]. Available:  
 3 [http://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS\\_INCORPORACIO  
 1 N/TI\\_JOSE\\_OCHOA.pdf..](http://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION_TIJOSE_OCHOA.pdf..) [Último acceso: 25 Agosto 2020].  
 ]

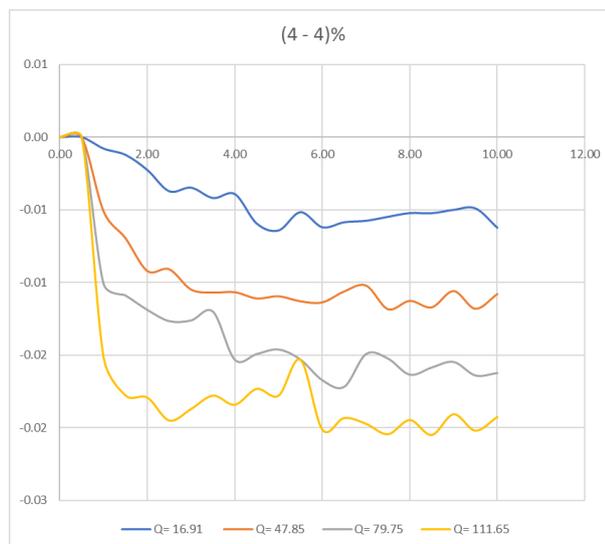
## ANEXOS

Las tablas y graficas que se muestran a continuación, son los resultados de los tiempos y caudales de captación que ingresaron en las rejillas con la modificación en sus barrotes.

**Tabla 40:** Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en depresión (PT 4% - PL 4%)

Tiempo	Caudal Lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal S. (47,85)	Caudal S. (79,75)	Caudal S. (111,65)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	-0.79	-5.09	-10.10	-15.16
1.50	-1.22	-6.94	-10.91	-17.76
2.00	-2.26	-9.20	-11.90	-17.92
2.50	-3.72	-9.09	-12.68	-19.49
3.00	-3.48	-10.49	-12.63	-18.70
3.50	-4.19	-10.69	-12.02	-17.78
4.00	-3.92	-10.67	-15.34	-18.40
4.50	-5.94	-11.10	-14.94	-17.32
5.00	-6.42	-10.95	-14.63	-17.78
5.50	-5.16	-11.30	-15.32	-15.31
6.00	-6.20	-11.37	-16.74	-20.12
6.50	-5.85	-10.61	-17.20	-19.32
7.00	-5.75	-10.21	-14.94	-19.72
7.50	-5.48	-11.84	-15.25	-20.44
8.00	-5.22	-11.26	-16.36	-19.46
8.50	-5.23	-11.71	-15.87	-20.49
9.00	-5.00	-10.59	-15.48	-19.06
9.50	-4.90	-11.81	-16.42	-20.19
10.00	-6.23	-10.80	-16.25	-19.24

**Figura 63:** Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en depresión (PT 4% - PL 4%)

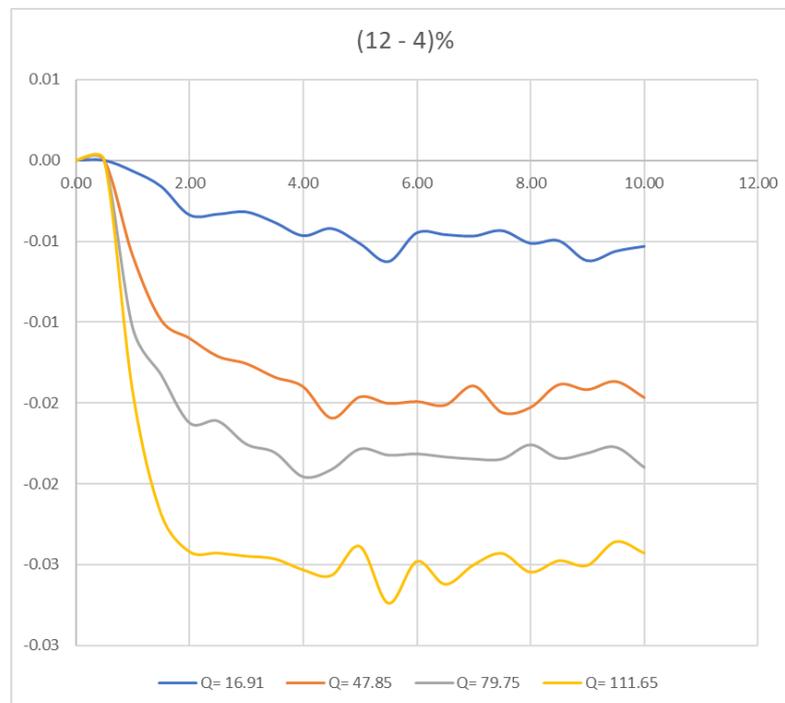


Elaborado por: Jorge David Paredes Ipiales

**Tabla 41:** Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocada en depresión (PT 4% - PL 12%)

Tiempo	Caudal Lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal S. (47,85)	Caudal S. (79,75)	Caudal S. (111,65)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	-0.66	-5.86	-10.33	-14.26
1.50	-1.60	-9.85	-13.26	-21.84
2.00	-3.36	-10.98	-16.24	-24.18
2.50	-3.31	-12.10	-16.13	-24.26
3.00	-3.17	-12.55	-17.57	-24.45
3.50	-3.82	-13.39	-18.08	-24.62
4.00	-4.63	-13.98	-19.59	-25.30
4.50	-4.20	-15.92	-19.14	-25.65
5.00	-5.12	-14.60	-17.86	-23.85
5.50	-6.23	-15.01	-18.25	-27.36
6.00	-4.46	-14.89	-18.17	-24.78
6.50	-4.57	-15.11	-18.36	-26.19
7.00	-4.65	-13.93	-18.49	-24.99
7.50	-4.32	-15.57	-18.49	-24.29
8.00	-5.10	-15.26	-17.61	-25.44
8.50	-4.94	-13.84	-18.44	-24.74
9.00	-6.17	-14.16	-18.12	-25.03
9.50	-5.59	-13.65	-17.76	-23.86
10.00	-5.29	-14.64	-19.00	-24.26

**Figura 64:** Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocada en depresión (PT 4% - PL 12%)

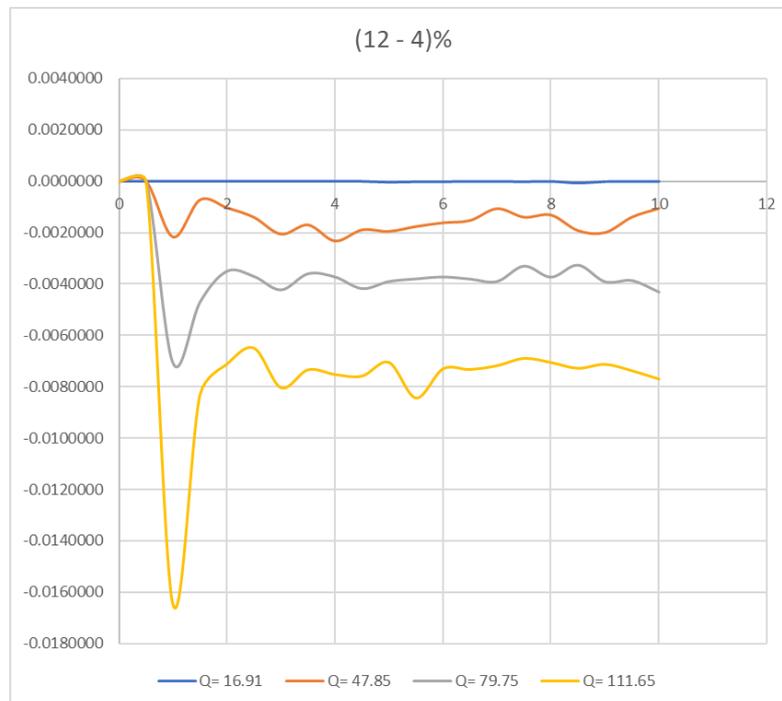


Elaborado por: Jorge David Paredes Ipiales

**Tabla 42:** Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en elevación (PT 4% - PL 12%)

Tiempo	Caudal Lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal S. (47,85)	Caudal S. (79,75)	Caudal S. (111,65)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	-2.1648	-7.0804	-16.4622
1.5	0.0000	-0.7228	-4.7080	-8.3141
2	-0.0007	-1.0296	-3.5025	-7.1079
2.5	-0.0013	-1.4004	-3.7072	-6.4867
3	-0.0002	-2.0544	-4.2304	-8.0277
3.5	0.0000	-1.6964	-3.5997	-7.3313
4	-0.0001	-2.3204	-3.7253	-7.5135
4.5	-0.0003	-1.8901	-4.1784	-7.5768
5	-0.0362	-1.9472	-3.9032	-7.0464
5.5	-0.0156	-1.7586	-3.8024	-8.4310
6	-0.0122	-1.6129	-3.7280	-7.2937
6.5	-0.0044	-1.5248	-3.8091	-7.3204
7	-0.0032	-1.0649	-3.9020	-7.1714
7.5	-0.0158	-1.3956	-3.3033	-6.8870
8	-0.0008	-1.3111	-3.7346	-7.0476
8.5	-0.0700	-1.9185	-3.2645	-7.2727
9	-0.0101	-1.9932	-3.9164	-7.1179
9.5	-0.0044	-1.3895	-3.8670	-7.3708
10	-0.0030	-1.0520	-4.3147	-7.6929

**Figura 65:** Estabilización del flujo de captación en una rejilla colocada en elevación (PT 4% - PL 12%)

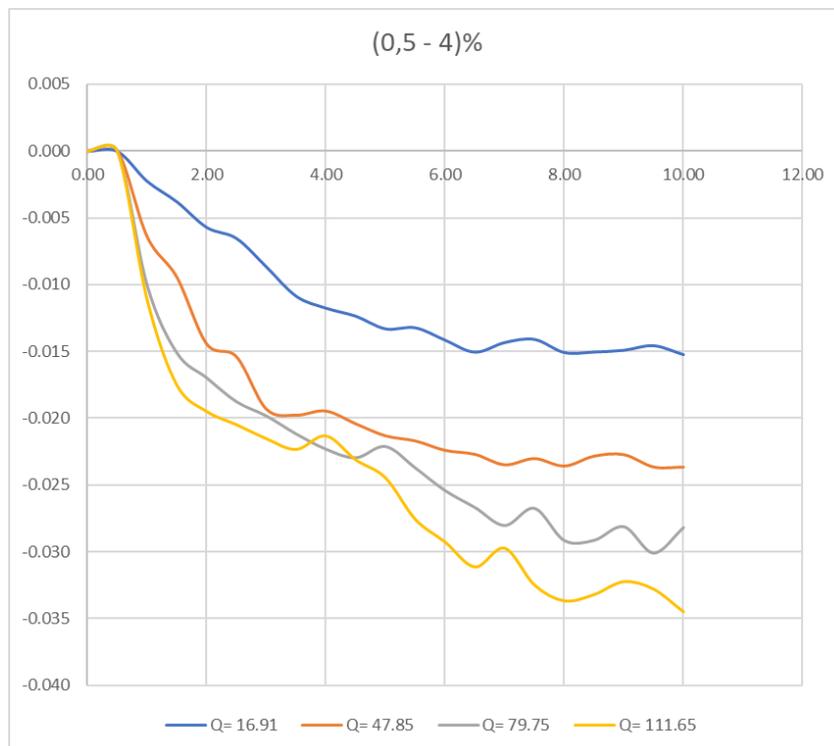


**Elaborado por:** Jorge David Paredes IpiALES

**Tabla 43:** Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocadas en elevación (PT 4% - PL 0.5%)

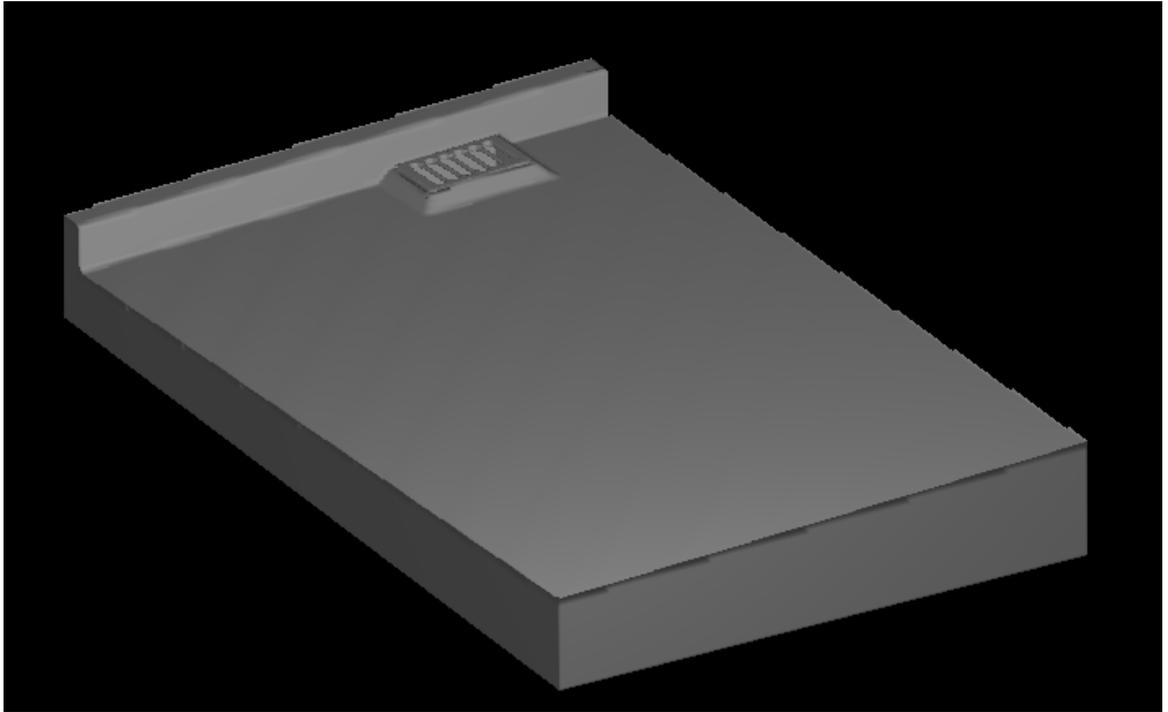
Tiempo	Caudal Lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal S. (47,85)	Caudal S. (79,75)	Caudal S. (111,65)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	-2.24	-6.43	-10.06	-11.12
1.50	-3.77	-9.48	-15.13	-17.51
2.00	-5.69	-14.46	-17.00	-19.47
2.50	-6.52	-15.42	-18.79	-20.47
3.00	-8.64	-19.34	-19.85	-21.51
3.50	-10.84	-19.79	-21.20	-22.33
4.00	-11.73	-19.48	-22.34	-21.31
4.50	-12.33	-20.44	-22.99	-23.10
5.00	-13.28	-21.34	-22.14	-24.45
5.50	-13.20	-21.72	-23.74	-27.55
6.00	-14.12	-22.43	-25.45	-29.26
6.50	-15.02	-22.73	-26.71	-31.12
7.00	-14.31	-23.51	-28.07	-29.72
7.50	-14.07	-23.04	-26.78	-32.48
8.00	-15.05	-23.60	-29.19	-33.66
8.50	-15.01	-22.86	-29.18	-33.19
9.00	-14.88	-22.75	-28.16	-32.23
9.50	-14.54	-23.68	-30.13	-32.79
10.00	-15.21	-23.68	-28.23	-34.49

**Figura 66:** Estabilización del flujo de captación en dos rejillas en serie colocadas en elevación (PT 4% - PL 0.5%)



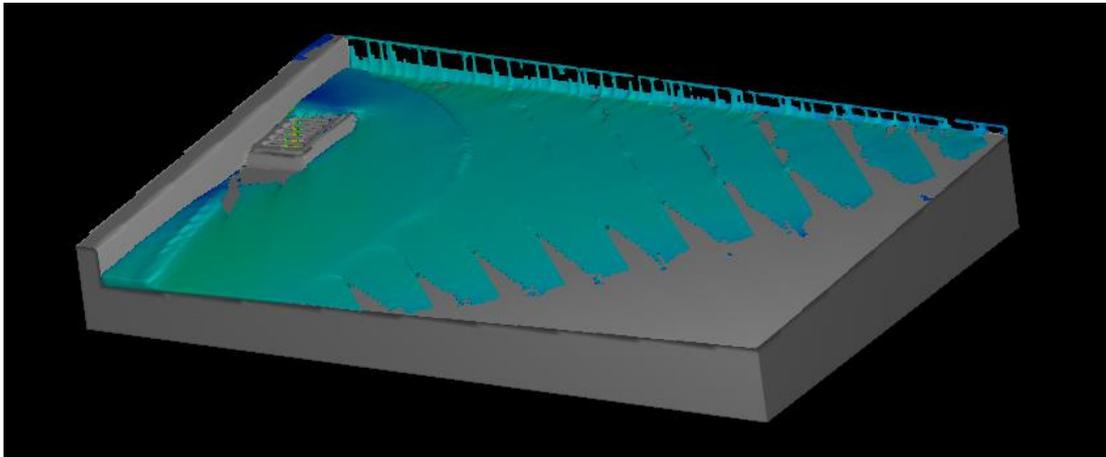
**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 67:** Render de un sumidero colocado en elevación (PT 4% - PL 4%)



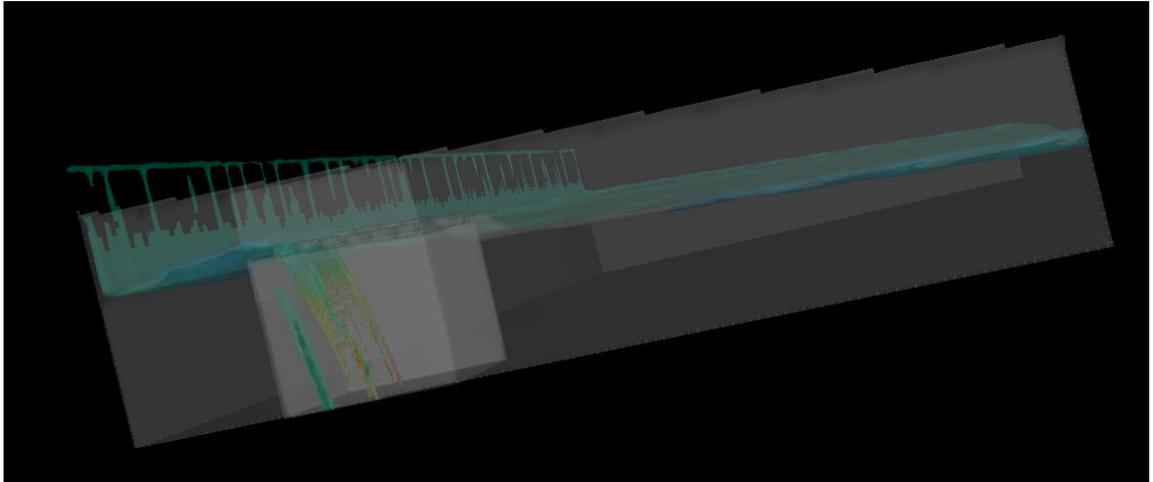
**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 68:** Caída de agua en un sumidero en elevación (PT 4% - PL 4%)



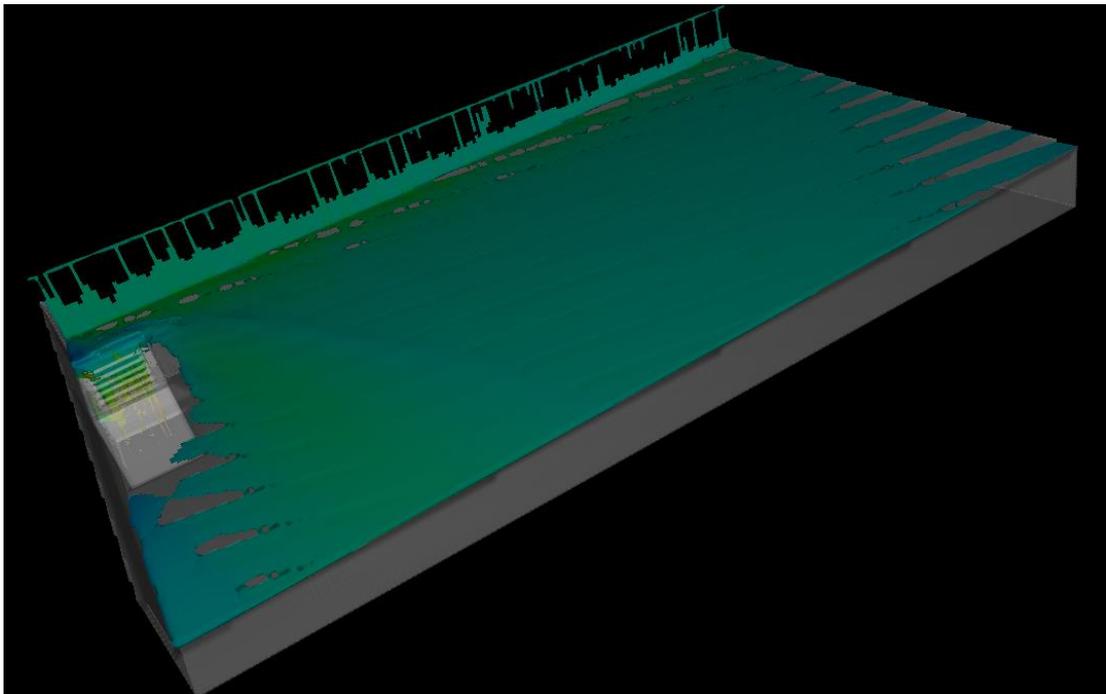
**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 69:** Render con transparencia , Caída de agua en la rejilla colocada en elevación (PT: 2% - PL: 8%)



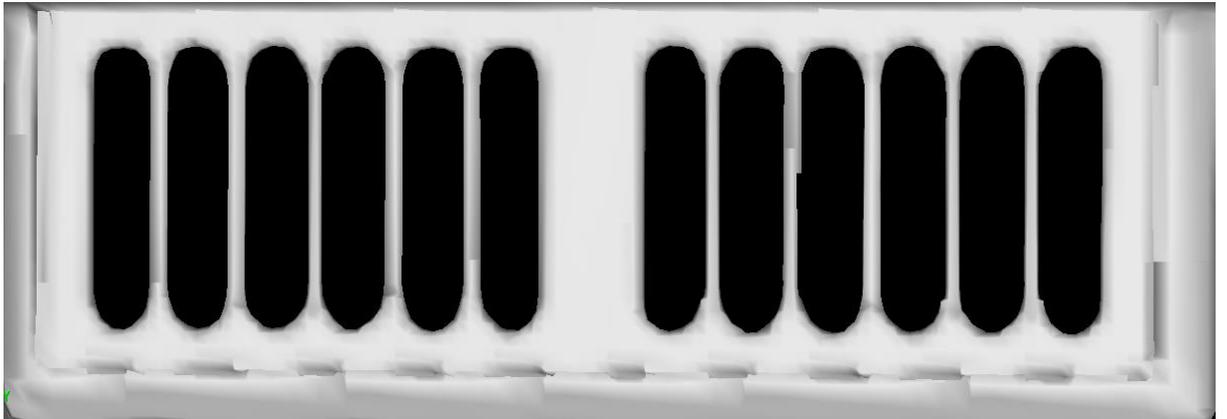
**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 70:** Render de caída de agua de escorrentía por el diseño de la vía



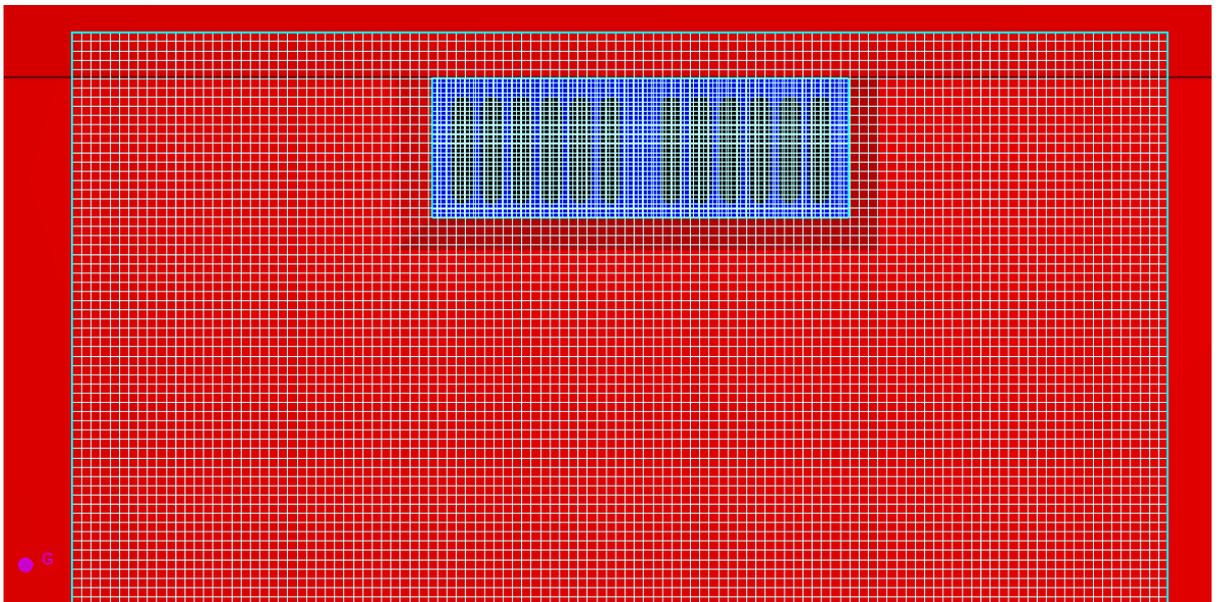
**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 71:** Render de dos sumideros colocados en serie



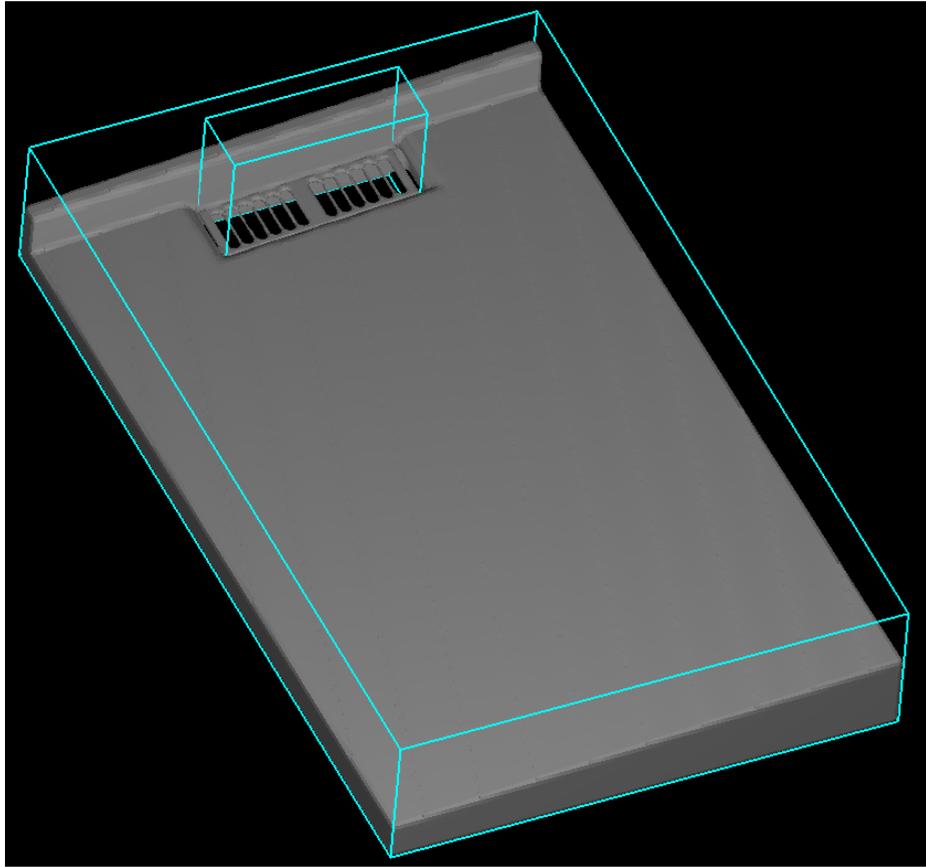
**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 72:** Mallado de los dos sumideros en serie



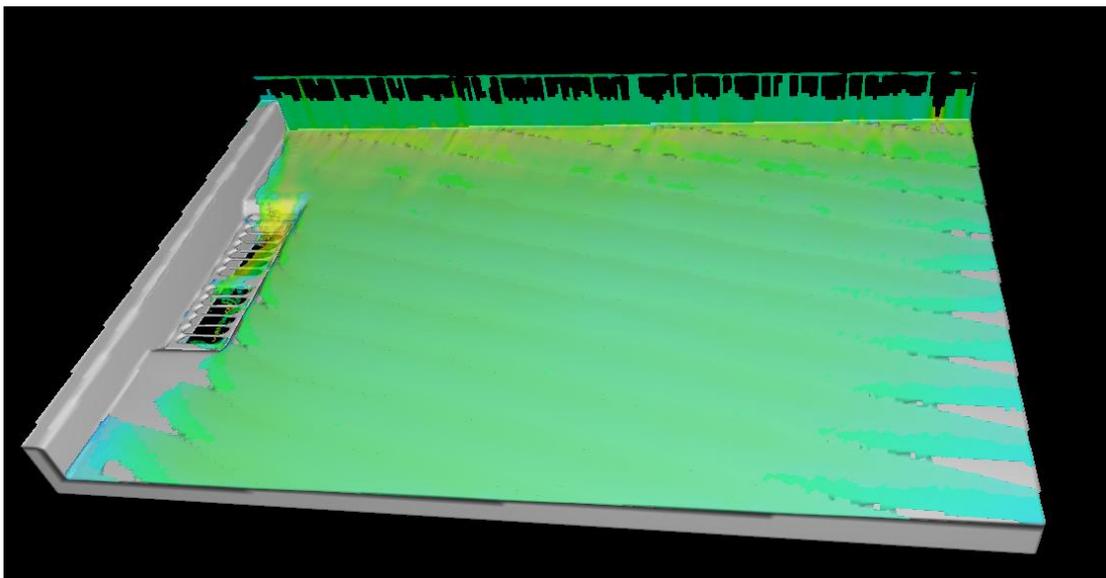
**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 73:** Render de dos sumideros en serie colocados en depresión



**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales

**Figura 74:** Caída de agua en dos sumideros en serie colocados en depresión, con una pendiente de longitudinal del 8% y una transversal de 2%



**Elaborado por:** Jorge David Paredes Ipiales