



**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 LONGITUDINAL A  
NIVEL DE VÍA, ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN, APLICANDO MECÁNICA DE  
FLUIDOS COMPUTACIONALES”**

---

**AUTOR:** Jaime Edmundo Robalino Torres

**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 LONGITUDINAL A NIVEL DE VÍA, ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**, elaborado por el Sr. Jaime Edmundo Robalino Torres, portador de la cedula de ciudadanía: C.I. 1804592523, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

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**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Jaime Edmundo Robalino Torres**, con C.I. 1804592523 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS TIPO T45 LONGITUDINAL A NIVEL DE VÍA, ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

**Ambato, Marzo 2021**



**Jaime Edmundo Robalino Torres**

**C.I. 1804592523**

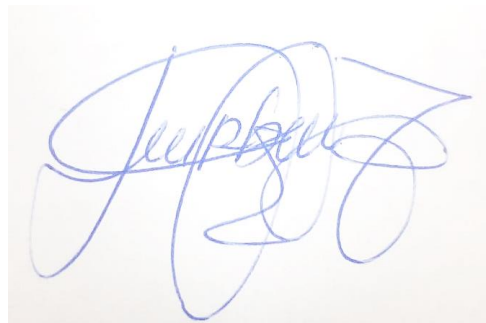
**AUTOR**

## **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 patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento 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**



**Jaime Edmundo Robalino Torres**

**C.I. 1804592523**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante **Jaime Edmundo Robalino Torres** de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: “**MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS TIPO T45 LONGITUDINAL A NIVEL DE VÍA, ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES**”.

**Ambato, Marzo 2021**

Para constancia firman:

-----  
**Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos**

**Miembro Calificador**

-----  
**Ing. Mg. Dilon Germán Moya Medina**

**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

*A mi padre Félix, que me ha inspirado todos los días desde pequeño guiándome por el camino del bien enseñándome hasta el mínimo detalle de las cosas que en la vida me iban a ayudar y sacar de problemas. La persona que me ha enseñado a seguir la carrera de mis sueños y que siempre estaré feliz y satisfecho al poder aprovechar la oportunidad y confianza que puso en mí.*

*A la mujer de mis sueños Doris, mi madre, la mejor mujer del mundo que simultáneamente con mi padre me han ido guiando por el camino del bien inculcándome valores. La mujer que desde un inicio me apoyó de diferentes maneras y sin dejar de empujarme hacia adelante para poder ser un profesional siempre deseándome lo mejor.*

*A mi hermana Andrea, quien siempre tuvo confianza y apoyo hacia mi persona y tengo la seguridad que siempre lo seguirá haciendo y mis logros pasados, presentes y futuros los seguiré celebrando con su apoyo.*

*A mi hermano y mejor amigo David, con quien he tenido el placer de compartir tantas vivencias y lo más importante tener experiencias de hermanos que nunca se olvidarán. La persona de quien he recibido palabras de aliento en los momentos en donde no tenía idea que hacer dentro de mi vida personal tanto como estudiante universitario.*

*A mi abuelita Matilde que se me adelantó en los planes de Dios, la mejor abuelita quien tuvo su apoyo incondicional durante todo el tiempo que estuvo con nosotros. Siempre tuvo confianza en mí y en mi vida de futuro profesional y toda la vida le agradeceré por toda la confianza vertida en mí.*

**JAIME EDMUNDO ROBALINO TORRES**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios, por brindarme siempre sabiduría y guiar mi vida por el camino del bien. Gracias Dios por todo lo que me has dado en la vida.*

*A mis padres por el apoyo brindado durante todos mis estudios desde niño hasta poder ser un profesional y que estén más orgullosos de mí.*

*Agradezco con todo mi corazón a mi familia (tíos/as, primos/as) quienes me abrieron sus brazos para poder llegar a mi objetivo.*

*A mis compañeros de tesis Andrea Acosta y David Paredes por el apoyo que tuvieron conmigo en momentos donde más los necesitaba durante el desarrollo del proyecto.*

*Un agradecimiento especial para mi tutor Ingeniero Lenin Maldonado quien me pudo guiar de manera correcta durante la realización de la investigación previa.*

*A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil quienes con sus conocimientos tanto teóricos como prácticos me fueron inculcando y guiando para ser un profesional de provecho para la sociedad.*

*A mis compañeros y amigos quienes me apoyaron y me dieron la mano durante toda la trayectoria estudiantil y poder llegar a mi objetivo como profesional.*

**JAIME EDMUNDO ROBALINO TORRES**

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xix
ABSTRACT .....	xx
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 Antecedentes investigativos .....	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Justificación.....	3
1.1.3 Fundamentación teórica.....	4
1.1.3.1 Análisis de la normativa para el diseño vial .....	4
1.1.3.2 Criterios de alineación.....	5
Velocidad de diseño .....	5
Ancho típico de la vía.....	6
Pendiente transversal .....	6
Pendiente longitudinal .....	7
1.1.3.3 Análisis hidrológico .....	8
1.1.3.3.1 Método racional .....	10
1.1.3.3.2 Coeficiente de escorrentía superficial .....	11
1.1.3.3.3 Área de drenaje .....	14
1.1.3.3.4 Tiempo de concentración .....	14
1.1.3.3.5 Período de retorno .....	15
1.1.3.3.6 Caudal de diseño .....	16



1.1.3.3.7 Duración de lluvia .....	16
1.1.3.3.8 Intensidad .....	16
1.1.3.3.9 Valor de la intensidad .....	17
1.1.3.4 Análisis hidráulico.....	18
1.1.3.4.1 Hidráulica de canales abiertos .....	18
1.1.3.4.2 Elemento geométrico .....	19
1.1.3.4.3 Tipo de flujo .....	20
1.1.3.4.4 Flujo permanente .....	20
1.1.3.4.5 Flujo no permanente .....	21
1.1.3.4.6 Flujo variado .....	21
1.1.3.4.7 Estado de flujo .....	22
1.1.3.4.8 Efecto de viscosidad .....	23
1.1.3.4.9 Flujo laminar .....	23
1.1.3.4.10 Flujo turbulento .....	23
1.1.3.4.11 Número de Reynolds .....	24
1.1.3.4.12 Energía específica .....	25
1.1.3.4.13 Número de Froude .....	26
1.1.3.4.14 Régimen del flujo .....	27
1.1.3.4.15 Ecuación de conservación de energía.....	28
1.1.3.4.16 Ecuación de cantidad de movimiento.....	29
1.1.3.4.17 Ecuación de continuidad .....	29
1.1.3.4.18 Ecuación de momentum .....	30
1.1.3.5 Introducción a los modelos hidráulicos .....	30
1.1.3.5.1 Análisis Dimensional (Modelos CFD).....	30
1.1.3.5.2 Diferencias entre modelos físicos y numéricos .....	31
1.1.3.6 Tipos de modelos numéricos .....	31
1.1.3.6.1 Modelo en 1D .....	32
1.1.3.6.2 Modelo 2D.....	32
1.1.3.6.3 Modelo 3D .....	33
1.1.3.7 Método de elementos finitos .....	34
1.1.3.8 Método de volúmenes finitos .....	34

1.1.4 Hipótesis .....	34
1.1.4.1 Hipótesis Alterna .....	34
1.1.4.2 Hipótesis Nula .....	35
1.2 Objetivos .....	35
1.2.1 Objetivo General .....	35
1.2.2 Objetivos específicos .....	35
CAPÍTULO II.....	36
METODOLOGÍA.....	36
2.1 MATERIALES .....	36
2.2 MÉTODOS .....	37
2.2.1 Nivel o tipo de investigación .....	37
Investigación exploratoria .....	37
Investigación descriptiva .....	37
Investigación explicativa .....	37
Investigación correlacional .....	37
2.2.2 Población y muestra .....	38
2.2.2.1 Población .....	38
2.2.2.2 Muestra .....	40
2.2.3. Plan de recolección de información .....	41
2.2.4. Plan de procesamiento y análisis .....	42
CAPÍTULO III .....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	43
3.1.1. presentación general del modelo .....	43
Investigaciones previas .....	43
3.1.2. Dimensiones generales del proyecto .....	44
Dimensiones generales de la vía .....	44
3.1.3. Combinaciones de caudales .....	46
3.1.4. Parámetros del modelo .....	47
Condiciones de fluido .....	47
Condiciones de borde .....	48
Condiciones de mallado .....	49

Tiempo de simulación .....	50
Valores de caudales .....	53
3.1.5. Valor de eficiencia.....	55
3.1.6. Escenarios de eficiencias.....	56
Elevación.....	56
Depresión .....	58
Nivel de vía .....	61
Elevación .....	63
Depresión .....	66
Nivel de vía .....	68
3.1.7. Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros .....	70
Elevación .....	70
Depresión .....	73
Nivel de vía .....	78
3.1.8. Comparación de eficiencias de modelo numérico vs modelo físico.....	80
3.1.9. Ecuaciones de eficiencia y tendencia.....	83
Elevación .....	84
Depresión .....	85
Nivel de vía .....	87
Elevación .....	88
Depresión .....	90
Nivel de vía .....	91
3.1.10. Ajuste alfa, beta y $R^2$ .....	93
Elevación .....	93
Depresión .....	94
Nivel de vía .....	94
Elevación .....	95
Depresión .....	95
Nivel de vía .....	96
3.2. Verificación De Hipótesis .....	96

CAPITULO IV.....	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	98
4.1. Conclusiones .....	98
4.2. Recomendaciones .....	100
BIBLIOGRAFÍA .....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Anchos de vía según su TPDA _____	6
<b>Tabla 2.-</b> Clasificación de pendiente transversal _____	7
<b>Tabla 3.-</b> Valores de diseño de pendientes longitudinales máximas _____	8
<b>Tabla 4.-</b> Factor de escorrentía según la topografía, suelos y cobertura _____	11
<b>Tabla 5.-</b> Factor de escorrentía según la topografía _____	12
<b>Tabla 6.-</b> Factor de escurrimiento en zonas urbanas _____	13
<b>Tabla 7.-</b> Factor de escorrentía para zonas de drenaje _____	13
<b>Tabla 8.-</b> Período de retorno en diferentes obras _____	15
<b>Tabla 9.-</b> Valores límites del número de Reynolds _____	25
<b>Tabla 10.-</b> Número de Froude en los tipos de flujo _____	27
<b>Tabla 11.-</b> Tipos de flujo Según Número de Reynolds y Número de Froude _____	28
<b>Tabla 12.-</b> Combinaciones de pendientes para elevación _____	38
<b>Tabla 13.-</b> Combinaciones de pendientes para depresión _____	39
<b>Tabla 14.-</b> Combinaciones de pendientes a nivel de vía _____	39
<b>Tabla 15.-</b> Combinaciones de pendientes en elevación para S1 y S2 _____	40
<b>Tabla 16.-</b> Combinaciones de pendientes en depresión para S1 y S2 _____	40
<b>Tabla 17.-</b> Combinaciones de pendientes en depresión para S1 y S2 _____	41
<b>Tabla 18.-</b> Combinaciones totales de análisis _____	46
<b>Tabla 19.-</b> Viscosidad dinámica del agua a varias temperaturas _____	47
<b>Tabla 20.-</b> Ejemplo, resultado de la simulación a nivel de vía con pendiente transversal 4% y longitudinal de 12% con un sumidero. _____	52
<b>Tabla 21.-</b> Transformación de caudal para escenario S1 y S2, bombeo 2% _____	54
<b>Tabla 22.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 2% en elevación con barrotes longitudinales _____	56
<b>Tabla 23.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 4% en elevación con barrotes longitudinales _____	57
<b>Tabla 24.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 2% en depresión con barrotes longitudinales _____	59
<b>Tabla 25.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 4% en depresión con barrotes longitudinales _____	60

<b>Tabla 26.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 2% a nivel de vía con barrotes longitudinales _____	61
<b>Tabla 27.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 4% a nivel de vía con barrotes longitudinales _____	62
<b>Tabla 28.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 2% en elevación con dos sumideros _____	64
<b>Tabla 29.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 4% en elevación con dos sumideros con barrotes longitudinales _____	65
<b>Tabla 30.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 2% en depresión con dos sumideros con barrotes longitudinales _____	66
<b>Tabla 31.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 4% en depresión con dos sumideros con barrotes longitudinales _____	67
<b>Tabla 32.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 2% a nivel de vía con dos sumideros con barrotes longitudinales _____	69
<b>Tabla 33.-</b> Valores de eficiencia con bombeo al 4% a nivel de vía con dos sumideros con barrotes longitudinales _____	70
<b>Tabla 34.-</b> Comparación de eficiencias hidráulicas de investigaciones anteriores vs datos de eficiencia actuales para las condiciones de 2 sumideros con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5% y 4% con barrotes longitudinales _____	81
<b>Tabla 35.-</b> Comparación de eficiencias hidráulicas de investigaciones anteriores vs datos de eficiencia actuales para las condiciones de 2 sumideros con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 12% con barrotes longitudinales. _____	82
<b>Tabla 36.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R2 _____	93
<b>Tabla 37.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R2 _____	94
<b>Tabla 38.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R2 _____	94
<b>Tabla 39.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R2 _____	95
<b>Tabla 40.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R2 _____	95
<b>Tabla 41.-</b> Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación R2 _____	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Cuenca Hidrológica e Hidrográfica _____	9
<b>Figura 2.-</b> Partes de la cuenca hidrográfica _____	9
<b>Figura 3.-</b> Estaciones pluviográficas del Ecuador _____	17
<b>Figura 4.-</b> Secciones de canales abiertos _____	19
<b>Figura 5.-</b> Flujo permanente _____	20
<b>Figura 6.-</b> Flujo no permanente _____	21
<b>Figura 7.-</b> Corte de la sección longitudinal del flujo rápidamente variable _____	22
<b>Figura 8.-</b> Corte de la sección longitudinal del flujo gradualmente variable _____	22
<b>Figura 9.-</b> Flujo laminar _____	23
<b>Figura 10.-</b> Flujo turbulento _____	24
<b>Figura 11.-</b> Energía específica en un flujo de superficie libre _____	25
<b>Figura 12.-</b> Modelo unidimensional _____	32
<b>Figura 13.-</b> Modelo bidimensional _____	33
<b>Figura 14.-</b> Modelo tridimensional _____	33
<b>Figura 15.-</b> Escenarios totales de sumideros tipo T45 _____	43
<b>Figura 16.-</b> Escenarios de estudio de sumideros tipo T45 _____	44
<b>Figura 17.-</b> Dimensiones de la vía _____	44
<b>Figura 18.-</b> Dimensiones de sumidero tipo T45 con barrotes longitudinales _____	45
<b>Figura 19.-</b> Vista 3D del sumidero tipo T45 con barrotes longitudinales _____	45
<b>Figura 20.-</b> Condiciones de borde _____	48
<b>Figura 21.-</b> Mallado de vía _____	49
<b>Figura 22.-</b> Mallado de sumidero tipo T45 _____	50
<b>Figura 23.-</b> Estabilización del flujo _____	53
<b>Figura 24.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales _____	57
<b>Figura 25.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales _____	58
<b>Figura 26.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en depresión con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales _____	59
<b>Figura 27.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en depresión con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales _____	60
<b>Figura 28.-</b> Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales _____	62

<b>Figura 29.-</b> Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales _____	63
<b>Figura 30.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales ____	64
<b>Figura 31.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales ____	65
<b>Figura 32.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales ____	67
<b>Figura 33.-</b> Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales ____	68
<b>Figura 34.-</b> Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales ____	69
<b>Figura 35.-</b> Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales ____	70
<b>Figura 36.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en elevación con pendiente longitudinal de 0.5%, con barrotes longitudinales entre modelo físico y modelo numérico _____	71
<b>Figura 37.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en elevación con pendiente longitudinal de 4%, con barrotes longitudinales entre modelo físico y modelo numérico _____	72
<b>Figura 38.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en elevación con pendiente longitudinal de 12%, con barrotes longitudinales entre modelo físico y modelo numérico _____	72
<b>Figura 39.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en elevación con pendiente longitudinal de 0.5%, con barrotes longitudinales entre modelo físico y modelo numérico _____	73
<b>Figura 40.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en elevación con pendiente longitudinal de 4%, con barrotes longitudinales entre modelo físico y modelo numérico _____	73
<b>Figura 41.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en elevación con pendiente longitudinal de 12%, con barrotes longitudinales entre modelo físico y modelo numérico _____	74



<b>Figura 42.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 0.5%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	75
<b>Figura 43.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 4%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	75
<b>Figura 44.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 12%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	76
<b>Figura 45.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en depresión con pendiente longitudinal de 0.5%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	77
<b>Figura 46.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en depresión con pendiente longitudinal de 4%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	77
<b>Figura 47.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en depresión con pendiente longitudinal de 12%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	78
<b>Figura 48.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 0.5%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	79
<b>Figura 49.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 4%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	79
<b>Figura 50.-</b> Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 12%, con barrotos longitudinales entre modelo físico y modelo numérico	80
<b>Figura 51.-</b> Comparación de eficiencias con datos anteriores vs datos actuales con dos sumideros y bombeo 2%	81
<b>Figura 52.-</b> Comparación de eficiencias con datos anteriores vs datos actuales con dos sumideros y bombeo 2% con barrotos longitudinales	83
<b>Figura 53.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotos longitudinales	84

<b>Figura 54.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	85
<b>Figura 55.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	86
<b>Figura 56.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	86
<b>Figura 57.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	87
<b>Figura 58.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	88
<b>Figura 59.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con 2 sumideros bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	89
<b>Figura 60.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con 2 sumideros bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	89
<b>Figura 61.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con 2 sumideros bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	90
<b>Figura 62.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con 2 sumideros bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	91
<b>Figura 63.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con 2 sumideros bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	92
<b>Figura 64.-</b> Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con 2 sumideros bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales	92

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La presente investigación tiene como objetivo el cálculo de la eficiencia hidráulica mediante un software de simulación utilizando principalmente la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Los datos que se obtuvieron en esta investigación fueron comparados con datos anteriores del modelo a escala 1:4 mismos que previamente se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato.

Las condiciones que se tomaron en cuenta fueron valores de pendientes como: la transversal (bombeo): 2 y 4 por ciento y longitudinal 0.5, 4 y 12 por ciento. Los caudales que se ocuparon para las simulaciones fueron valores a escala real para uno y dos sumideros: 16.91 lt/s, 47.85 lt/s, 79.75 lt/s y 111.65 lt/s.

La investigación experimental tuvo tres enfoques diferentes: el primero viene dado con la colocación de los sumideros en elevación, el segundo se refiere a la colocación de los sumideros en depresión y el tercero con la colocación de los sumideros a nivel de vía.

Se determinó que, los valores de eficiencia son altos al momento de tener un caudal mínimo como 16.91 lt/s pero al aumentar su caudal su eficiencia disminuye independientemente de la cantidad de sumideros T45 con barrotes longitudinales y de las variaciones de pendiente longitudinal.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to calculate the hydraulic efficiency by means of a simulation software using mainly the Ecuadorian Road Standard NEVI-12. The data obtained in this research were compared with previous data of the 1:4 scale model, which were previously carried out in the laboratories of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering belonging to the Technical University of Ambato.

The conditions taken into account were slope values such as: transverse (pumping): 2 and 4 percent and longitudinal 0.5, 4 and 12 percent. The flow rates used for the simulations were full-scale values for one and two drains: 16.91 lt/s, 47.85 lt/s, 79.75 lt/s and 111.65 lt/s.

The experimental investigation had three different approaches: the first one is given with the placement of the sumps in elevation, the second one refers to the placement of the sumps in depression and the third one with the placement of the sumps at track level.

It was determined that the efficiency values are high at a minimum flow rate of 16.91 lt/s, but as the flow rate increases, its efficiency decreases regardless of the number of T45 drains with longitudinal bars and the variations in the longitudinal slope.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes investigativos

#### 1.1.1 Antecedentes.

El recurso con mayor importancia que la humanidad ha tenido es el agua debido a que garantiza la calidad y nivel de vida de la población, sin embargo, es importante conocer el comportamiento que éste presenta en la naturaleza. Todas las ciudades del planeta deben realizar un desalojo de las aguas lluvia para poder evitar inundaciones en todos los sectores de las mismas. [1]

Para el desalojo de las aguas lluvia se debe tener un sistema de alcantarillado pluvial y en éste se encuentran los sumideros los mismos que están diseñados para la recolección de agua y se encuentran a un costado de la vía sin interferir en la afluencia normal del tráfico vehicular y peatonal siendo diseñados para que escombros o basuras no influyan en el correcto funcionamiento de los sumideros. [2]

Las obras de drenaje como las alcantarillas y los caños tienden a presentar problemas cuando el caudal a desalojar es mayor a la capacidad del mismo es por ello que se necesita un buen diseño de ramblas. Todos los elementos que forman parte para un correcto drenaje de las aguas lluvia está incluido el correcto diseño de la vía ya que, si no tiene un porcentaje de pendiente correcto el flujo de agua se puede desbordar y realizar daños a la calzada. El inadecuado drenaje y el aumento de flujo vehicular tienen consecuencias negativas en la vía al poder causar formaciones de depresiones o surcos. [3]

En México se realizó un estudio de las crecidas de las precipitaciones y sus impactos donde afecta en una escala mayor al sistema de drenajes y su comportamiento, en específico las rejillas que absorben el agua pluvial ya que en su inicio fueron diseñadas para proteger a la ciudadanía de las inundaciones. [4]

En España la Institución de Carreteras se ha destacado a través de los años debido a su análisis de recolección de agua mediante sumideros existentes en las vías tomando en cuenta criterios hidromorfológicos para una mejor eficiencia. En el país de Estados Unidos han establecido una norma en donde puedan establecer valores de pendientes transversales y longitudinales, sección tipo, topografía entre otros escenarios para un mejor drenaje. [3]

En Argentina han demostrado mediante varios estudios que la eficiencia de los sumideros tiene un valor del 70% debido a diversos factores donde disminuyen su eficiencia como las combinaciones de pendientes tanto longitudinales y transversales, el material arrastrado por el agua lluvia, el caudal de ingreso y otros factores más. [5]

En el Ecuador se han ocasionado varios colapsos del sistema de alcantarillado debido a que éstos no recogen la totalidad del flujo de agua y dentro del agua se movilizan basuras y escombros que no ayudan al normal desfogue y funcionamiento de las tuberías que constituyen en el sistema de alcantarillado.

Ecuador como varios países del mundo han desarrollado diferentes formas para determinar la eficiencia de los sumideros. En nuestro país se han realizado investigaciones de modelos físicos y matemáticos a escala para tener datos más reales sobre el funcionamiento y variables que se puede dar a los sumideros con la utilización de software especializado llamado FLOW 3D.

### **1.1.2 Justificación**

“El agua proveniente de precipitaciones atmosféricas, una vez que se encuentra en la superficie, corre a lo largo de las calles pendiente abajo; su presencia hace que los materiales constitutivos de la estructura vial tengan comportamientos particulares a diferentes sollicitaciones”. [5]

Se han buscado metodologías y formas que ayuden a disminuir la peligrosidad ante la presencia del agua lluvia con el apoyo de mapas de peligrosidad y riesgo pluvial teniendo un conocimiento completo en el desarrollo de caudales y profundidades de flujo en las calles de diferentes zonas tales como urbanas y rurales. [6]

La dificultad con las inundaciones urbanas por el agua lluvia se da por la falta de capacidad, mal funcionamiento de la red de drenaje o la presencia de basura donde estos sistemas de drenaje tienen la funcionalidad de reducir o eliminar las corrientes de agua, sin embargo, es notorio que han sido diseñados para conducir agua proveniente de la superficie de una forma inmediata y se han creado sumideros de varios tipos con distinta geometría para ayudar de manera rápida y eficaz la disminución y el desalojo del agua. [7] [8]

Los sumideros son elementos estructurales de gran relevancia para los alcantarillados de aguas lluvias los cuales se encargan de recolectar la escorrentía que se produce en la superficie de las áreas de drenaje siendo estas conducidas por un sistema de tuberías internas de condiciones establecidas. [9]

En Ecuador se han evidenciado inundaciones de gran magnitud en las distintas regiones del país como consecuencia de las excesivas lluvias, de la crecida de ríos, cambios climáticos y el crecimiento de la población sobre las cuencas urbanas en los

últimos años. Por esta razón se ha visto la necesidad de buscar nuevas alternativas para el diseño de sumideros que permitan un mejor desalojo del agua lluvia, evitando inundaciones y mejorando su distribución. [10] [11]

Con la existencia de una gran variedad de software en el mercado se ha seleccionado el CFD siendo un programa que permite simular el recorrido del agua desde el momento de su caída hasta la descarga y en el cual se puede verificar las varias alternativas posibles y seleccionar la más apropiada. [12]

Por esta razón se requiere presentar nuevas alternativas de diseño de sumideros que tengan diversas formas geométricas con el propósito de mejorar la eficiencia de captación y obtener modelos similares o superiores a los anteriores. [13] Para lograr esto se realizará modelos computacionales de los distintos sumideros, se analizará el comportamiento de cada uno siguiendo de manera adecuada los criterios hidráulicos e hidrológicos con su respectiva normativa proponiendo un buen sistema de drenaje. [5]

### **1.1.3 Fundamentación teórica.**

Los sumideros son estructuras encargadas de recolectar el agua superficial de la vía y conducirlas al sistema de alcantarillado generando seguridad y posibles inundaciones para que no exista daño en zonas urbanas tanto en predios públicos y privados.

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

En el Ecuador existen entidades como el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) que regula todo el entorno vial del país mediante planes estratégicos. Éste Ministerio realiza una clasificación vial dependiendo su uso e importancia donde los factores a considerar está el volumen de tráfico, número de carriles y cada vía con sus condiciones hidráulicas como los alcantarillados viales y drenajes.



En Ecuador se cita diferentes normas aplicables para el diseño vial:

La Norma Ecuatoriana Vial (NEVI) se encarga de regular, planear, programar y presentar pautas que garanticen la duración vial, así como su mantenimiento y así asegurar la libre movilidad por el territorio nacional con un transporte libre y seguro con visión en el desarrollo social y económico. [14]

El Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) se encarga de satisfacer las necesidades nacionales en diferentes campos y así contribuir al mejoramiento y calidad de los materiales que se presentan al consumidor. [14]

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

En el diseño vial se tiene como componentes esenciales el alineamiento transversal y alineamiento longitudinal en donde estos se encargan de ofrecer una visibilidad óptima, seguridad, velocidad, capacidad de carga manteniendo los criterios de diseño iniciales.

- **Velocidad de diseño**

También conocida como velocidad de proyecto, es la velocidad máxima la cual el vehículo debe circular por la vía. Los límites que se detallan en el diseño de una vía no se deben exceder porque debe brindar seguridad a vehículos durante todo el tiempo que se encuentren en circulación y en cualquier tipo de calzada ya sea urbana o rural. [15]

- **Ancho típico de la vía**

El ancho de la vía se conforma por tipo de pavimento, cuneta, espaldones, taludes interiores y exteriores y dependen del volumen de tráfico y del tipo de carretera. Para poder determinar su ancho se debe tener en cuenta diferentes factores como el volumen de tráfico el tipo de carretera como: autopistas (RI-RII), Vías con circulación en ambos sentidos (I) y (II), vías colectoras que acogen el tráfico de caminos vecinales (I-II-III-IV) y los caminos rurales (IV-V)

En la tabla 1 se detalla los tipos de carretera relacionadas con su Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

**Tabla 1.-** Anchos de vía según su TPDA

<b>ANCHO DE LA VÍA</b>		
<b>Clases de la carretera</b>	<b>Ancho de la calzada(m)</b>	
	<b>Recomendable</b>	<b>Absoluto</b>
R-I o R-II >8000 TPDA	7.30	7.30
I 3000 a 8000 TPDA	7.30	7.30
II 1000 a 3000 TPDA	7.30	6.50
III 300 a 1000 TPDA	6.70	6.00
IV 100 a 300 TPDA	6.00	6.00
V < de 100 TPDA	4.00	4.00

**Fuente:** Norma de Diseño Geométrico de Carreteras [16]

- **Pendiente transversal**

El diseño vial consta de una pendiente transversal o conocida también como bombeo que va desde el eje central de la vía hasta el borde para que el agua se escurra a los costados de la vía. Para que exista un bombeo óptimo la Norma NEVI recomienda que su pendiente sea igual o mayor al 2% y en sectores donde la lluvia la pendiente se incrementa al 2.5% [16]

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas recomienda para el diseño vial ocupar los valores de pendiente que se presenta en la tabla 2.

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

<b>CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES TRANSVERSALES</b>	
<b>Clase de carretera</b>	<b>Gradiente transversal (%)</b>
R-I o R-II >8000 TPDA	1.5 - 2
I 3000 a 8000 TPDA	1.5 - 2
II 1000 a 3000 TPDA	2
III 300 a 1000 TPDA	2
IV 100 a 300 TPDA	2.5 - 4
V < de 100 TPDA	4

**Fuente:** Norma de Diseño Geométrico de Carreteras [16]

- **Pendiente longitudinal**

La pendiente longitudinal de la vía depende de la topografía del terreno y su volumen de tránsito. Es recomendable realizar pendientes bajas teniendo como mínimo el valor de 0.5% debido a que mantiene relación directa con el drenaje vial.

La pendiente máxima se debe ocupar en construcciones viales en áreas urbanas y en bajadas pronunciadas donde la dirección de la vía sea en un solo sentido. [16]

En la tabla 3 se presenta los valores máximos de pendiente que se pueden ocupar en diferentes tipos de vías donde:

*L: Terreno llano.*

*O: Terreno ondulado.*

*M: Terreno montañoso.*

**Tabla 3.-** Valores de diseño de pendientes longitudinales máximas

<b>VALORES DE DISEÑO DE PENDIENTES LONGITUDINALES MÁXIMAS</b>						
<b>Clase de Carretera</b>	<b>Valor Recomendado %</b>			<b>Valor absoluto %</b>		
	<b>L</b>	<b>O</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>O</b>	<b>M</b>
R-I o R-II >8000 TPDA	2	3	4	3	4	6
I 3000 a 8000 TPDA	3	4	6	3	5	7
II 1000 a 3000 TPDA	3	4	7	4	6	8
III 300 a 1000 TPDA	4	6	7	6	7	9
IV 100 a 300 TPDA	5	6	8	6	8	12
V < de 100 TPDA	5	6	8	6	8	14

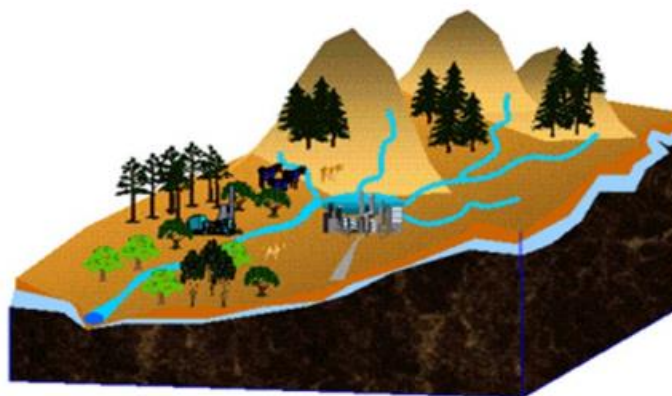
**Fuente:** Normas de Diseño Geométrico de Carreteras [16]

### **1.1.3.3 Análisis hidrológico**

El análisis hidrológico es importante para el diseño de carreteras debido a que se enfoca en varias características como cuantificación, simulación y evaluación del funcionamiento en las cuencas hidrográficas.

Las cuencas hidrográficas es un área natural donde el agua proveniente de las precipitaciones forma un cauce principal de agua y tiene un punto de drenaje en común.  
[17]

**Figura 1.-**Cuenca Hidrológica e Hidrográfica

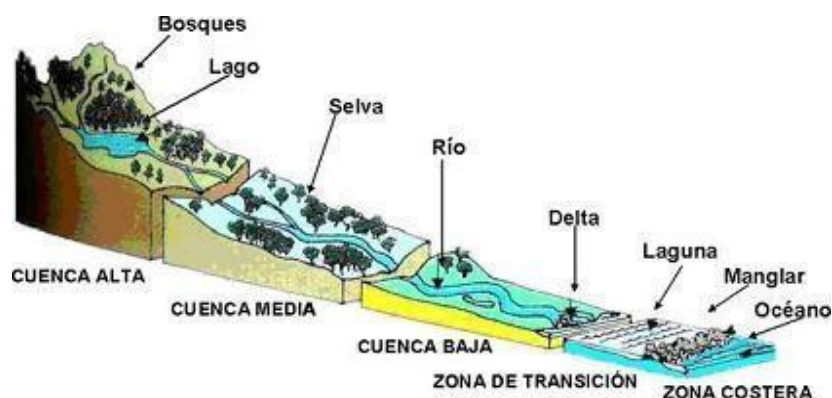


**Fuente:** J. Ordoñez, Cartilla técnica: aguas subterráneas - acuíferos, 2011 [31]

La cuenca hidrográfica está constituida por:

- Cuenca alta: Corresponde a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros siendo limitadas por divisorias de agua.
- Cuenca media: Se unen escorrentías de las partes altas y donde el cauce principal mantiene definido su dirección.
- Cuenca baja: El cauce principal desemboca a ríos mayores o en estuarios y humedales en las partes bajas. [17]

**Figura 2.-** Partes de la cuenca hidrográfica



**Fuente:** J. Ordoñez, Cartilla técnica: aguas subterráneas - acuíferos, 2011 [31]

### 1.3.3.3.1 Método racional

Es uno de los métodos más utilizados para calcular un valor estimado del caudal máximo asociado a la lluvia de diseño. El método racional se utiliza normalmente para diseñar obras de drenaje urbano y rural y tiene una ventaja la cual es no requerir datos hidrométricos.

El método racional presenta algunas limitaciones de diseño:

- Supone que la lluvia es uniforme en el tiempo (intensidad constante) lo cual es verdad, pero en tiempos cortos de lluvia.
- Supone también que la lluvia es uniforme en toda el área de diseño de la cuenca lo cual solo es válido en áreas pequeñas.
- La escorrentía es directamente proporcional a la precipitación, pero esto no es certificado en su totalidad ya que, la escorrentía depende de varios factores: humedad, precipitaciones, etc. [18]

El método racional se lo representa mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 0.278 * C * I * A \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$Q$ = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

$C$ = Coeficiente de escorrentía

$I$ = Intensidad de precipitación (mm/h)

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

### 1.1.3.3.2 Coeficiente de escorrentía superficial

Representa la porción de precipitación que no se infiltra en el terreno y la precipitación total la cual disminuye debido a fenómenos de infiltración. Este coeficiente depende de varios factores como: tipo de zona, duración de la precipitación entre otros. Los valores del coeficiente de escorrentía superficial son adimensionales y pueden variar entre  $0 \leq c \leq 1$ .

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

FACTORES DE CLASIFICACIÓN		VALORES DE C` (*)
Topografía	Terreno plano, con pendiente de 0.15%	0.30
	Terreno ondulado, con pendiente de 0.35%	0.20
	Terreno accidentado, con pendiente de 4.00%	0.10
Suelos	Arcilloso - Firme	0.10
	Arcilloso - Arenoso	0.20
	Arcilloso - arenoso suelto	0.40
Cobertura	Terrenos cultivados	0.10
	Bosques	0.20

**Fuente:** G. Pérez, J. Rodríguez, Apuntes de Hidrología Superficial, 2009 [19]

**Tabla 5.-** Factor de escorrentía según la topografía

<b>TOPOGRAFÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE SUELOS O TIPOS DE SCS</b>	<b>COBERTURA VEGETAL</b>	<b>COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C</b>
Llana	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo Bosque	0.50 0.40
	Arcilla-arenoso firme (C y D)	Cultivo Bosque	0.40 0.30
	Arcilla – arenoso abierto (A)	Cultivo Bosque	0.20 0.10
Ondulada	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo Bosque	0.60 0.50
	Arcilla -arenoso firme (C y D)	Cultivo Bosque	0.50 0.40
	Arcilla – arenoso abierto (A)	Cultivo Bosque	0.30 0.20
Accidentada	Arcilloso firme impenetrable (D)	Cultivo Bosque	0.70 0.60
	Arcilla – arenoso firme (C Y B)	Cultivo Bosque	0.60 0.50
	Arcilla-arenoso abierto (A)	Cultivo Bosque	0.20 0.30

**Fuente:** G. Pérez, J. Rodríguez, Apuntes de Hidrología Superficial, 2009 [19]



**Tabla 6.-** Factor de escurrimiento en zonas urbanas

<b>TIPO DE ZONA</b>	<b>VALORES DE C</b>
<b>Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas</b>	0.7 – 0.9
<b>Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles. Pavimentadas</b>	0.7
<b>Zonas residenciales medianamente pobladas</b>	0.55 – 0.65
<b>Zonas residenciales con baja densidad</b>	0.35 – 0.55
<b>Parques, campos de deportes</b>	0.1 – 0.2

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, EX-IEOS [21]

**Tabla 7.-** Factor de escorrentía para zonas de drenaje

<b>TIPO DE SUPERFICIE</b>	<b>C</b>
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfáltico en buenas condiciones	0.85 – 0.9
Pavimentos de hormigón	0.80 – 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 – 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 – 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 – 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 – 0.3
Parques o Jardines	0.05 – 0.25

**Fuente:** G. Pérez, J. Rodríguez, Apuntes de Hidrología Superficial, 2009 [19]

### 1.1.3.3.3 Área de drenaje

También conocida como cuenca colectora, área de captación o cuenca de drenaje, es el área drenada dentro de una corriente en un punto dado y donde está delimitada por la topografía del terreno. Sus unidades están dadas por kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) o hectáreas (Ha).

En las zonas rurales el área de drenaje corresponde al área de la cuenca, en zonas urbanas se lo debe calcular a partir de la superficie del sistema de drenaje. Cuando se tiene diferentes tipos de superficies se debe clasificar en sub áreas y adjudicarle un valor de coeficiente de escorrentía a cada uno. [18]

### 1.1.3.3.4 Tiempo de concentración

Es el tiempo en el que el agua se demora en recorrer desde el punto más lejano hasta la salida de la cuenca realizando una trayectoria pluvial en dirección de la corriente. El tiempo de concentración tendrá un valor mayor si su alcance es de grandes dimensiones, sin embargo, si existe una pendiente de alto valor el tiempo de concentración será corto debido a la velocidad de flujo que aumentará. [19]

El valor del tiempo de concentración de drenaje pluvial viene dado por:

$$tc = to + tf \qquad \text{Ec. 2}$$

Donde:

*tc*= tiempo de concentración(min)

*to*= tiempo de entrada (tiempo en que la lluvia llegue al sistema en minutos)

*tf*= tiempo de flujo (tiempo en que la lluvia se mantiene en el sistema en minutos)

### 1.1.3.3.5 Período de retorno

Es el promedio de tiempo promedio en años en donde el caudal máximo de creciente es igual o excede el acontecimiento ya que estos escenarios son impredecibles. Conocido también como intervalo de recurrencia “T” que utiliza probabilidades en donde los eventos naturales puedan volver a ocurrir. [20]

Para determinar el valor del período de retorno de toma en cuenta algunas especificaciones como la vida útil de la estructura y así como las características de la cuenca y su drenaje.

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

<b>TIPO DE OBRA</b>	<b>PERIODO DE RETORNO (AÑOS)</b>
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructura de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz mayores o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

**Fuente:** Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías, Manual de drenaje para carreteras, 2009 [17]

#### **1.1.3.3.6 Caudal de diseño**

Cantidad de agua recolectada en el área de drenaje la cual depende del período de retorno, las especificaciones de la obra hidráulica y la importancia de la misma. Se debe tomar en cuenta todos los campos tanto favorables como desfavorables como las crecidas de caudales para ser tomados en cuenta en el momento del diseño.

#### **1.1.3.3.7 Duración de lluvia**

Es el tiempo desde que empieza hasta el momento que termina la precipitación y éste depende del tiempo de concentración del agua. Este valor se obtiene mediante estudios hidrológicos de la zona de estudio para determinar las curvas de intensidad, duración y frecuencia.

#### **1.1.3.3.8 Intensidad**

Es la cantidad de lluvia que cae en un punto determinado que relaciona unidad de tiempo y la duración de lluvias siendo inversamente proporcionales. Para el cálculo y diseño de obras hidráulicas es de vital importancia conocer datos y eventos que han transcurrido durante los años como intensidades extremas de precipitaciones, duración y frecuencia [21]. Comúnmente la intensidad se mide en milímetros sobre unidad de tiempo.

Para determinar la intensidad se la puede hacer mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{t} \quad Ec. 3$$

Donde:

$$I = \text{Intensidad (mm/h)}$$

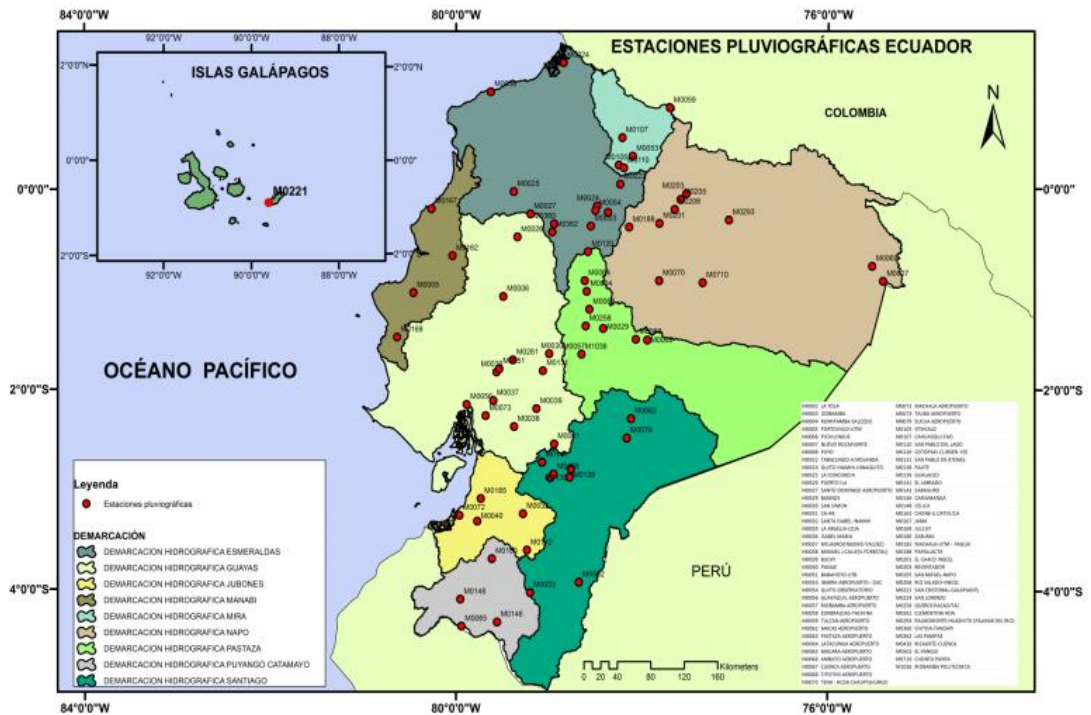
$$P = \text{Precipitación (mm)}$$

$$t = \text{Duración (h)}$$

### 1.1.3.3.9 Valor de la intensidad

El INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología) tiene como objetivo determinar los valores de intensidades máximas de precipitación con el uso de estaciones pluviográficas. [22]

Figura 3.- Estaciones pluviográficas del Ecuador



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. 2015 [32]

El INAMHI presenta una ecuación para obtener el valor de intensidad máxima:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad Ec. 4$$

Donde:

*I = Intensidad (mm/h)*

*T = Período de retorno (años)*

*t = Tiempo de duración (minutos)*

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

#### **1.1.3.4 Análisis hidráulico**

Conocido también como modelación hidráulica, determina las condiciones de importancia que se debe tomar en cuenta en una obra hidráulica.

##### **1.1.3.4.1 Hidráulica de canales abiertos**

Flujos que se presentan en superficie libre que circulan por acción de la gravedad y se pueden presentar de forma natural como en ríos, lagos, etc., y en canaletas donde se usa materiales para su formación acorde a las necesidades.








El caudal en canales abiertos actúa de manera independiente para su cálculo y dependen de la corriente para diseñar con una forma geométrica en específico como trapezoidal, cuadrada, rectangular, etc. [23]

### 1.1.3.4.2 Elemento geométrico

Son secciones por donde el caudal puede circular de una forma libre, se los utiliza para el diseño hidráulico y dependiendo de las necesidades y la topografía se selecciona el que posea propiedades más favorables.

Las secciones más comunes que se utilizan para el diseño de canales son circulares, rectangulares, triangulares, trapezoidales y parabólicas en donde cada distancia de los canales tiene su nomenclatura:

**Figura 4.-** Secciones de canales abiertos

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico $R_H = A/P$	Ancho superior T	Profundidad hidráulica $D = A/T$	Factor de sección Z
 Rectangular	$B y$	$B + 2y$	$\frac{By}{B + 2y}$	B	y	$B y^{1.5}$
 Trapezoidal	$(B + my)y$	$B + 2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{(B + my)y}{B + 2y\sqrt{1 + m^2}}$	$B + 2my$	$\frac{(B + my)y}{B + 2my}$	$\frac{[(B + my)y]^{1.5}}{\sqrt{B + 2my}}$
 Triangular	$my^2$	$2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{my}{2\sqrt{1 + m^2}}$	$2my$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}my^{2.5}$
 Circular	Ángulo en grados $\frac{1}{8} (\pi - \theta - \text{sen } \theta) d_0^2$	Ángulo en grados $\frac{1}{2} \frac{\pi - \theta}{180} d_0$	Ángulo en grados $\frac{1}{4} \left( 1 - \frac{180 \text{sen } \theta}{\pi - \theta} \right) d_0$	Ángulo en grados $\left( \frac{\text{sen } \theta}{2} \right) d_0$	$\frac{1}{8} \left( \frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{\theta}{2}} \right) d_0$	$\frac{\sqrt{2}}{32} \frac{(\theta - \text{sen } \theta)^{1.5}}{\left( \frac{\text{sen } \theta}{2} \right)^{0.5}} d_0^{2.5}$
 Parabólica	$\frac{4}{3} \sqrt{\frac{y^3}{k}}$	$T + \frac{8}{3} \frac{y^2}{T}$	$\frac{2T^2 y}{3T^2 + 8y^2}$	$2\sqrt{\frac{y}{k}}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{9} \sqrt{6} T y^{1.5}$
 Rectangular con esquinas redondeadas ( $y > r$ )	$\left( \frac{\pi}{2} - 2 \right) r^2 + (B + 2r)y$	$(\pi - 2)r + B + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (B + 2r)y}{(\pi - 2)r + B + 2y}$	$B + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{B + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (B + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{B + 2r}}$
 Triangular con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4m} - \frac{r^2}{m} (1 - m \cot^{-1} m)$	$\frac{T}{m} \sqrt{1 + m^2} - \frac{2r}{m} (1 - m \cot^{-1} m)$	$\frac{A}{P}$	$2[m(y - r) + r\sqrt{1 + m^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A \sqrt{\frac{A}{T}}$

**Fuente:** Ven Te Chow, Hidráulica de canales abiertos, 2004 [23]

- Profundidad de flujo (y): Es conocida como tirante o calado, es la diferencia entre el punto más bajo y espacio libre.

- Nivel de elevación: Medida vertical sobre una cota establecida.
- Ancho superficial ( $T$ ): Ancho que presenta el canal.
- Área mojada ( $A$ ): Área de la sección de un flujo en movimiento.
- Perímetro mojado ( $Pm$ ): Longitud que rodea la superficie mojada del canal.
- Radio hidráulico ( $Rh$ ): Relación entre el área y perímetro mojado.
- Profundidad hidráulica ( $D$ ): Relación entre área mojada y ancho superficial.
- Factor de sección ( $AR^{\frac{2}{3}}$ ): Producto entre el área mojada y radio hidráulica del canal, esta expresión es elevada a  $2/3$ . [23]

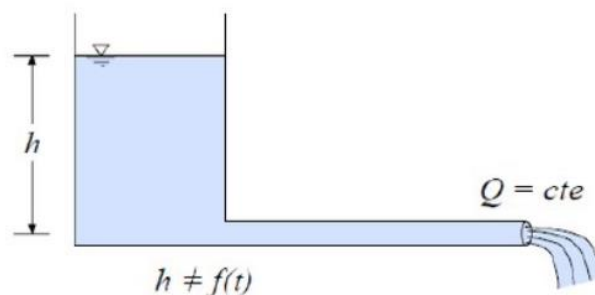
#### 1.1.3.4.3 Tipo de flujo

En los canales abiertos se mantiene la superficie libre y presentan diferentes tipos de flujo con un comportamiento diferente donde se considera un parámetro primordial la profundidad del flujo y su velocidad durante un tiempo determinado. [24]

#### 1.1.3.4.4 Flujo permanente

Su característica principal se debe a que las condiciones de velocidad de escurrimiento no varían con el tiempo, es decir, permanecen constantes. [24]

**Figura 5.-** Flujo permanente



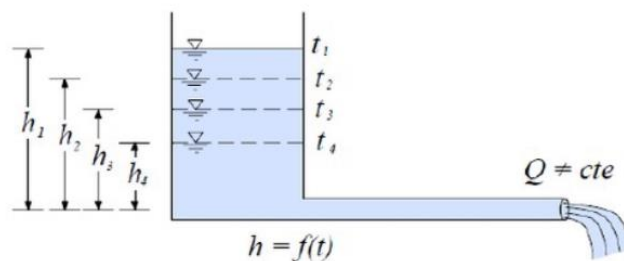
**Fuente:** Raquel De La Cruz, Flujo de fluidos líquidos, 2019 [33]



#### 1.1.3.4.5 Flujo no permanente

Las propiedades y características mecánicas de los fluidos serán diferentes de un punto a otro dentro de un mismo campo, es decir, la altura del fluido varía en un determinado tiempo. [24]

Figura 6.- Flujo no permanente



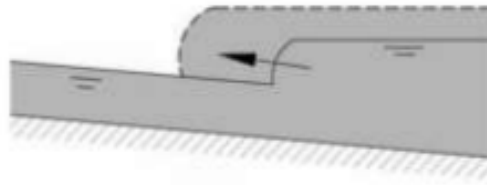
Fuente: Raquel De La Cruz, Flujo de fluidos líquidos, 2019 [33]

#### 1.1.3.4.6 Flujo variado

Los ejemplos más representativos dentro del flujo variado es el resalto y caída hidráulicos donde se encuentran secciones, velocidades, variación de profundidad. El flujo variado tiene una clasificación: flujo rápidamente variable y flujo gradualmente variado. [22]

El flujo rápidamente variable indica variaciones notorias en períodos de tiempo cortos y se muestran como pequeños remolinos o formando curvas de corriente grandes. [25]

**Figura 7.-** Corte de la sección longitudinal del flujo rápidamente variable



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

El flujo gradualmente variado cambia de forma progresiva a lo largo de su recorrido incrementando o disminuyendo su caudal. Para que existan estas variaciones dependen de algunos factores como pendiente, cambio de geometría, obstrucciones de recorrido normal del caudal, cambio de rugosidad. [25]

**Figura 8.-** Corte de la sección longitudinal del flujo gradualmente variable



**Fuente:** P. Rodríguez, Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA,2008 [24]

#### **1.1.3.4.7 Estado de flujo**

Es el encargado de dirigir los efectos de viscosidad y la gravedad de los líquidos porque tienen una mayor relevancia en canales abiertos. Se lo conoce también como comportamiento del flujo.

#### 1.1.3.4.8 Efecto de viscosidad

El tipo de comportamiento de la viscosidad presente en el flujo se los puede identificar y clasificar como flujo laminar, flujo turbulento o transición.

#### 1.1.3.4.9 Flujo laminar

Donde los movimientos de las partículas de agua se mueven de una forma suave y ordenada y se desplazan en una trayectoria uniforme perfectamente delimitadas

**Figura 9.-** Flujo laminar



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

[27]

#### 1.1.3.4.10 Flujo turbulento

Sus partículas de agua a lo largo de su trayectoria se movilizan de una forma irregular y desordenada cambiando su rumbo de una manera significativa.

El flujo se puede tornar turbulento con la presencia de velocidades altas, rugosidad elevada y gradientes en donde la temperatura es alta.

**Figura 10.-** Flujo turbulento



**Fuente:** J. Saiz, M. Olavarrieta y A. Saiz, Canales abiertos, Universidad de Sonora, SONORA,2012  
[27]

#### 1.1.3.4.11 Número de Reynolds

Descubierto por el ingeniero Osborne Reynolds en el año de 1880 donde dedujo que el régimen del flujo depende de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. El flujo laminar se puede transformar en turbulento debido a la rugosidad y temperatura de la superficie, entre otros factores.

El número de Reynolds está definido por la ecuación:

$$Re = \frac{V_{prom} * D}{\nu} \quad Ec. 4$$

Donde:

*Re* = Número de Reynolds

*V<sub>prom</sub>* = Velocidad de flujo promedio

*D* = Longitud característica de la geometría

*ν* = Viscosidad cinemática del flujo

Los diferentes tipos de flujos se los puede clasificar por su número de Reynolds:

**Tabla 9.-** Valores límites del número de Reynolds

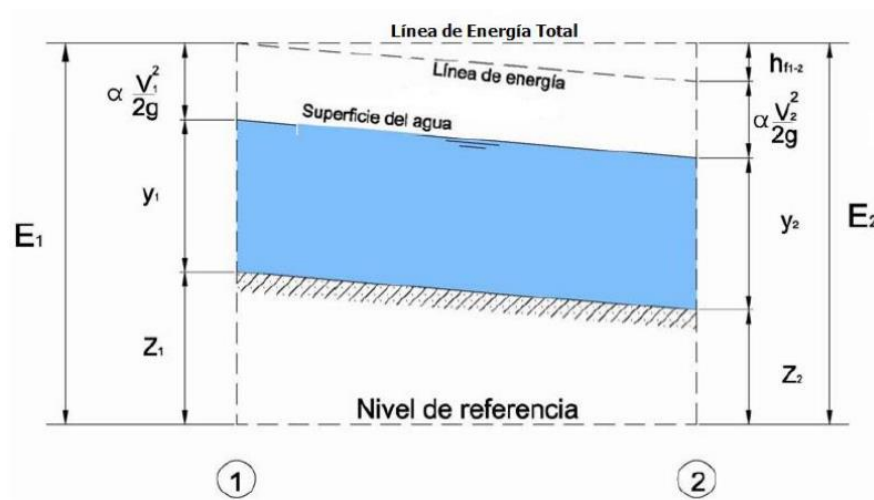
VALORES LIMITES	
TIPO DE FLUJO	RANGO
Flujo laminar	$Re < 2000$
Flujo turbulento	$Re > 4000$
Flujo de transición	$2000 < Re < 4000$

*Fuente:* P. Rodríguez, *Hidráulica II, Oaxaca, BOLCA, 2008* [24]

### 1.1.3.4.12 Energía específica

Según Mónica Jarrín (2014) “La energía específica en una sección de un canal se define como la distancia vertical entre el fondo del canal y la línea de energía” [25]

**Figura 11.-** Energía específica en un flujo de superficie libre



**Fuente:** M. Jarrín,, Universidad Central del Ecuador, 2014 [25]

La ecuación de la energía específica con  $z = 0$  tenemos:

$$E = z + d\cos\theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$E =$  Energía específica en una sección de un canal (m).

$d =$  profundidad del flujo (m).

$\theta =$  ángulo que forma el fondo del canal con respecto a la horizontal ( $^\circ$ ).

$\alpha =$  factor de corrección de la energía cinética.

$V =$  velocidad media de la sección.

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ , aceleración de la gravedad.

Para un canal de pendiente pequeña ( $d\cos\theta$  es igual a la profundidad de la lámina de agua) y  $\alpha = 1$ , la ecuación de energía específica tenemos:

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 6}$$

#### 1.1.3.4.13 Número de Froude

Es un valor adimensional que representa el efecto gravitacional, relaciona las fuerzas inerciales y fuerzas gravitacionales. El número de Froude se divide en tres grupos de flujo subcrítico, crítico y supercrítico. [26]

El número de Froude está definido por la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * L}} \quad Ec. 7$$

Donde:

*Fr = Número de Froude*

*V = Velocidad media del flujo.*

*g = Aceleración gravitacional.*

*L = Longitud característica.*

El número de Froude se considera en los diferentes tipos de flujo:

**Tabla 10.-** Número de Froude en los tipos de flujo

<b>RÉGIMEN DE FLUJO</b>	
<b>TIPO DE FLUJO</b>	<b>CONDICIONES</b>
<b>Flujo crítico</b>	$F=1; V = \sqrt{g * D}$
<b>Flujo Subcrítico</b>	$F < 1; V < \sqrt{g * D}$
<b>Flujo Supercrítico</b>	$F > 1; V > \sqrt{g * D}$

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

[27]

#### **1.1.3.4.13 Régimen del flujo**

Al relacionar fuerzas viscosas y de gravedad se obtiene diferentes tipos de flujo como se explica en la tabla 13

**Tabla 11.-** Tipos de flujo Según Número de Reynolds y Número de Froude

<b>RÉGIMEN DE FLUJO</b>		
<b>TIPO DE FLUJO</b>	<b>REYNOLDS</b>	<b>FROUDE</b>
Subcrítico – laminar	Re < 2000	F < 1
Supercrítico – laminar	Re < 2000	F > 1
Subcrítico – turbulento	Re > 4000	F < 1
Supercrítico – turbulento	Re > 4000	F > 1

**Fuente:** Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, Bogotá, Mc Graw-Hill,2004 [23]

Los tipos de flujo subcrítico – laminar y supercrítico – laminar no se manifiestan de una manera sencilla en hidráulica de canales debido a que la profundidad que existe en ellas es pequeña y no son estudios de gran relevancia en los modelos hidráulicos. En los flujos turbulentos es todo lo contrario debido a que se encuentran con gran frecuencia en los problemas de ingeniería. [23]

### **Ecuación de conservación de energía**

Considera a diferentes energías como cinética, potencial y elástica. Su ecuación se transforma en una igualdad de las energías desde un tiempo inicial y un tiempo final.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f1-2} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$Z_1$  y  $Z_2$  = Cargas o energías de presión

$\frac{P_1}{\gamma}$  y  $\frac{P_2}{\gamma}$  = Cargas o energías de presión



$$\frac{v_1^2}{2g} \text{ y } \frac{v_2^2}{2g} = \text{Cargas o energías de velocidad}$$

$$h_{f1-2} = \text{Pérdidas de energía de la sección 1 a la sección 2}$$

### **Ecuación de cantidad de movimiento**

Es el producto entre la masa y la velocidad. Ayuda a diferenciar entre dos cuerpos con igual velocidad y diferente masa. [24]

$$p = m * v \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$$p = \text{Cantidad de movimiento (kg*m/s)}$$

$$m = \text{Masa (kg)}$$

$$v = \text{velocidad (m/s)}$$

### **Ecuación de continuidad**

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$$A = \text{Área transversal del canal (m}^2\text{)}$$

$$Q = \text{Flujo que circula en el área del canal (m}^3\text{/s)}$$

$$q = \text{flujo entrante/saliente (m}^2\text{/s)}$$

## Ecuación de momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q^2}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA(S_f + S_o) = qV \quad Ec. 11$$

Donde:

$A = \text{Área transversal del canal (m}^2 \text{)}$

$Q = \text{Flujo que circula en el área del canal (m}^3 \text{/s)}$

$V = \text{Velocidad del flujo (m/s)}$

$q = \text{Flujo entrante/saliente (m}^2 \text{/s)}$

$y = \text{Caída hidráulica (m)}$

$S_f = \text{Pendiente de fricción}$

$S_o = \text{Pendiente de fondo de canal}$

$g = \text{Aceleración de la gravedad (m/s}^2 \text{)}$

## Introducción a los modelos hidráulicos

La compleja interpretación de la dinámica de fluidos ha llevado a los profesionales de la rama de la hidráulica buscar mecanismos que faciliten los problemas diarios y como resultado se obtiene programas computacionales que al configurarlos se puede obtener modelos a escala real y se obtienen resultados apegados a la realidad.

## Análisis Dimensional (Modelos CFD)

Las simulaciones que se realizan en modelos CFD permite comparar diseños reales con diseños que se realizan o construir y tener un diseño a escala real y conocer el costo de la construcción.

La dinámica de fluidos computacional tiene elementos principales:

- La discretización de flujo continuo que se aproximan a un modelo real por medio de nodos.
- Las ecuaciones de movimiento se discretizan y sus valores se aproximan a valores reales por medio de nodos.
- El sistema de ecuaciones algebraicas se resuelve y se obtienen los valores de las variables de los nodos. [24]

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

Los modelos tanto físicos como numéricos son de gran importancia dentro de la ingeniería debido que mediante ellos se puede analizar sus resultados tanto de diseño como de costos lo más cercano a la realidad teniendo así un mejor costo-beneficio. La combinación de los modelos influye de gran manera disminuyendo el tiempo y costos de investigación.

El modelo físico permite observar el modelo a escala real, mientras que el modelo numérico permite comprobar los cálculos y resultados que proporciona el modelo físico.

### **Tipos de modelos numéricos**

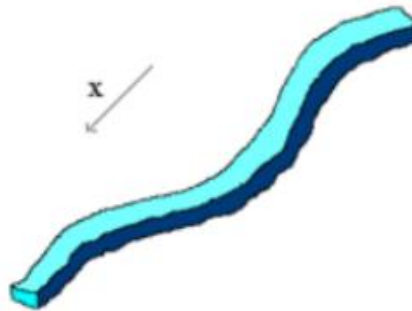
Para el análisis se tienen diferentes modelos numéricos: 1D (una dimensión), 2D (dos dimensiones) y 3D (tres dimensiones)

## Modelo en 1D

El modelo unidimensional o 1D se toma como referencia la longitud del eje del canal tomando en cuenta la topografía del terreno para obtener valores y poder realizar el cálculo respectivo de las secciones del canal.

Se puede aplicar en canales de longitud larga y tramos de río para poder obtener el máximo nivel del agua [26]

**Figura 12.-** Modelo unidimensional



**Fuente:** Modelación Numérica en Hidráulica [34]

## Modelo 2D

El modelo bidimensional o 2D considera variaciones en el plano horizontal. En el eje vertical la variación de la velocidad del agua se promedia y se asume un solo valor. El uso del modelo bidimensional se los da en flujos muy extendidos como lagos y no es aplicable en donde la variación vertical es apreciable como en flujo de vertedero. [26]

**Figura 13.-** Modelo bidimensional



*Fuente: Modelación Numérica en Hidráulica [34]*

### **Modelo 3D**

El modelo tridimensional o 3D representa el estado avanzado de la modelación. Permite calcular las tres componentes espaciales de la velocidad y es de gran ayuda debido a que se puede aplicar para cualquier caso práctico. [26]

**Figura 14.-** Modelo tridimensional



**Fuente:** Modelación Numérica en Hidráulica [34]

## **Método de elementos finitos**

Es un método de aproximación de problemas continuos donde, el elemento continuo se divide en un número finito de partes cuyo comportamiento se relaciona con el número finito de parámetros asociados denominados nodos que son puntos que unen cada elemento.

Las incógnitas de los problemas dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser el valor de estas funciones en los nodos. El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos.

El método MEF transforma un cuerpo continuo en un modelo discretizado aproximado es por eso que la aproximación de los valores de una función se ve relacionado con un número determinado y finito de puntos. [27]

## **Método de volúmenes finitos**

El método de volúmenes finitos realiza una discretización directa de forma directa las ecuaciones de conservación de la masa, cantidad de movimiento y energía. Es el método que más se utiliza debido a su sencillez de uso. [28]

### **1.1.4 Hipótesis**

- **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 lluvia.

- **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 lluvia.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General:**

Determinar la eficiencia hidráulica en la captación de agua lluvia en sumideros T45 modificado con barrotes longitudinales implantados en vías urbanas, en elevación y depresión.

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

- Determinar la geometría del modelo hidráulico en base al análisis de similitud geométrica y dinámica.
- Validar la investigación insertando recomendaciones a parámetros en la normativa de diseño de drenaje pluvial en vías urbanas.
- Crear un programa de aplicación para el diseño de sumideros con la geometría propuesta.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

Se realizará una descripción de los diferentes niveles de investigación que engloba todo el tema experimental a tratar.

#### **2.1 MATERIALES**

Durante el paso de los años la tecnología ha tenido un crecimiento continuo y acelerado en todos sus aspectos y especialmente en lo computacional, teniendo como resultado una gran variedad de programas o softwares destinados a un campo específico como modelaciones hidráulicas.

Los programas de modelación hidráulica que existen en la actualidad tienen un desempeño amplio y sus características se desarrollan de buena forma en una, dos y tres dimensiones. Al momento de ocupar estos softwares e ingresar los datos suficientes los modelos a calcular serán los más parecidos a la realidad.

Estos programas desarrollan las ecuaciones de Navier – Stokes donde se emplea volúmenes finitos; como características dentro de su geometría y mallado:

- Análisis estructural en elementos finitos.
- Chequeo de la calidad de la malla.

Realizan análisis de diferentes tipos de fluidos en diferentes dimensiones (1D, 2D & 3D):



- Laminar, turbulento.
- Viscosos, no viscosos.

Los resultados obtenidos de la modelación hidráulica son de alta precisión, definición y así poderlos comparar con modelos físicos.

## 2.2 MÉTODOS

### 2.2.1 Nivel o tipo de investigación

- **Investigación exploratoria**

Está enfocado en sumideros tipo T45 con la ocupación de las normas de diseño que se encuentran vigentes en el Ecuador.

- **Investigación descriptiva**

Con la utilización de programas computacionales se determinará valores de caudal apegados a la realidad y poderlos comparar con modelos antes ya estudiados y realizar comparaciones con valores expuestos en el presente trabajo.

- **Investigación explicativa**

Es indispensable tener conocimiento tanto de las pendientes longitudinales, así como transversales, caudal, geometría para los modelos hidráulicos que están dentro del estudio previo.

- **Investigación correlacional**

Los datos que se obtendrán en el presente trabajo experimental como caudales, velocidades serán comparados con datos de previas

investigaciones y poder conocer los resultados de los modelos hidráulicos y su eficiencia dentro del campo de la hidráulica.

## 2.2.2 Población y muestra

### 2.2.2.1 Población

La población en la presente investigación está conformada por combinaciones de pendientes tanto longitudinales como transversales y a nivel de vía teniendo como resultado una cantidad de 36 combinaciones entre pendientes. Estas combinaciones vienen dadas para diferentes escenarios como: elevación, depresión y a nivel de vía. A continuación, se presentan tablas con sus respectivas combinaciones.

**Tabla 12.-** Combinaciones de pendientes para elevación

<b>COMBINACIONES</b>		
<b>Pendiente transversal</b>	<b>Pendiente longitudinal</b>	<b>Combinaciones</b>
1.5%	3%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [3]
	4%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [4]
2.0%	5%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [5]
	6%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [6]
2.5%	7%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [7]
	8%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [8]
4.0%	9%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [9]
	10%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [10]
	12%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [12]

**Fuente:** Modelación Hidráulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvia. [30]

**Tabla 13.-** Combinaciones de pendientes para depresión

<b>COMBINACIONES</b>		
<b>Pendiente transversal</b>	<b>Pendiente longitudinal</b>	<b>Combinaciones</b>
1.5%	3%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [3]
	4%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [4]
2.0%	5%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [5]
	6%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [6]
2.5%	7%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [7]
	8%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [8]
4.0%	9%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [9]
	10%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [10]
	12%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [12]

**Fuente:** Modelación Hidráulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvia. [30]

**Tabla 14.-** Combinaciones de pendientes a nivel de vía

<b>COMBINACIONES</b>		
<b>Pendiente transversal</b>	<b>Pendiente longitudinal</b>	<b>Combinaciones</b>
1.5%	3%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [3]
	4%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [4]
2.0%	5%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [5]
	6%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [6]
2.5%	7%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [7]
	8%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [8]
4.0%	9%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [9]
	10%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [10]
	12%	[1.5-2.0-2.5-4.0] : [12]

**Fuente:** Modelación Hidráulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvia. [30]

### 2.2.2.2 Muestra

Para el presente proyecto experimental se tomarán como estudio 18 combinaciones de pendientes tanto longitudinal como transversal y nivel de vía debido a los períodos de tiempo altos en cada simulación dentro del software. Las combinaciones que se presentan en la tabla 15 pertenecen a elevación

**Tabla 15.-** Combinaciones de pendientes en elevación para S1 y S2

<b>COMBINACIONES</b>		
<b>Pendiente transversal</b>	<b>Pendiente longitudinal</b>	<b>Combos</b>
2.0%	0.5%	[2.0] : [0.5]
	4%	[2.0] : [4.0]
	12%	[2.0] : [12.0]
4.0%	0.5%	[4.0] : [0.5]
	4%	[4.0] : [4.0]
	12%	[4.0] : [12.0]

**Fuente:** Modelación Hidráulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvia. [30]

En la tabla 16 se presentan las combinaciones de pendientes en depresión.

**Tabla 16.-** Combinaciones de pendientes en depresión para S1 y S2

<b>COMBINACIONES</b>		
<b>Pendiente transversal</b>	<b>Pendiente longitudinal</b>	<b>Combos</b>
2.0%	0.5%	[2.0] : [0.5]
	4%	[2.0] : [4.0]
	12%	[2.0] : [12.0]
4.0%	0.5%	[4.0] : [0.5]
	4%	[4.0] : [4.0]
	12%	[4.0] : [12.0]

**Fuente:** Modelación Hidráulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvia. [30]

En la tabla 17 se presentan las combinaciones a nivel de vía

**Tabla 17.-** Combinaciones de pendientes en depresión para S1 y S2

<b>COMBINACIONES</b>		
<b>Pendiente transversal</b>	<b>Pendiente longitudinal</b>	<b>Combos</b>
2.0%	0.5%	[2.0] : [0.5]
	4%	[2.0] : [4.0]
	12%	[2.0] : [12.0]
4.0%	0.5%	[4.0] : [0.5]
	4%	[4.0] : [4.0]
	12%	[4.0] : [12.0]

**Fuente:** Modelación Hidráulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvia. [30]

### 2.2.3. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

- Descripción general del modelo de sumidero tipo T45.
- Determinación de la geometría del sumidero tipo T45.
- Ingreso de la geometría del modelo del sumidero tipo T45 para el presente proyecto experimental.
- El ingreso de los diferentes caudales en el software.
- Los valores de caudales obtenidos por el software tanto para uno como dos sumideros con barrotes longitudinales tipo T45.
- Renderización de los modelos digitales del sumidero con barrotes longitudinales tipo T45.

#### **2.2.4. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

- Determinar los valores de eficiencia de cada escenario presentado para el estudio cumpliendo con todos los lineamientos propuestos y con bases de investigaciones anteriores.
- Comparar valores de eficiencia en elevación y a nivel de vía tanto de uno como dos sumideros tipo T45 con barrotes longitudinales con investigaciones anteriores.
- Simular los diferentes escenarios con su propia pendiente para así conocer y determinar sus eficiencias.
- Realizar la comparación de valores de eficiencia tanto de uno con dos sumideros tipo T45 con barrotes longitudinales.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

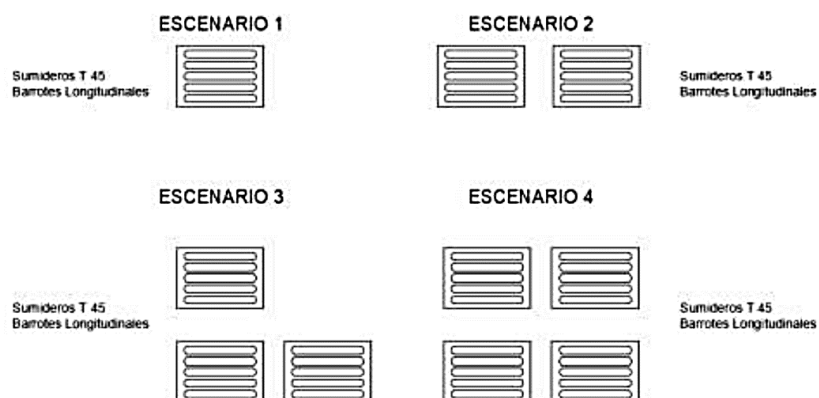
#### 3.1 Análisis y discusión de resultados

##### 3.1.1. presentación general del modelo

##### Investigaciones previas

En proyectos experimentales anteriores se hizo modelos a escala en donde se pudo observar las variantes tanto de pendientes longitudinales, transversales y a nivel con uno, dos, tres y cuatro sumideros tipo T45 con barrotes longitudinales como se muestra en la figura 15.

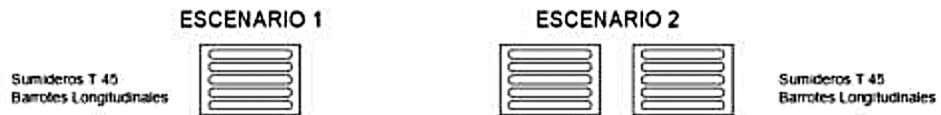
**Figura 15.-** Escenarios totales de sumideros tipo T45



**Fuente:** “Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros tipo t45 modificado con barrotes longitudinales de aguas lluvias” [30]

En la figura 16 donde se presentan cuatro escenarios para la presente investigación se tomarán en cuenta solo el escenario uno y dos como se muestra en la figura 16

**Figura 16.-** Escenarios de estudio de sumideros tipo T45



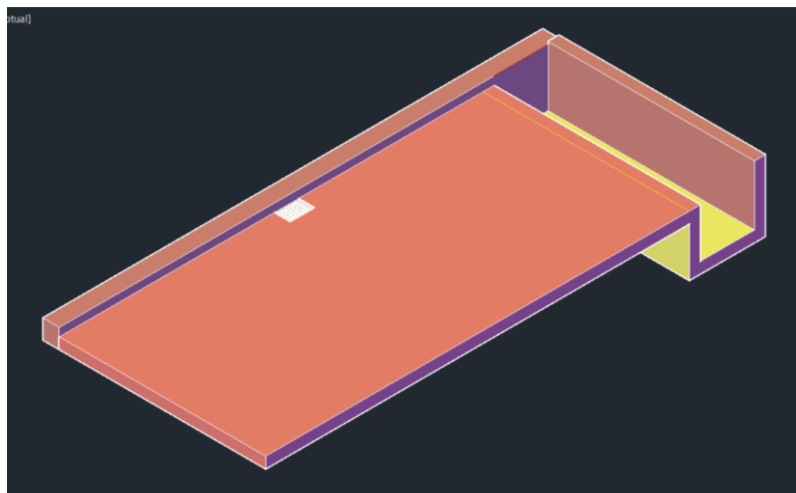
**Fuente:** “Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros tipo t45 modificado con barros longitudinales de aguas lluvias” [30]

### 3.1.2. Dimensiones generales del proyecto

- **Dimensiones generales de la vía**

Para el presente estudio se toma como referencia la simulación de la mitad de una vía cuyas dimensiones son: de largo 9.00 m, ancho de 3.80 m y con un espesor de 1.00 m de altura como se muestra en la figura 17

**Figura 17.-** Dimensiones de la vía

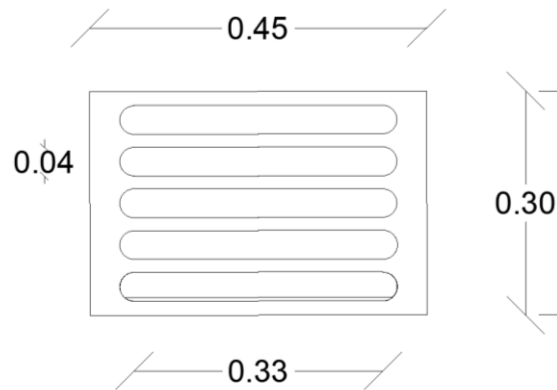


*Realizado por: Jaime Robalino*



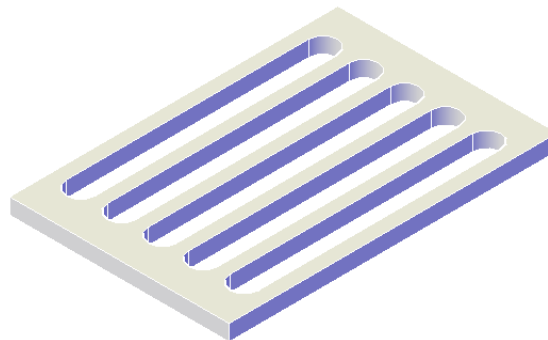
En la figura 18 se presenta las dimensiones del sumidero tipo T45 con barrotes longitudinales.

**Figura 18.-** Dimensiones de sumidero tipo T45 con barrotes longitudinales



*Realizado por: Jaime Robalino*

**Figura 19.-** Vista 3D del sumidero tipo T45 con barrotes longitudinales



*Realizado por: Jaime Robalino*

### 3.1.3. Combinaciones de caudales

En la tabla se indica las combinaciones de pendiente transversal y longitudinal con su respectivo caudal para elevación, depresión y a nivel que se ocuparán en el presente proyecto.

**Tabla 18.-** Combinaciones totales de análisis

Caudal (lt/s)	Escenario	Pendiente longitudinal	Pendiente transversal
16.91	s1	0.50%	2% - 4%
		4%	
	s2	12%	
47.85	s1	0.50%	2% - 4%
		4%	
	s2	12%	
79.75	s1	0.50%	2% - 4%
		4%	
	s2	12%	
111.65	s1	0.50%	2% - 4%
		4%	
	s2	12%	

*Realizado por: Jaime Robalino*

### 3.1.4. Parámetros del modelo

#### Condiciones de fluido

Las condiciones de fluido a ocuparse en la simulación del agua vienen dadas por una temperatura de 20°C con su valor respectivo de viscosidad dinámica como se puede observar en la tabla 21.

**Tabla 19.-** Viscosidad dinámica del agua a varias temperaturas

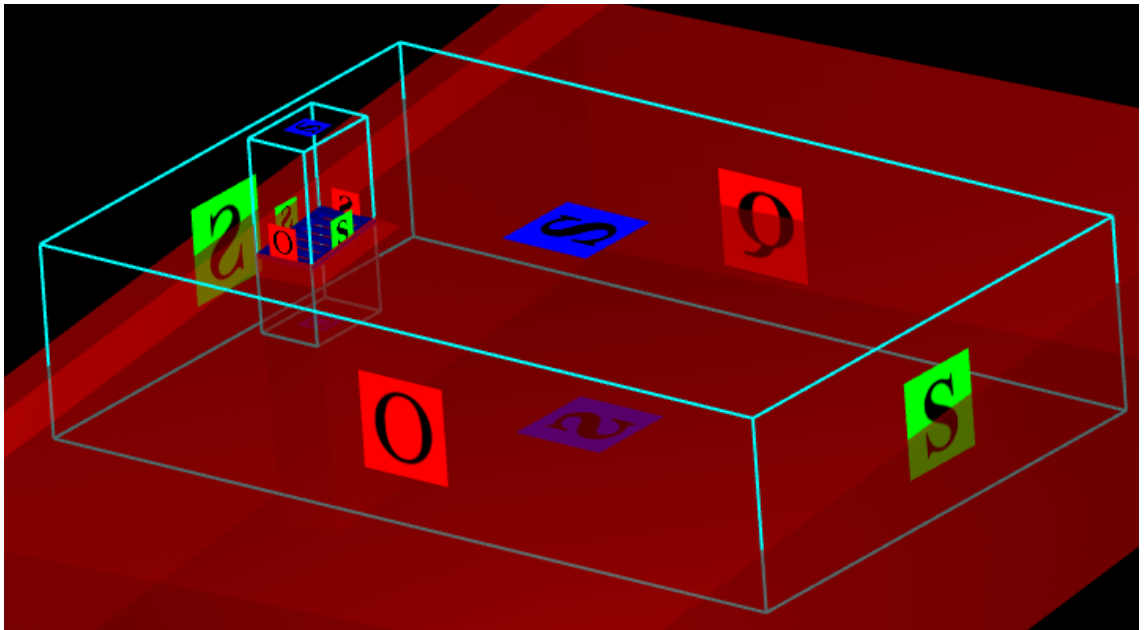
Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792
1	0,001731
2	0,001674
3	0,001620
4	0,001569
5	0,001520
6	0,001473
7	0,001429
8	0,001386
9	0,001346
10	0,001308
11	0,001271
12	0,001236
13	0,001202
14	0,001170
15	0,001139
16	0,001109
17	0,001081
18	0,001054
19	0,001028
20	0,001003
21	0,000979
22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

*Fuente: Hidráulica General y Aplicada. UTN-FRBA*

## Condiciones de borde

Las condiciones de borde son características o restricciones que se aplican a las diferentes variables que puede presentar el modelo a simular.

Figura 20.- Condiciones de borde



*Realizado por: Jaime Robalino*

Donde:

$S = \text{simetría}$

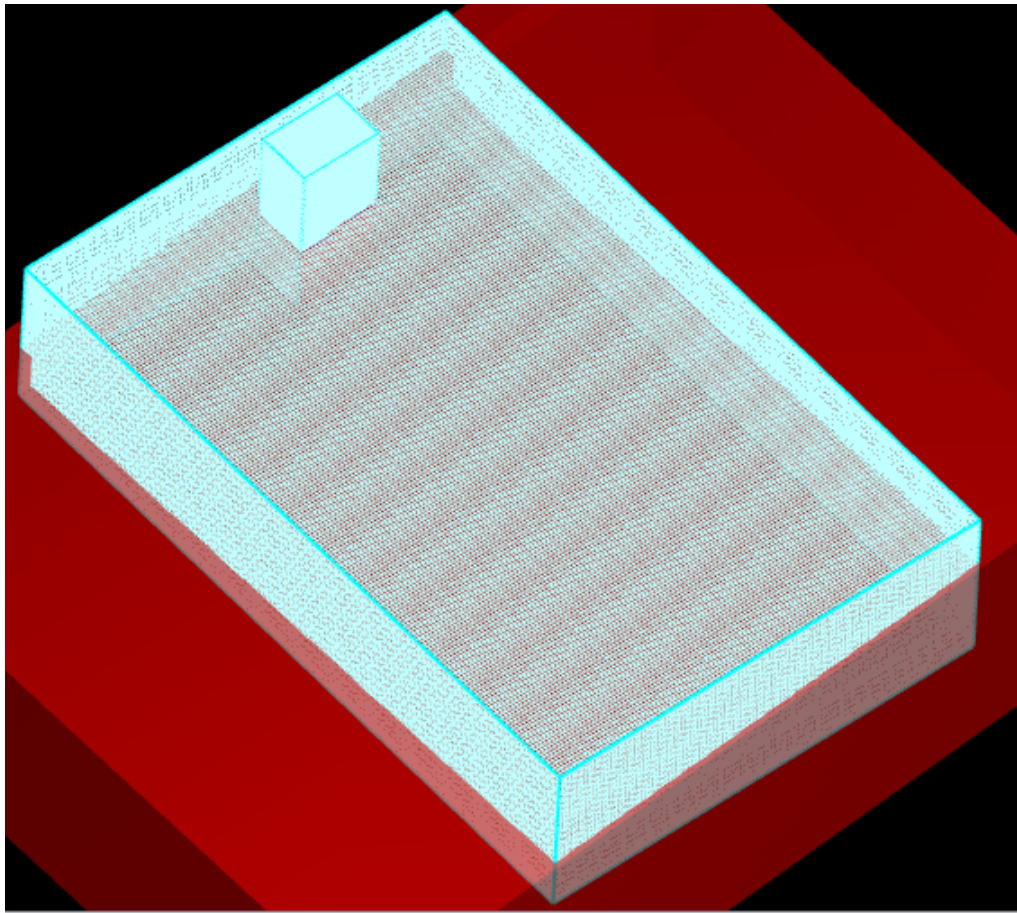
$O = \text{outflow (salida caudal)}$

$Q = \text{Ingreso de caudal}$

## Condiciones de mallado

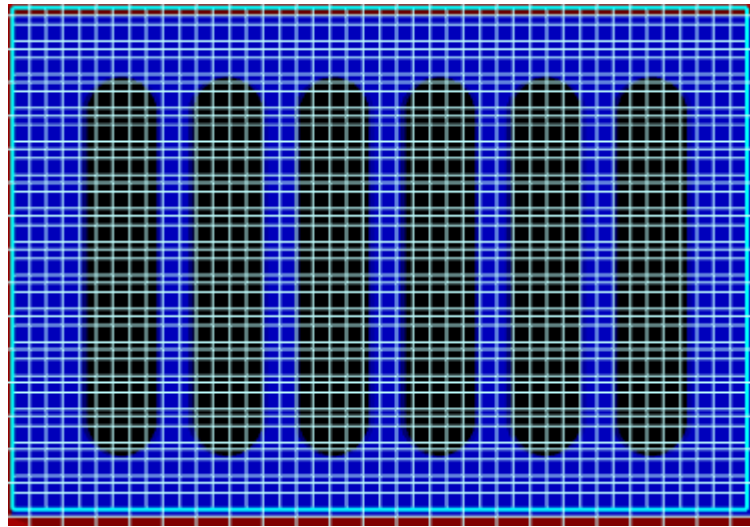
El mallado que se ocupa en la simulación de la vía y del sumidero tipo T45 debe ser lo más simétrico posible para que los resultados sean más exactos a la realidad. La malla que se ocupó para vía fue de 2cm como se observa en la figura 21 y de 1cm para el sumidero como se puede observar en la figura 22.

**Figura 21.-** Mallado de vía



*Realizado por: Jaime Robalino*

**Figura 22.-** Mallado de sumidero tipo T45



*Realizado por: Jaime Robalino*

Se tiene diferente mallado debido a su composición de materiales.

Para la obtención de mejores resultados dentro de la simulación de debe realizar un mallado lo más pequeño posible pero el costo computacional será muy alto y los resultados no los podremos obtener de una manera ligera.

### **Tiempo de simulación**

Cada escenario de simulación tuvo un tiempo de renderización diferentes debido a las variables que se consideran en cada uno y también del equipo tecnológico que se esté ocupando. Al momento de hacer el análisis dentro del software mientras se ingrese ya sea mayores valores o un mallado con mayor exactitud el costo computacional irá de aumento.

Considerando todos los parámetros dentro de una simulación tenemos un tiempo promedio de 6 a 8 horas aproximadamente por cada escenario.

En la figura y tablas que se muestran a continuación se puede observar la estabilidad del flujo aproximadamente a los 4 segundos. Las características de la gráfica vienen dadas sus pendientes en donde, su pendiente longitudinal es de 12%, su pendiente transversal de 4% con escenario a nivel de vía con un sumidero tipo T45.

Los valores de caudal que tengan signo negativo indican que son valores de caudal de salida del sumidero.

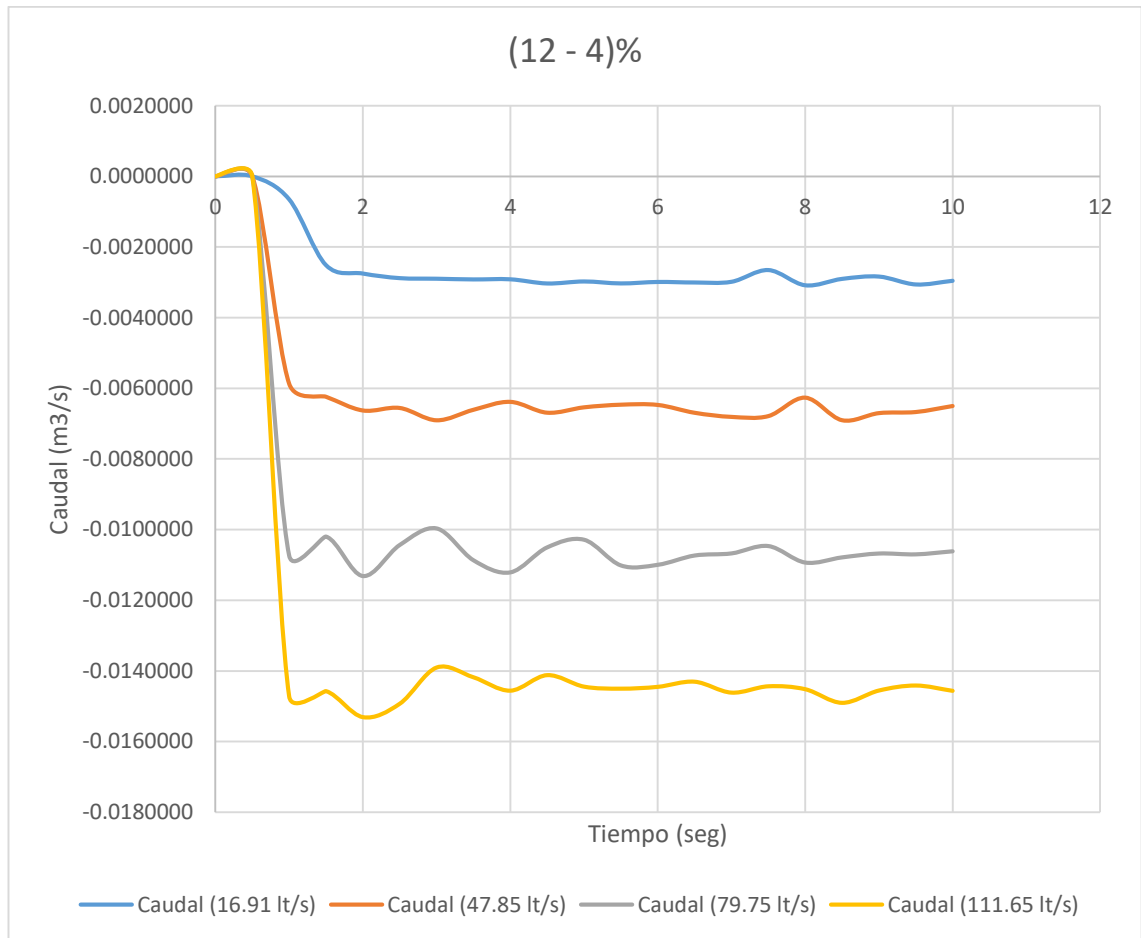
**Tabla 20.-** Ejemplo, resultado de la simulación a nivel de vía con pendiente transversal 4% y longitudinal de 12% con un sumidero.

Tiempo	Caudal lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal S. (47,85)	Caudal S. (79,75)	Caudal S. (111,65)
0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.5	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
1	-0.0006524	-0.0058689	-0.0107340	-0.0147225
1.5	-0.0025154	-0.0062375	-0.0101988	-0.0145761
2	-0.0027534	-0.0066261	-0.0113150	-0.0153116
2.5	-0.0028833	-0.0065547	-0.0104360	-0.0149330
3	-0.0028995	-0.0069037	-0.0099668	-0.0139071
3.5	-0.0029198	-0.0066061	-0.0108686	-0.0141832
4	-0.0029165	-0.0063819	-0.0112115	-0.0145622
4.5	-0.0030341	-0.0066885	-0.0105036	-0.0141226
5	-0.0029775	-0.0065368	-0.0102868	-0.0144480
5.5	-0.0030326	-0.0064622	-0.0110149	-0.0145055
6	-0.0029911	-0.0064689	-0.0109974	-0.0144543
6.5	-0.0030065	-0.0066911	-0.0107339	-0.0143082
7	-0.0029868	-0.0068075	-0.0106747	-0.0146176
7.5	-0.0026546	-0.0067856	-0.0104660	-0.0144386
8	-0.0030855	-0.0062631	-0.0109326	-0.0145208
8.5	-0.0029043	-0.0069019	-0.0107868	-0.0149062
9	-0.0028387	-0.0067008	-0.0106777	-0.0145586
9.5	-0.0030619	-0.0066695	-0.0107010	-0.0144167
10	-0.0029588	-0.0065001	-0.0106150	-0.0145668

*Realizado por: Jaime Robalino*



**Figura 23.-** Estabilización del flujo



*Realizado por: Jaime Robalino*

### Valores de caudales

Los valores de los caudales que se usan en el presente proyecto experimental vienen dados por valores a escala 1:4 y la ecuación de caudal equivalente procedentes de la investigación “MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIA” [31]. Se debe realizar una transformación de los valores por un factor que se detalla a continuación su forma de calcularlo.

$$Q_e = \frac{Q_{VIA}}{Q_{LAB}} = Le^{5/2} \quad Ec. 12$$

$$Q_e = \frac{Q_{VIA}}{Q_{LAB}} = \frac{230}{7.21} = Le^{5/2} \quad Ec. 13$$

$$Q_e = 31.90 \quad Ec. 14$$

Donde:

- $Q_e$  = Factor de transformación de caudal (adimensional)
- $Q_{VIA}$  = Caudal medido en vía (lt/s)
- $Q_{LAB}$  = Caudal medido en el laboratorio (lt/s)
- $Le$  = Valor de escala (Adimensional)

El valor de transformación se multiplicará por los valores de caudales a escala reducida de la tesis “Modelación Hidráulica para la Determinación de la Eficiencia de los Sumideros de Aguas Lluvia” para poderlos usar en las simulaciones a escala real.

En la tabla 21 se indica los valores anteriores del caudal en escala 1:4 y también los valores de caudal ya transformados a escala real para su uso en simulaciones.

**Tabla 21.-** Transformación de caudal para escenario S1 y S2, bombeo 2%

<b>Pendiente longitudinal (%)</b>	<b>Caudal a escala reducida (lt/s)</b>	<b>Factor de transformación</b>	<b>Caudal a escala real (lt/s)</b>
0.5, 4.0, 12.0	0.53	31.90	16.91
	1.50	31.90	47.85
	2.50	31.90	79.75
	3.50	31.90	111.65

**Realizado por:** Jaime Robalino

### 3.1.5. Valor de eficiencia

En el presente proyecto de investigación la eficiencia es la capacidad que tienen los sumideros tipo T45 de poder captar agua lluvia y evitar que exista inundaciones en las vías.

Para poder calcular la eficiencia de los sumideros con los diferentes parámetros como sus pendientes, así como en elevación, depresión y a nivel de vía se debe conocer los valores de caudal que ingresa en el mismo y estos se obtiene de las simulaciones en el software.

Los datos que se obtuvieron de caudal a escala real se debe relacionar con los datos obtenidos en el software de simulaciones para obtener los valores de eficiencia en porcentaje y conocer su capacidad de retención de agua lluvia.

A continuación, se muestra como se realiza el cálculo de la eficiencia en porcentaje para sumidero en elevación con una pendiente transversal del 2% y pendiente longitudinal del 4%.

$$Eficiencia = \frac{Q_{simulación}}{Q_{escala}} * 100\% \quad Ec. 15$$

$$Eficiencia = \frac{0.07728762 \left(\frac{lt}{s}\right)}{16.91 \left(\frac{lt}{s}\right)} * 100\% \quad Ec. 16$$

$$Eficiencia = 0.45705278\% \quad Ec. 17$$

Se debe realizar los mismos cálculos de eficiencia para sumideros en elevación, depresión y a nivel de vía y con sus respectivas pendientes: transversal (2% y 4%) y longitudinal (0.5%, 4%, 12%).

### 3.1.6. Escenarios de eficiencias

Los escenarios que se presentan a continuación pertenecen a un sumidero.

- **Elevación**

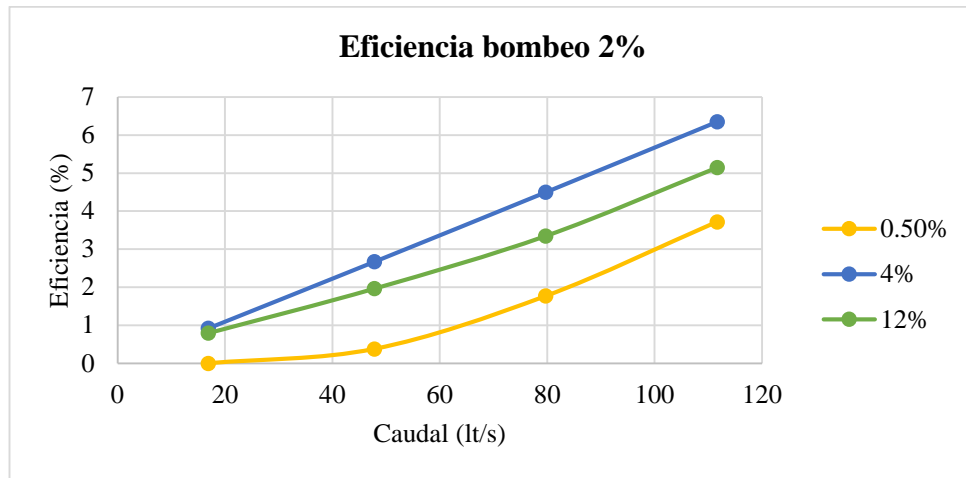
En la tabla 22 se presenta los datos de los caudales en escala real con un bombeo del 2% y sus pendientes longitudinales de 0.5%, 4% y 12%.

**Tabla 22.-** Valores de eficiencia con bombeo al 2% en elevación con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	2.00%	0	0.45705278	0.79234478
47.85		0.37838536	2.670569	4.24598501
79.75		1.76858315	4.49822359	3.34716953
111.65		3.7179529	6.34924394	5.14495162

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 24.-** Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



Realizado por: Jaime Robalino

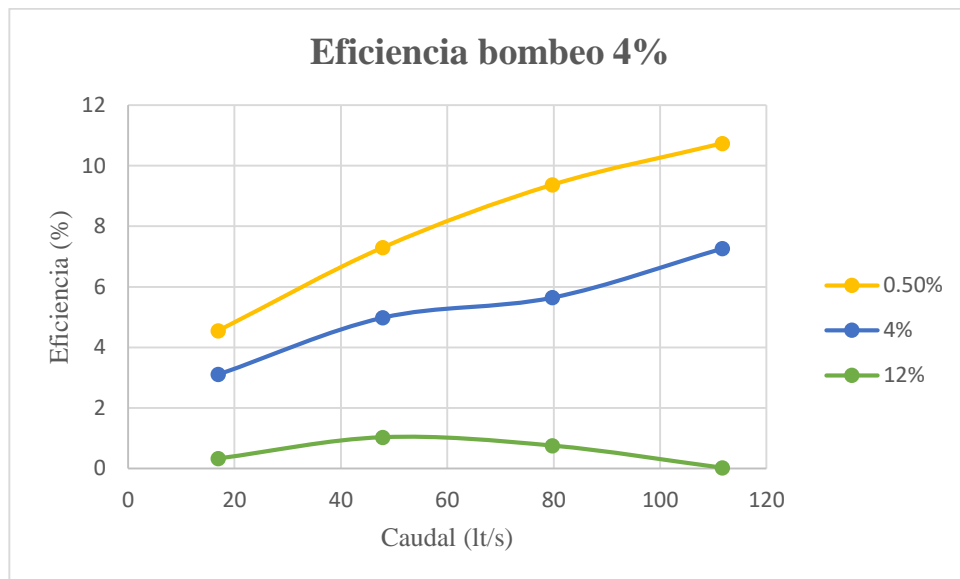
En la figura 22 se puede observar las curvas de eficiencia vs caudal para cada valor de pendiente longitudinal (0.5%, 4% y 12%). La figura demuestra que la eficiencia va en aumento cuando se incrementa el valor de la pendiente longitudinal.

**Tabla 23.-** Valores de eficiencia con bombeo al 4% en elevación con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	4.00%	0.94780036	3.91614766	0.33023436
47.85		7.29716479	4.9825047	1.03248118
79.75		10.9572144	5.64518199	0.75587649
111.65		10.7378697	7.26283653	0.02602671

Realizado por: Jaime Robalino

**Figura 25.-** Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

La figura 25 detalla la curva de eficiencia que tiene el sumidero T45 con diferentes valores de pendiente longitudinal. La figura 25 nos indica que aumenta el valor de la eficiencia cuando se tiene pendientes longitudinales de 0.5% y 4% mientras que para pendiente longitudinal del 12% disminuye su eficiencia debido a que no realiza una gran captación de agua lluvia.

- **Depresión**

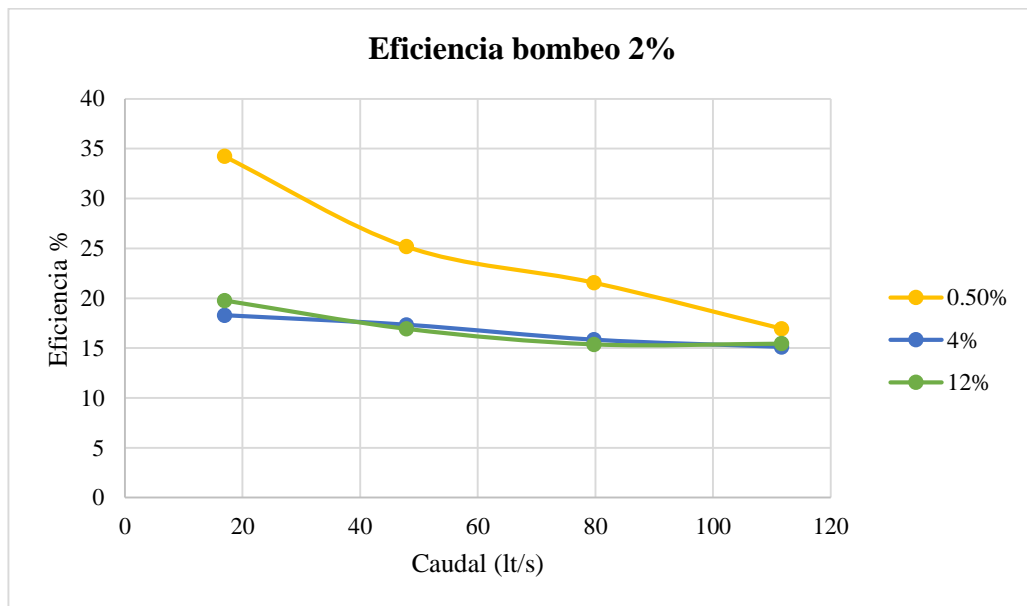
En la tabla 24 se indica los valores de eficiencia con bombeo del 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12%.

**Tabla 24.-** Valores de eficiencia con bombeo al 2% en depresión con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	2.00%	34.2399429	18.2926793	19.77465
47.85		25.1766071	17.3346268	35.9210287
79.75		21.5476868	15.8326476	15.3753821
111.65		16.9367864	15.1084953	15.4479605

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 26.-** Eficiencia de sumidero T45 en depresión con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

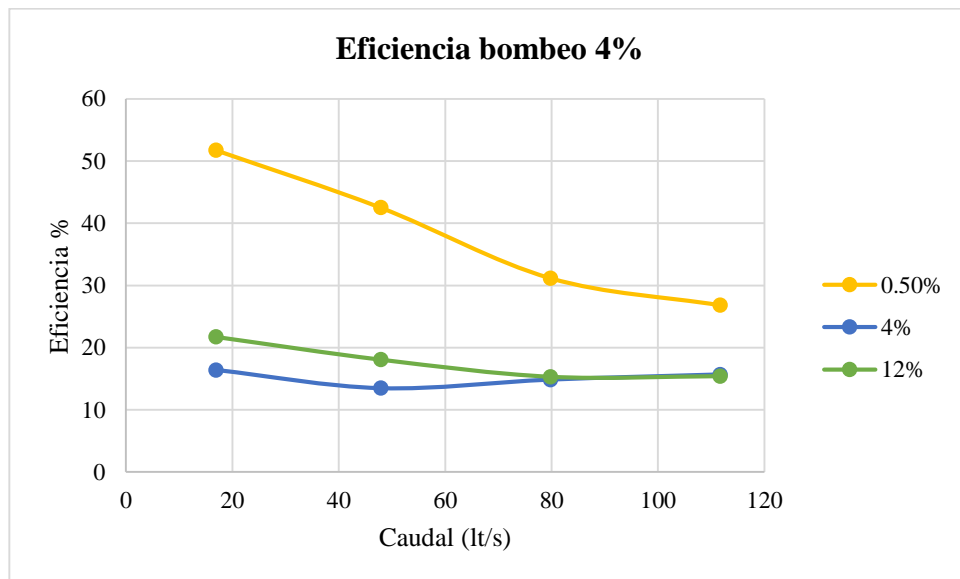
La figura 26 representa las curvas de eficiencia con un bombeo del 2%, la curva de la pendiente longitudinal del 4% si aumenta el caudal su eficiencia disminuye y 12% disminuye un 20% de eficiencia ya que no tiene una captación de agua lluvia favorable para estas condiciones.

**Tabla 25.-** Valores de eficiencia con bombeo al 4% en depresión con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	4.00%	51.7392311	16.4019585	21.7387167
47.85		42.5131421	13.487765	18.0681292
79.75		31.1731078	14.8582185	15.2976506
111.65		26.8283869	15.6823586	15.3947266

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 27.-** Eficiencia de sumidero T45 en depresión con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

La figura 27 representa las curvas de caudal vs eficiencia con un bombeo del 4%. Se puede observar que, con un caudal de bajo valor su eficiencia es alta y cuando aumenta el caudal disminuye su eficiencia teniendo en cuenta una pendiente longitudinal del 0.5%. Para una pendiente longitudinal de mayor valor como es el de 12% se obtiene



una eficiencia menor al antes mencionado, pero con el cambio de que, si aumenta su caudal no varía en gran proporción su eficiencia.

- **Nivel de vía**

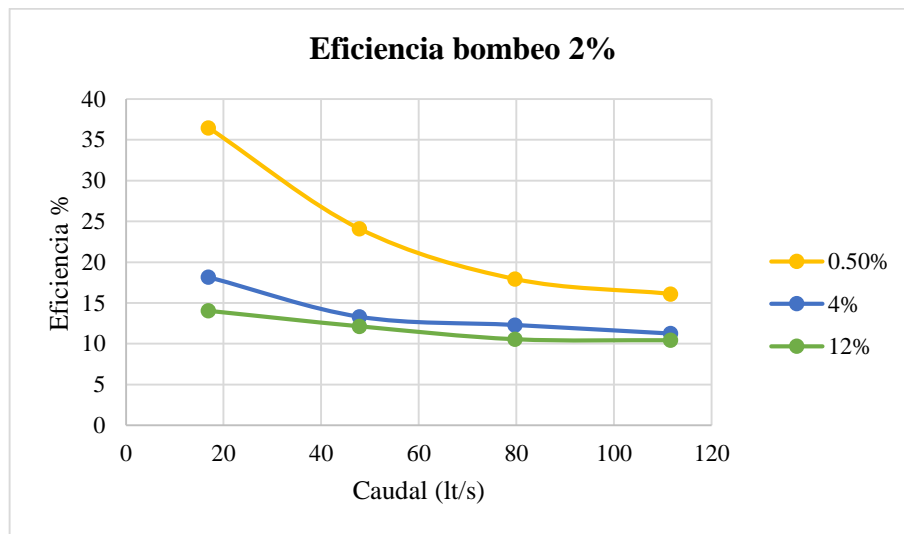
En la tabla 26 se indica los valores de eficiencia con un bombeo del 2% y pendientes longitudinales del 0.5%, 4% y 12% con un sumidero a nivel de vía.

**Tabla 26.-** Valores de eficiencia con bombeo al 2% a nivel de vía con barrotos longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	2.00%	36.4669092	18.1733894	14.0471102
47.85		24.0835935	13.3163542	12.1487332
79.75		17.9222614	12.306827	10.5624556
111.65		16.1028807	11.2537638	10.4376257

*Realizado por: Jaime Robalino*

**Figura 28.-** Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



*Realizado por: Jaime Robalino*

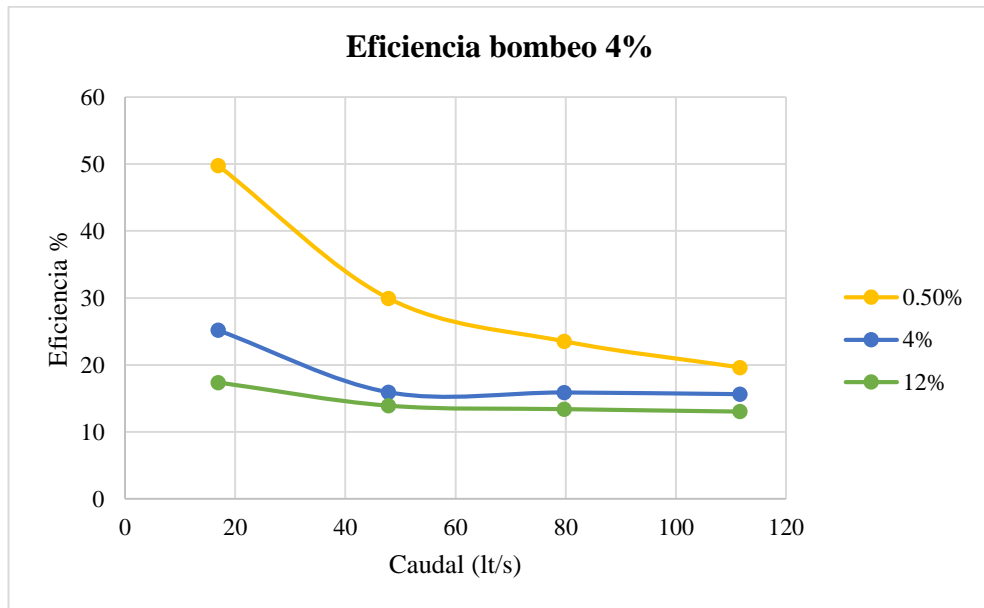
La figura 28 representa las curvas de eficiencia de un sumidero a nivel de vía con bombeo del 2% la cual nos indica que, teniendo una pendiente longitudinal pequeña (0.5%) la eficiencia del sumidero es alta y si la comparamos con una pendiente longitudinal del 4% disminuye con el mismo valor de caudal. La eficiencia disminuye al aumentar el caudal para los diferentes valores de pendiente longitudinal.

**Tabla 27.-** Valores de eficiencia con bombeo al 4% a nivel de vía con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	4.00%	49.7754771	25.1925957	17.3692717
47.85		38.7566455	15.9120765	13.928842
79.75		23.5282205	6.29094389	13.414994
111.65		19.6313215	15.6276856	13.0532971

*Realizado por: Jaime Robalino*

**Figura 29.-** Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



*Realizado por: Jaime Robalino*

La figura 29 con los valores de eficiencia con un bombeo del 4% tienen una tendencia para su eficiencia similar al bombeo del 2% relacionándose en que, con un caudal pequeño tienen un valor alto de eficiencia y si su caudal aumenta de la misma forma su eficiencia disminuye.

Los escenarios que se presentan a continuación pertenecen a dos sumideros.

- **Elevación**

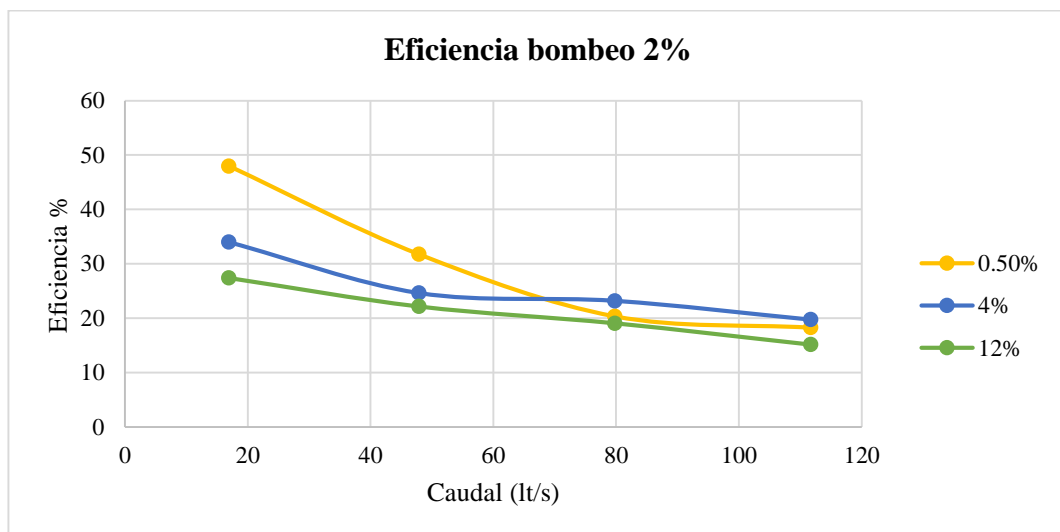
En la tabla 28 se indica los valores de eficiencia con bombeo de 2% que se obtuvieron al relacionar caudal a escala real y caudal obtenido en el software de simulación.

**Tabla 28.-** Valores de eficiencia con bombeo al 2% en elevación con dos sumideros

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	2.00%	47.9901753	33.9972513	27.3907948
47.85		31.769774	24.6420342	22.1562682
79.75		20.3529633	15.5138527	19.0739652
111.65		17.3706472	19.7485002	15.1594408

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 30.-** Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

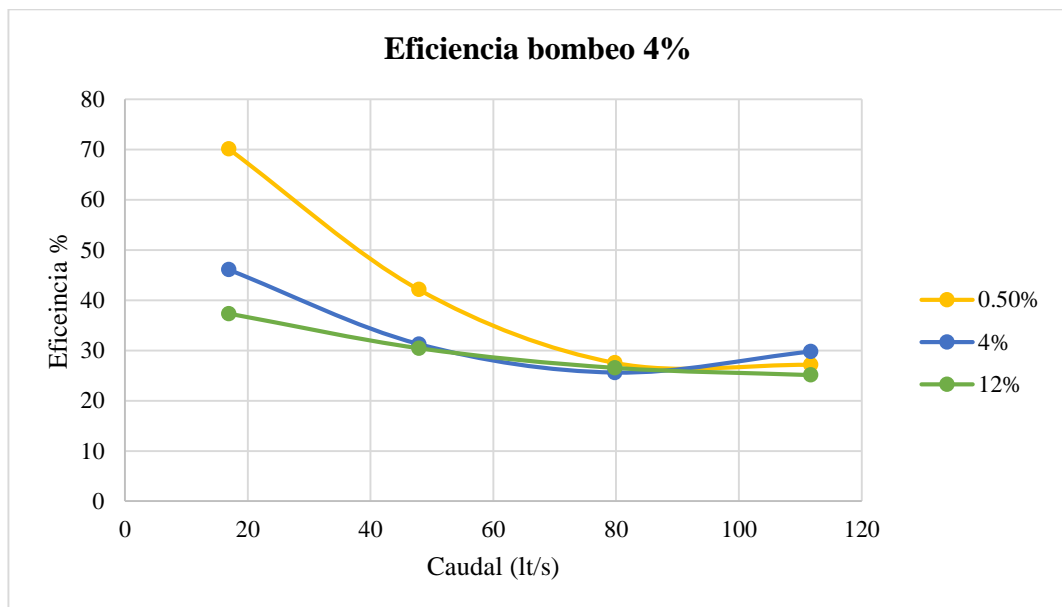
La eficiencia que se obtiene al combinar dos sumideros en elevación se obtiene una eficiencia alta cuando se relaciona con una pendiente longitudinal y caudal de valor bajo, pero mientras aumenta el valor de la pendiente longitudinal, así como del caudal la eficiencia se va haciendo cada vez menor.

**Tabla 29.-** Valores de eficiencia con bombeo al 4% en elevación con dos sumideros con barros longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	4.00%	70.1310149	46.0893062	37.3291275
47.85		42.1338482	31.2682348	30.4604681
79.75		27.5494149	25.5928981	22.7548406
111.65		22.0698932	24.0332462	25.1272798

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 31.-** Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barros longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

La figura 31 representa las curvas de la eficiencia que tiene dos sumideros con diferentes valores de pendiente longitudinal y con un bombeo del 4%. Según la figura

31 obteniendo un porcentaje de pendiente longitudinal bajo y caudal bajo la eficiencia es alta, pero si se compara con la curva de eficiencia de pendiente longitudinal de 12% es baja su eficiencia así sea con un valor de caudal bajo o alto.

- **Depresión**

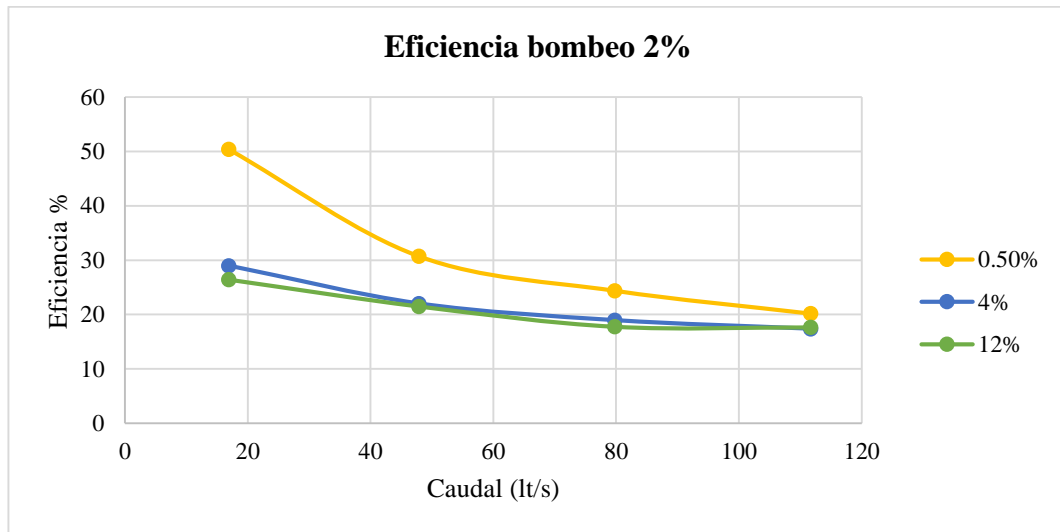
En la tabla 30 se indica los valores de eficiencia con un bombeo del 2% y con sus variantes de pendiente longitudinal.

**Tabla 30.-** Valores de eficiencia con bombeo al 2% en depresión con dos sumideros con barros longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	2.00%	50.3962431	28.9758518	26.412098
47.85		33.6981698	22.0294268	21.4957597
79.75		24.3929016	18.9568069	16.4126406
111.65		20.1881137	17.3790222	17.6415348

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 32.-** Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

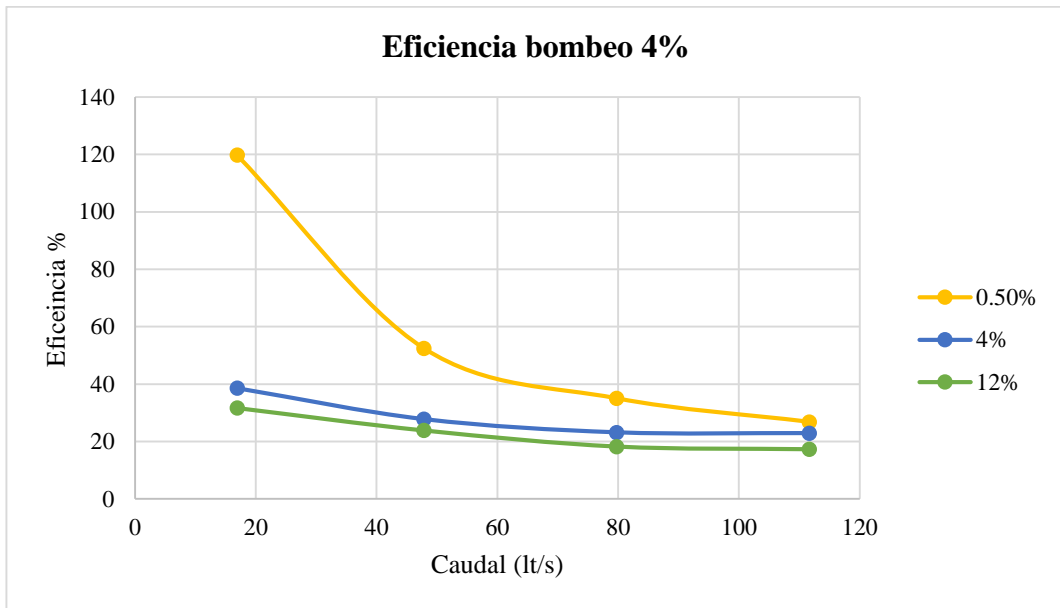
Las curvas de eficiencias que se observa en la figura 32 tienen tendencias similares como a mayor caudal menor eficiencia. En la curva de 4% y 12% de pendiente longitudinal se puede notar que son casi parecidas, es decir, su eficiencia no se despunta como la curva de eficiencia del 0.5% de pendiente longitudinal; pero las tres curvas tienen la tendencia que disminuir su eficiencia al momento que se va aumento el caudal.

**Tabla 31.-** Valores de eficiencia con bombeo al 4% en depresión con dos sumideros con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	4.00%	60.9753896	38.6007159	31.6862338
47.85		52.3619551	27.7865603	23.8476769
79.75		35.0273934	23.1634307	18.2207629
111.65		26.8196397	22.8881833	17.2844505

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 33.-** Eficiencia de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

La figura 33 de la misma manera que las curvas de eficiencia con un bombeo del 2% tienen la misma tendencia, disminuir su eficiencia al momento de aumentar su caudal. Obteniendo un bombeo del 2% y 4% se puede notar que las curvas de eficiencia con pendiente longitudinal de 4% y 12% son muy parecidas mientras que, la curva de pendiente longitudinal de 0.5% tiene una tendencia diferente al momento de tener un caudal bajo y después que éste aumenta empieza a disminuir su eficiencia como las demás curvas.

- **Nivel de vía**

En la tabla 32 se indica los valores de eficiencia con un bombeo del 2% a nivel de vía con sus respectivas pendientes longitudinales con valores de 0.5%, 4% y 12%.

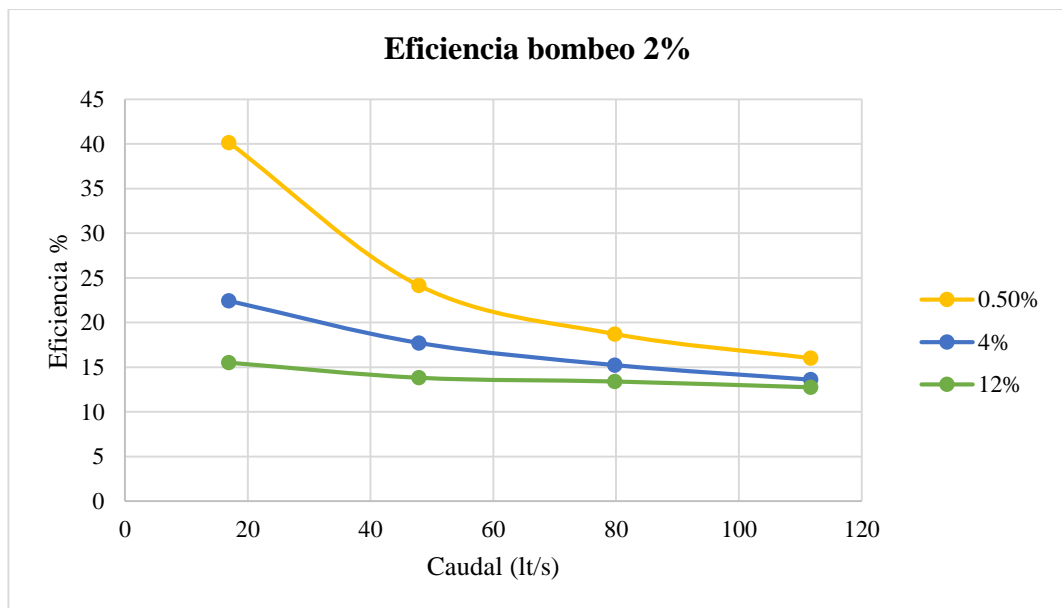


**Tabla 32.-** Valores de eficiencia con bombeo al 2% a nivel de vía con dos sumideros con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	2.00%	40.1658077	22.432001	15.5143053
47.85		28.7187176	17.7315364	13.8298344
79.75		18.7389121	16.6198144	13.414047
111.65		16.0286616	13.6238681	12.7655387

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 34.-** Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

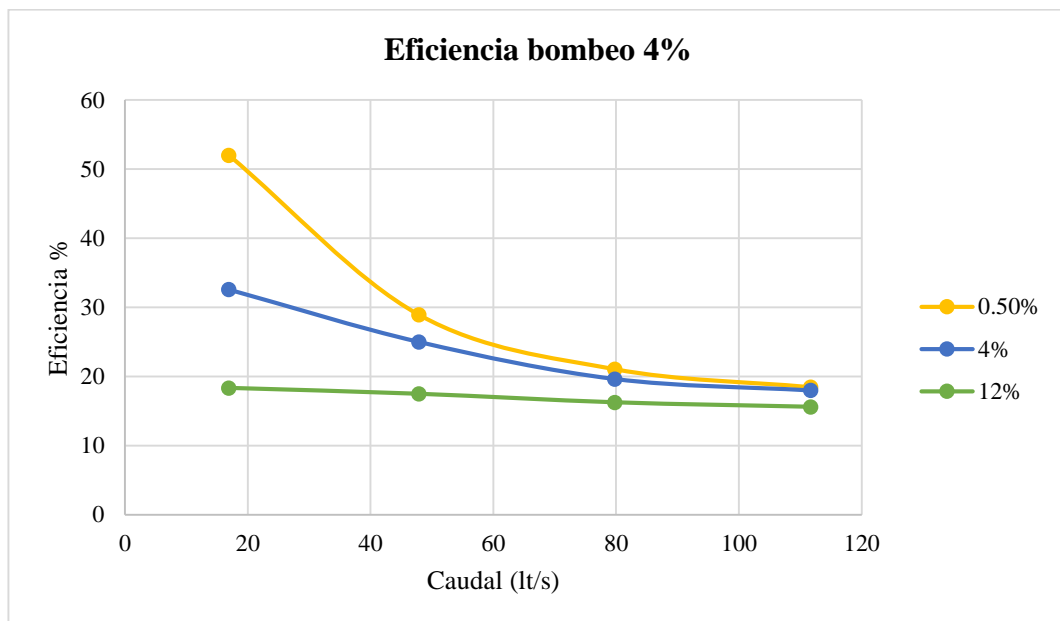
En la figura 34 se puede observar una tendencia parecida al sumidero en depresión donde las curvas de eficiencia mientras menor sea el valor de la pendiente longitudinal, así como el caudal la eficiencia es mayor, y mientras aumenta estos dos valores la eficiencia tiene una tendencia a decrecer.

**Tabla 33.-** Valores de eficiencia con bombeo al 4% a nivel de vía con dos sumideros con barrotes longitudinales

Q ingreso (lt/s)	Eficiencia modelo numérico			
	Pendiente Transversal	Pendiente longitudinal		
		0.50%	4%	12%
16.91	4.00%	52.012177	32.5841746	18.3412375
47.85		32.5686416	25.0099517	17.4906596
79.75		21.0710212	19.6401033	16.265308
111.65		18.4589645	17.9844531	15.6172248

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 35.-** Eficiencia de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con dos sumideros con barrotes longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

La figura 35 nos indica que, cuando se tiene un valor de pendiente longitudinal bajo y de la misma manera un valor bajo de caudal se tiene una eficiencia grande para la

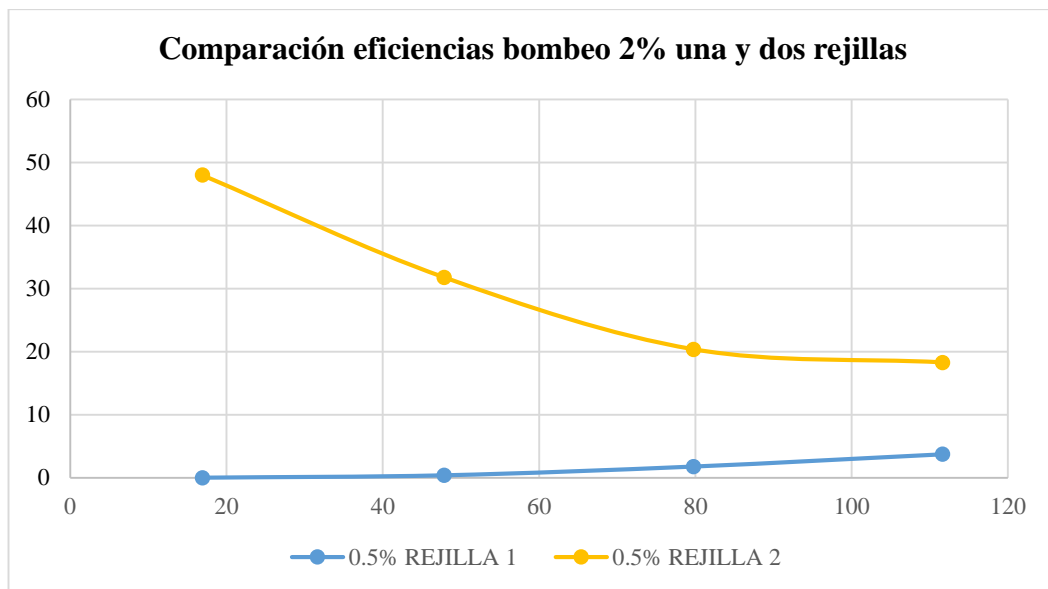
condición de dos sumideros y mientras aumenta el valor de pendiente y de caudal la eficiencia disminuye para las tres pendientes longitudinales (0.5%, 4% y 12%) y al final de la curva se puede observar que tienen una eficiencia similar.

### 3.1.6. Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros

- **Elevación**

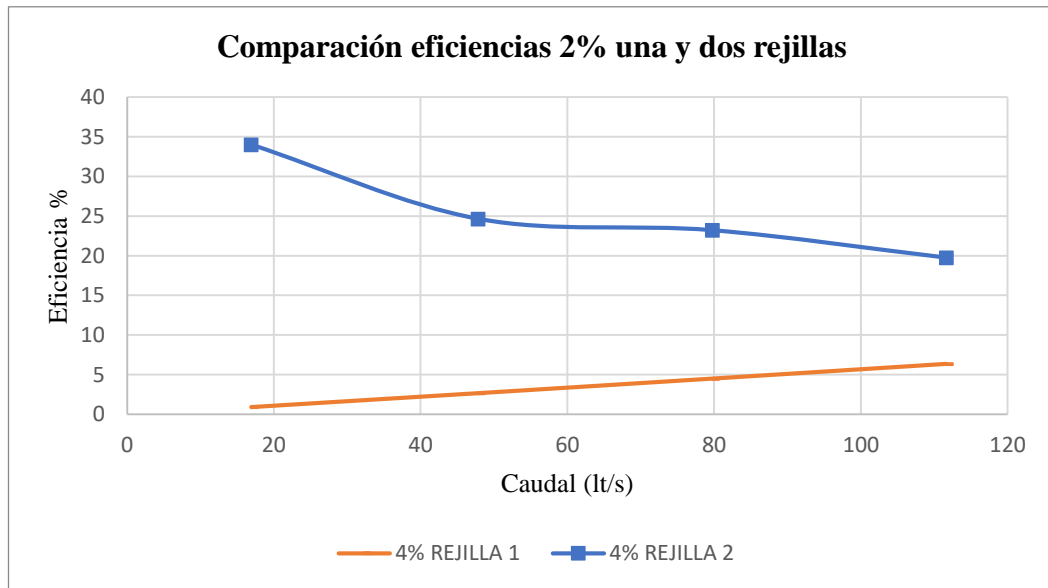
En la figura 36, 37 y 38 se muestra la comparación de eficiencias hidráulicas para uno y dos sumideros T45 con un valor de bombeo de 2% y con sus curvas de pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12%.

**Figura 36.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en elevación con pendiente longitudinal de 0.5%, con barroses longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



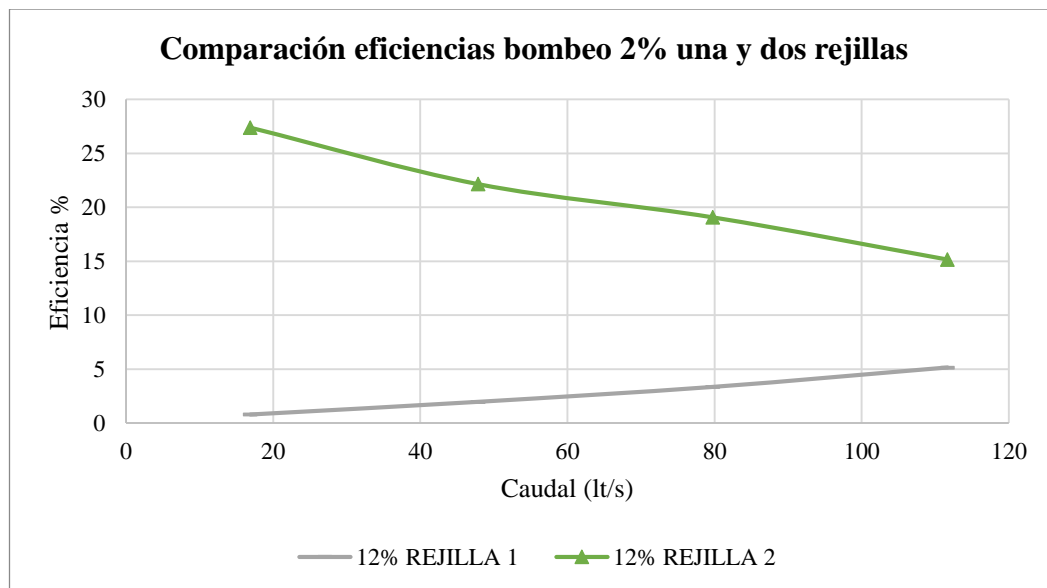
**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 37.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en elevación con pendiente longitudinal de 4%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



**Realizado por:** Jaime Robalino

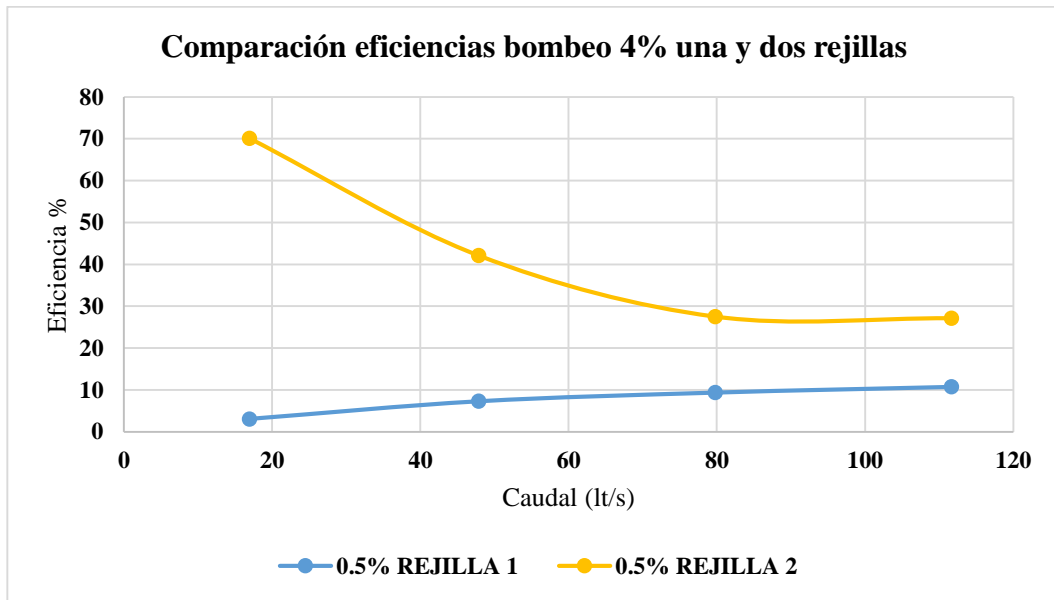
**Figura 38.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en elevación con pendiente longitudinal de 12%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



**Realizado por:** Jaime Robalino

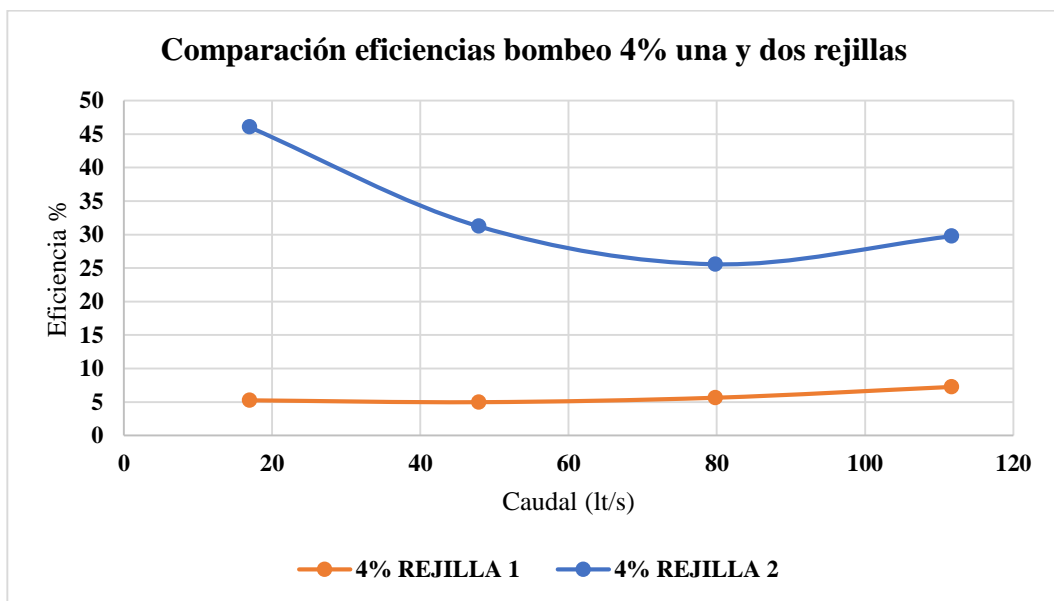
Las figuras 39, 40 y 41 presentan comparaciones de eficiencia con un bombeo del 4% y pendientes longitudinales de 0.5%, 4% y 12%

**Figura 39.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en elevación con pendiente longitudinal de 0.5%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



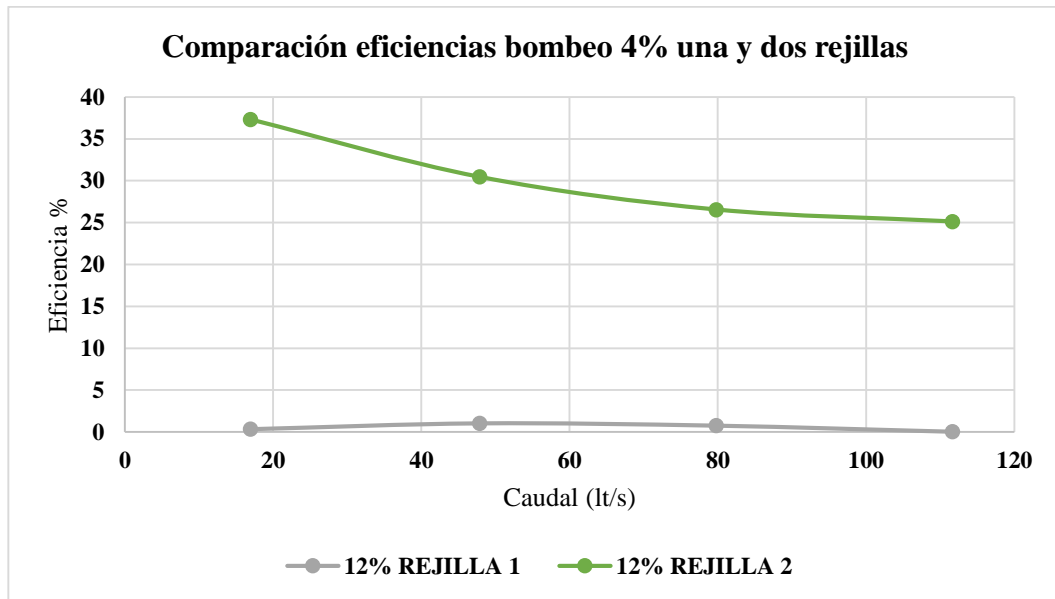
Realizado por: Jaime Robalino

**Figura 40.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en elevación con pendiente longitudinal de 4%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



Realizado por: Jaime Robalino

**Figura 41.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en elevación con pendiente longitudinal de 12%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico

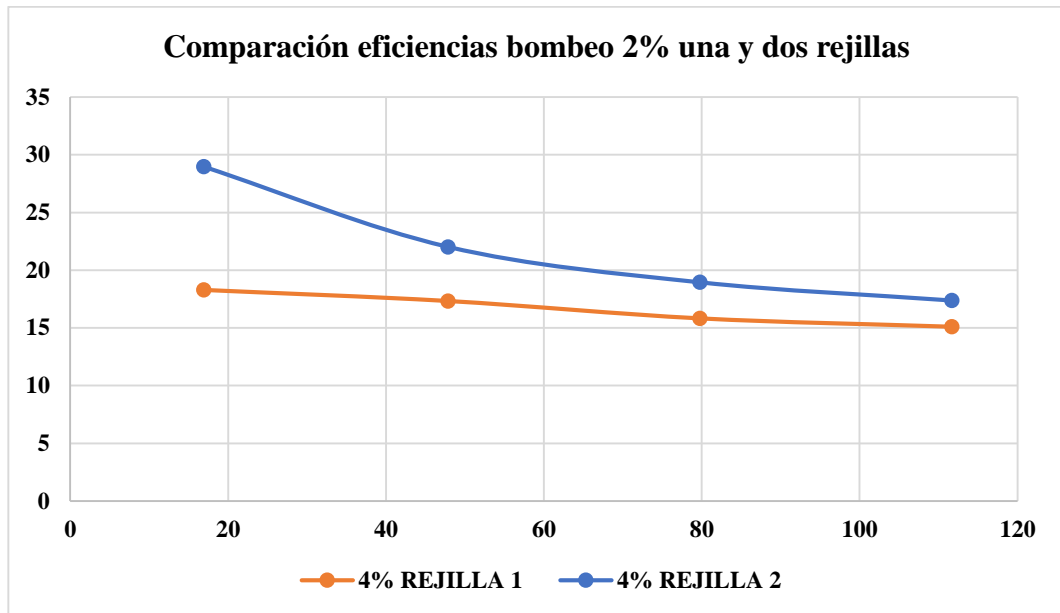


**Realizado por:** Jaime Robalino

- **Depresión**

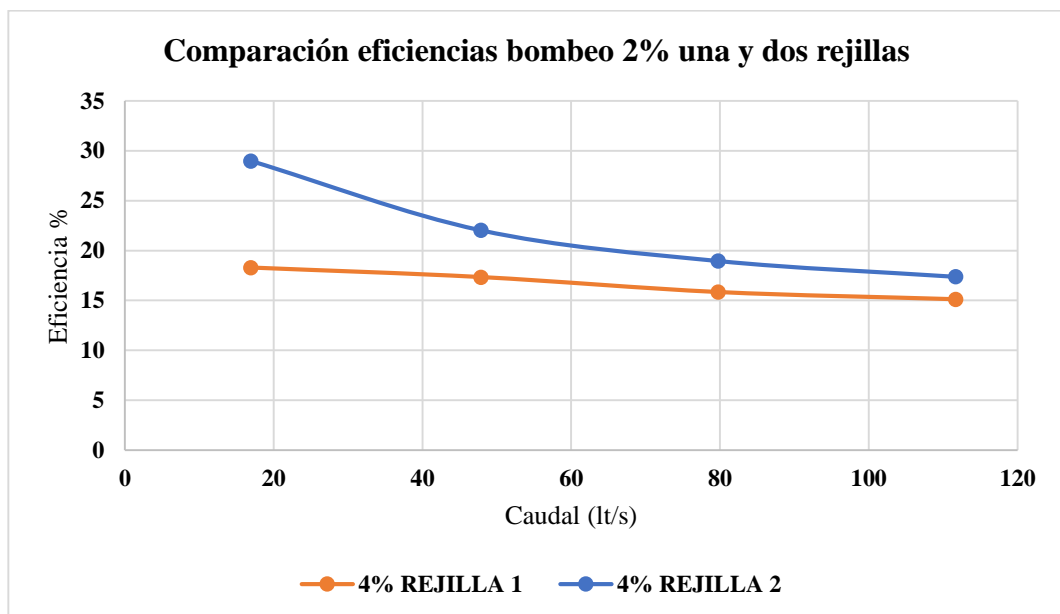
En la figura 41, 42 y 43 se indica las curvas de eficiencia para uno como dos sumideros tipo T45 con un valor de bombeo de 2% y sus pendientes longitudinales de 0.5%, 4% y 12 %.

**Figura 42.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 0.5%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



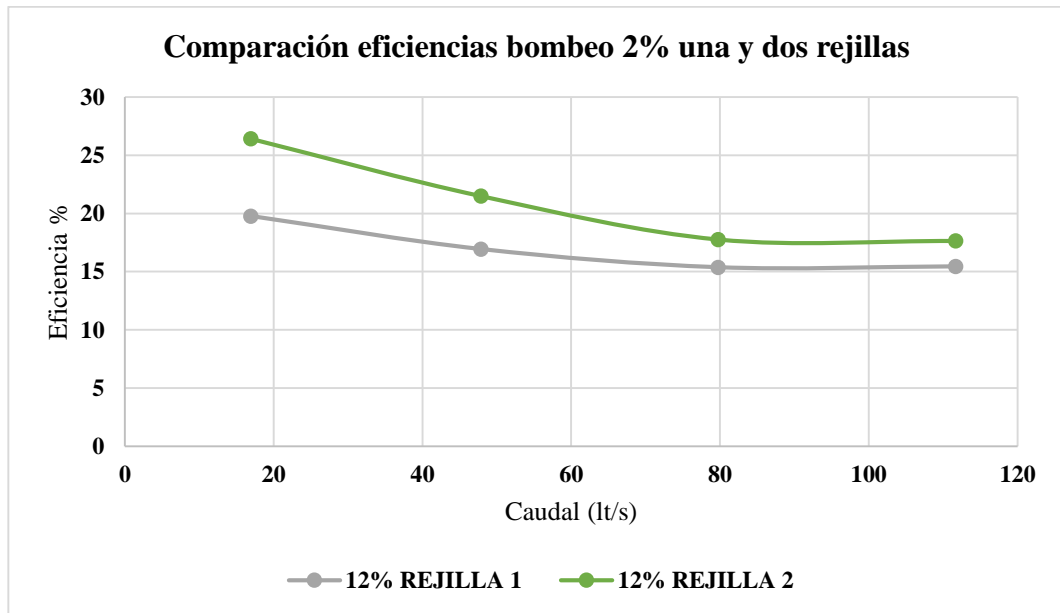
**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 43.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 4%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 44.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 12%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico

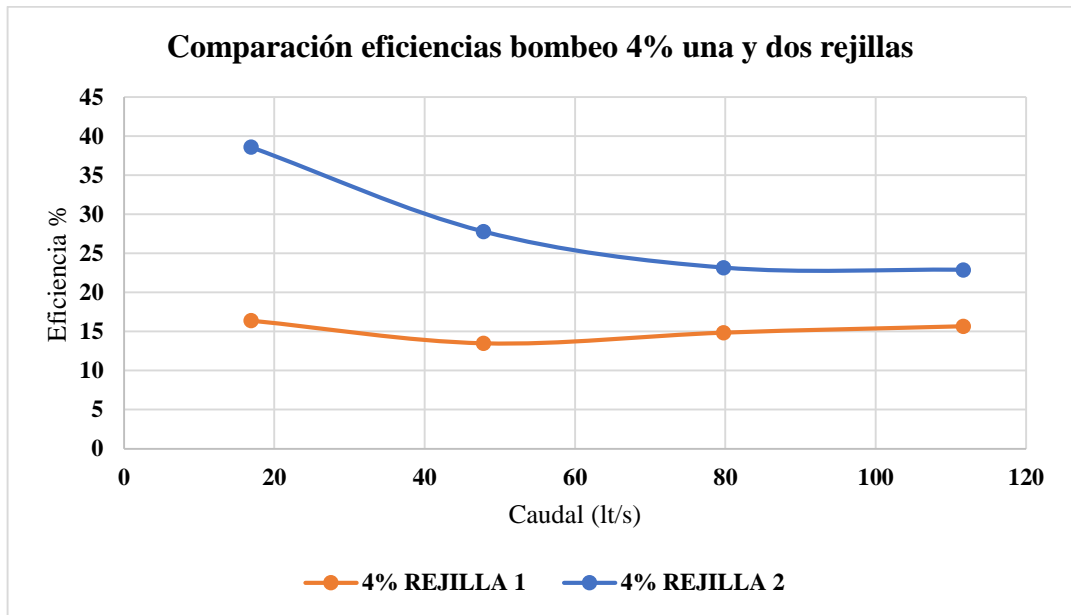


**Realizado por:** Jaime Robalino

Las figuras 43, 44 y 45 presentan comparaciones de eficiencia con un bombeo del 4% y pendientes longitudinales de 0.5%, 4% y 12%

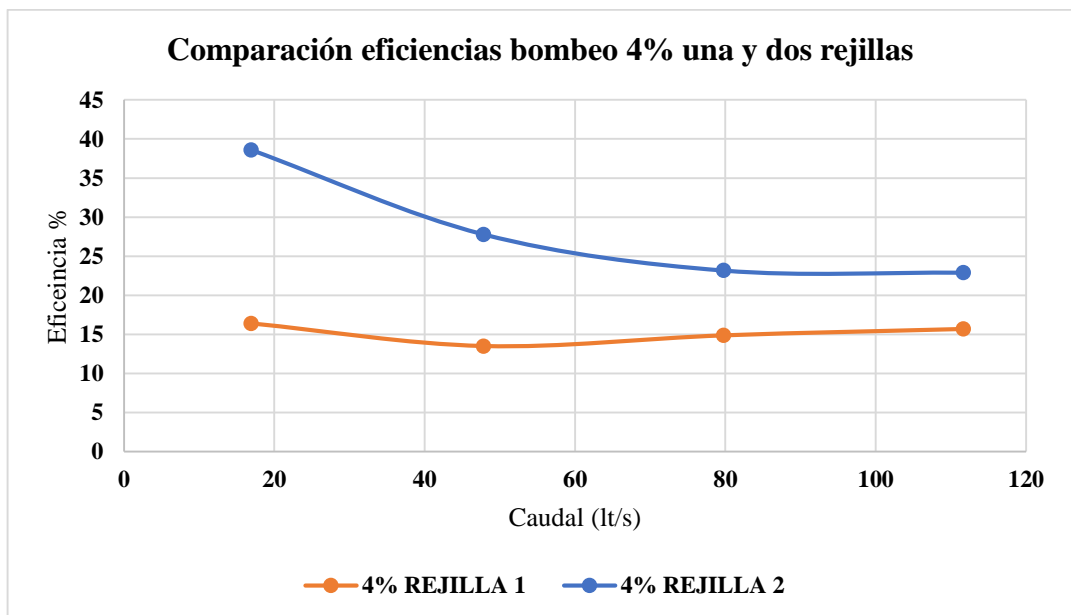


**Figura 45.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en depresión con pendiente longitudinal de 0.5%, con barroses longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



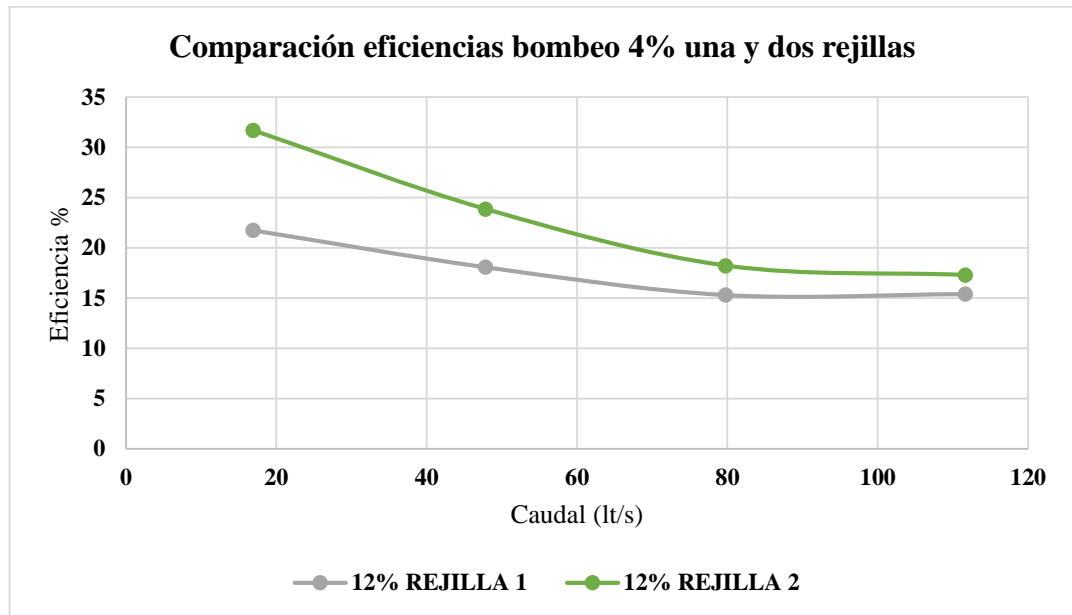
Realizado por: Jaime Robalino

**Figura 46.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en depresión con pendiente longitudinal de 4%, con barroses longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



Realizado por: Jaime Robalino

**Figura 47.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 4% en depresión con pendiente longitudinal de 12%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico

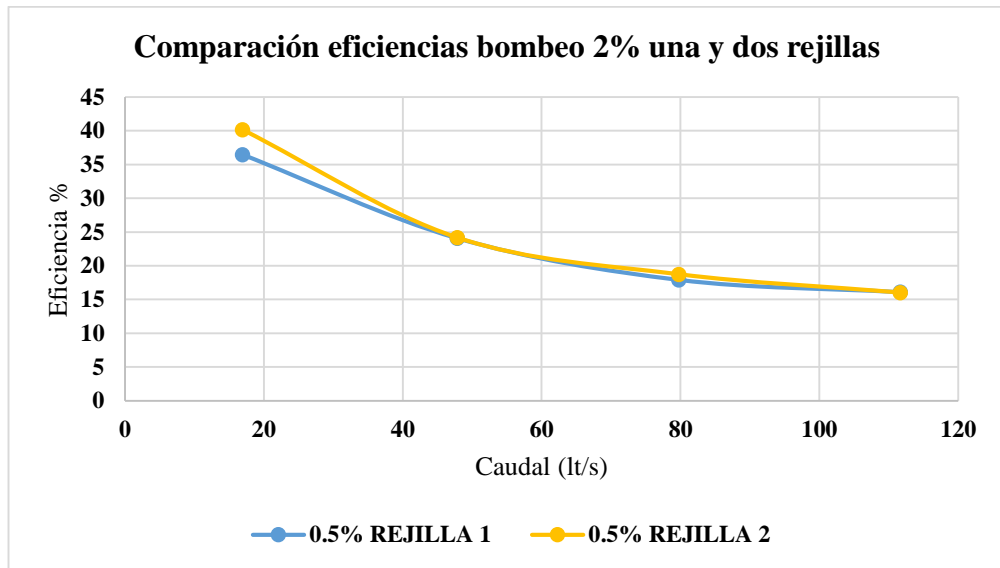


**Realizado por:** Jaime Robalino

- **Nivel de vía**

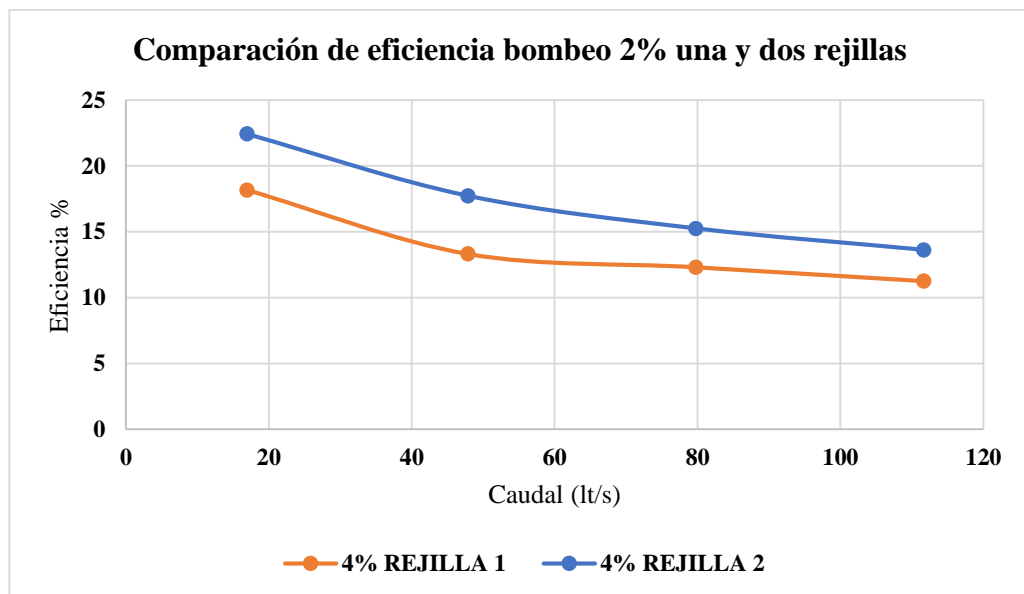
En la figura 46, 47 y 48 de comparación de eficiencias se puede observar curvas de eficiencia de uno y dos sumideros T45 a nivel de vía con bombeo al 2% y sus pendientes longitudinales de 0.5%, 4% y 12%.

**Figura 48.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 0.5%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



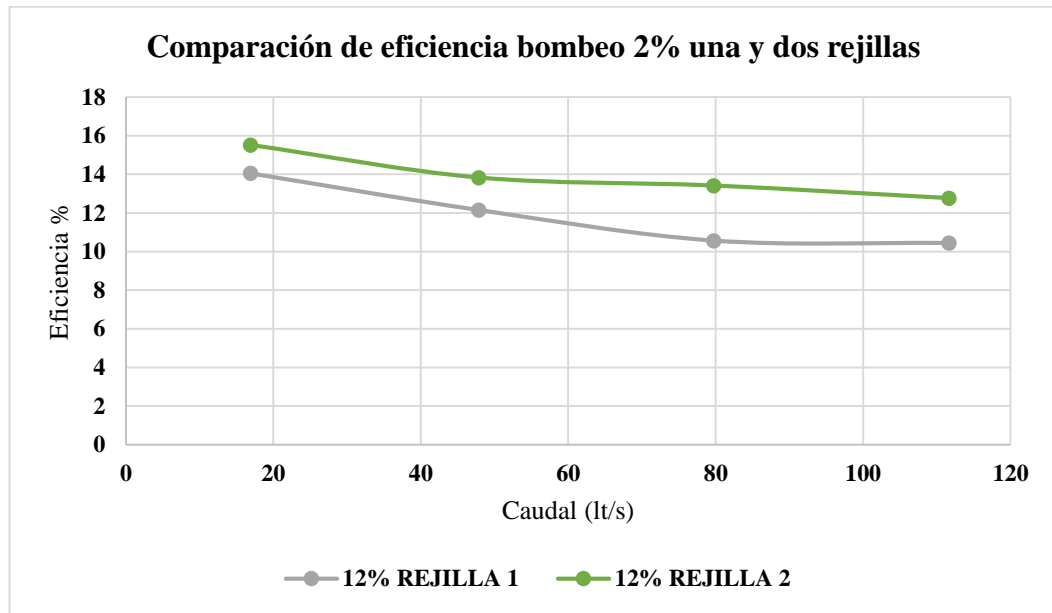
Realizado por: Jaime Robalino

**Figura 49.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 4%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



Realizado por: Jaime Robalino

**Figura 50.-** Comparación de eficiencias con uno y dos sumideros T45 bombeo 2% en depresión con pendiente longitudinal de 12%, con barros longitudinales entre modelo físico y modelo numérico



Realizado por: Jaime Robalino

### 3.1.7. Comparación de eficiencias de modelo numérico vs modelo físico.

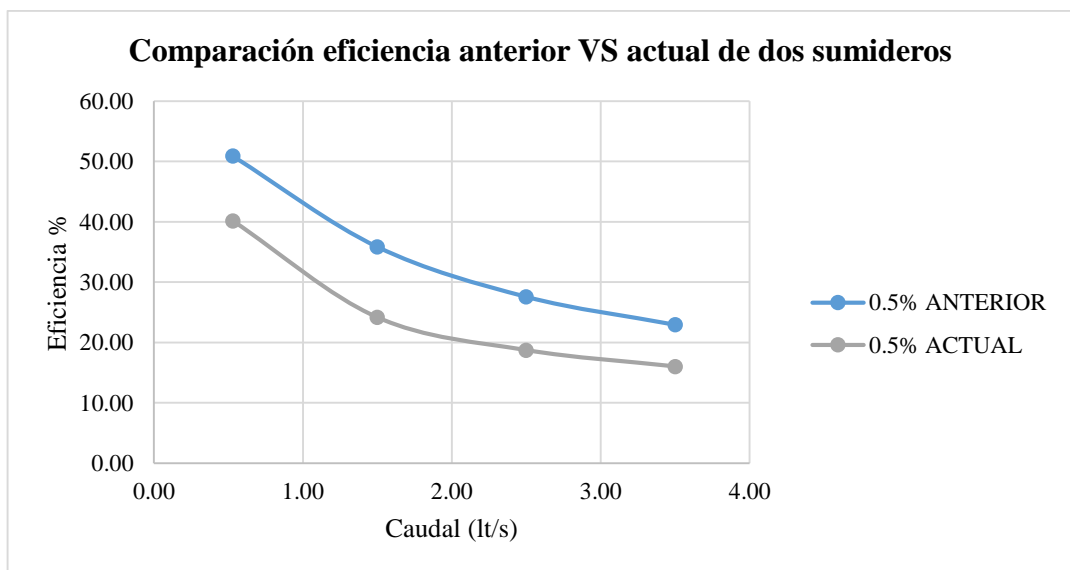
En la tabla 34 se indica los valores de eficiencia hidráulica obtenidos de la investigación perteneciente a Melanie Romero con el nombre de “MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIA TIPO T45 APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES” y de la presente investigación. [29]

**Tabla 34.-** Comparación de eficiencias hidráulicas de investigaciones anteriores vs datos de eficiencia actuales para las condiciones de 2 sumideros con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 0.5% y 4% con barrotes longitudinales

Datos de modelos anteriores				Datos actuales	
Q ingreso (lt/s)	Pendiente transversal	Pendiente longitudinal (investigaciones anteriores)		Pendiente longitudinal actual	
		0.50%	4%	0.50%	4%
0.53	2.00%	50.92	73.51	40.17	22.43
1.50		35.88	47.52	24.17	17.73
2.50		27.60	37.14	18.74	15.25
3.50		22.96	29.46	16.03	13.62

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 51.-** Comparación de eficiencias con datos anteriores vs datos actuales con dos sumideros y bombeo 2%



**Realizado por:** Jaime Robalino

La figura 51 donde se hace la comparación de eficiencia hidráulica con datos anteriores y datos actuales obtenidos de las simulaciones mediante el software se puede observar que, la captación de agua mediante dos sumideros a escala 1:4 con barrotes

transversales tiene un mejor rendimiento al comparar con la eficiencia hidráulica actual con dos sumideros T45 con barrotos longitudinales a nivel de vía.

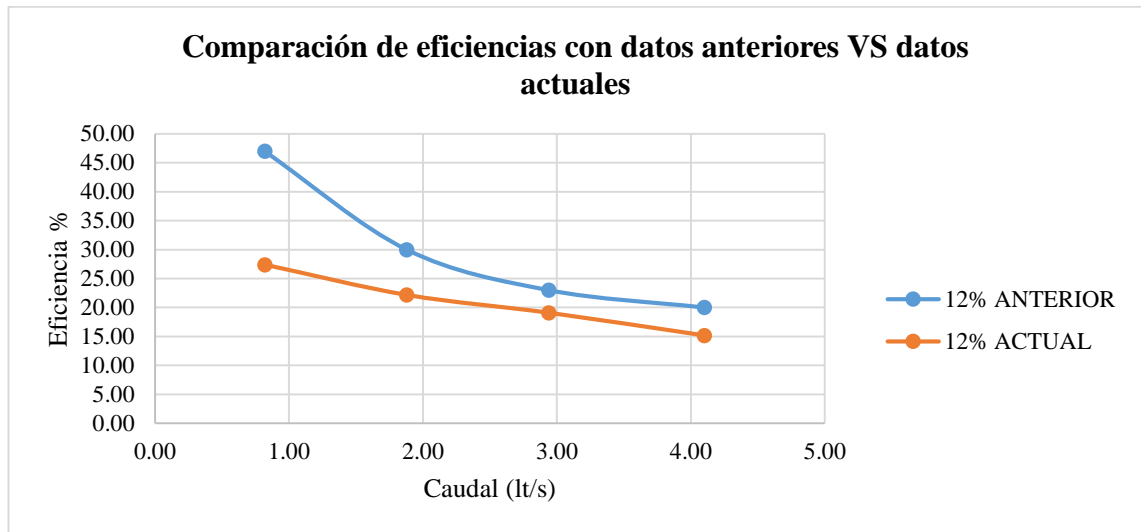
En la tabla 35 se indica los valores de eficiencia hidráulica obtenidos de la investigación perteneciente a Mariela Robalino con el nombre de “MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTOS LONGITUDINALES DE AGUAS LLUVIAS” y de la presente investigación. [30]

**Tabla 35.-** Comparación de eficiencias hidráulicas de investigaciones anteriores vs datos de eficiencia actuales para las condiciones de 2 sumideros con bombeo 2% y pendiente longitudinal de 12% con barrotos longitudinales.

Datos de modelos anteriores			Datos actuales
Q ingreso (lt/s)	Pendiente transversal	Pendiente longitudinal (modelo físico)	Pendiente longitudinal (modelo numérico)
		12.00%	12.00%
0.82	2.00%	47.00	27.39
1.88		30.00	22.16
2.94		23.00	19.07
4.10		20.00	15.16

**Realizado por:** Jaime Robalino

**Figura 52.-** Comparación de eficiencias con datos anteriores vs datos actuales con dos sumideros y bombeo 2% con barrotos longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

En la figura 52 se indica valores de eficiencia en donde se puede observar que, la curva perteneciente a datos anteriores tiene un mejor rendimiento al comparar con valores de eficiencia obtenidos del software para las condiciones de bombeo al 2% con pendiente longitudinal del 12% en elevación.

### 3.1.8. Ecuaciones de eficiencia y tendencia

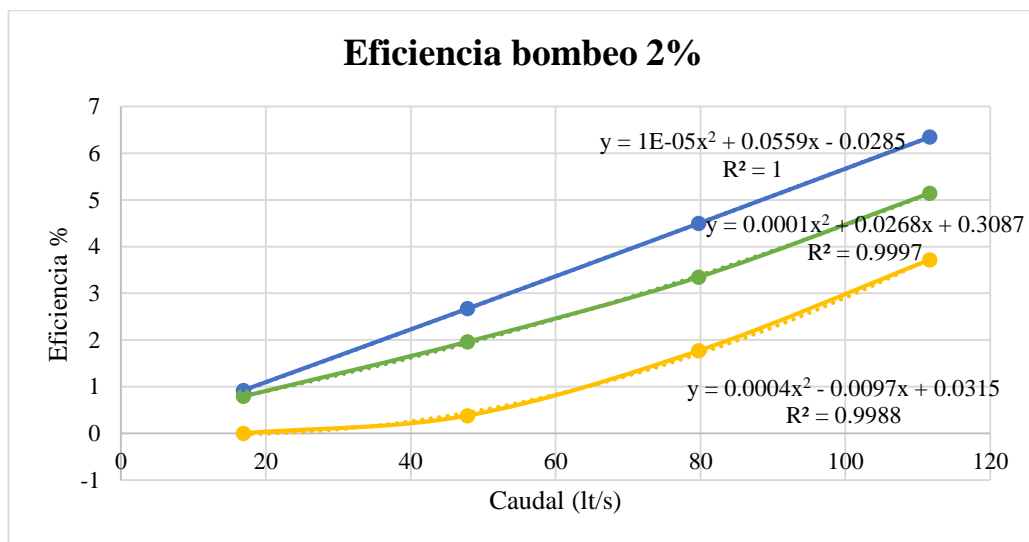
Después de la obtención de los resultados obtenidos mediante el software de simulaciones y hacer comparaciones con valores a escala de investigaciones anteriores teniendo como características los caudales de ingreso y salida y curvas de eficiencia para todos los escenarios descritos anteriormente se puede presentar figuras donde se indican su función que se ajustan mejor a una mayor eficiencia.

Se presenta en primer lugar las correlaciones con un sumidero T45.

- **Elevación**

La figura 53 nos muestra la tendencia que tiene la eficiencia dentro de los parámetros como: bombeo 2%, pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12%.

**Figura 53.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barroses longitudinales

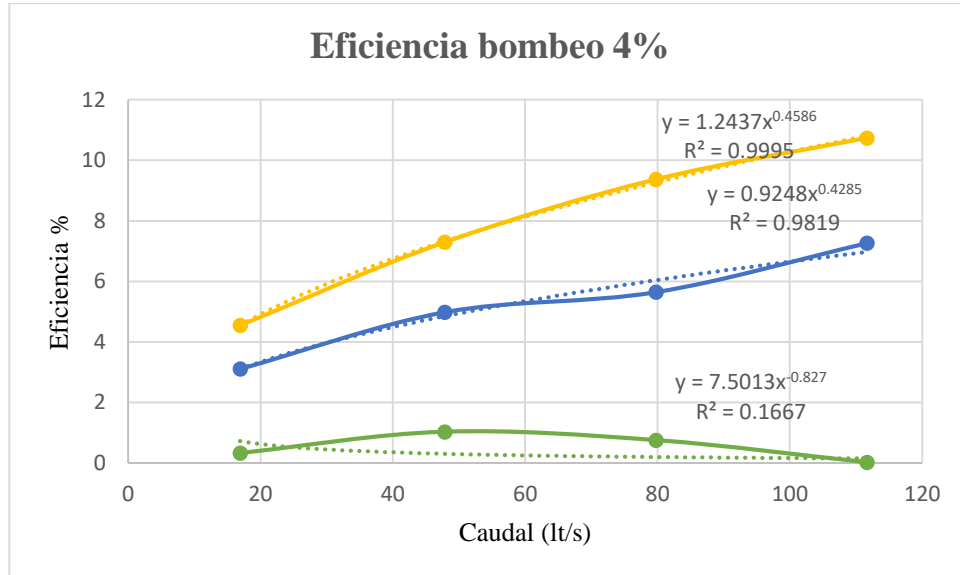


**Realizado por:** Jaime Robalino

En la figura 52 se presenta la eficiencia y correlación en elevación con un bombeo al 4%



**Figura 54.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barroses longitudinales

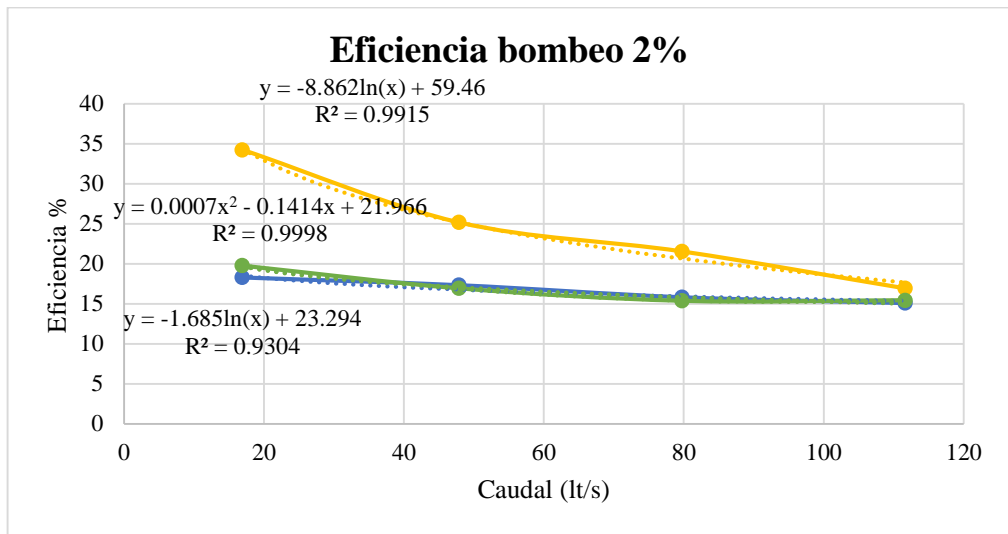


Realizado por: Jaime Robalino

- **Depresión**

En la figura 53 se presenta las curvas de eficiencia del sumidero T45 en depresión con su correlación respectiva para conocer a que tendencia se ajusta de mejor manera.

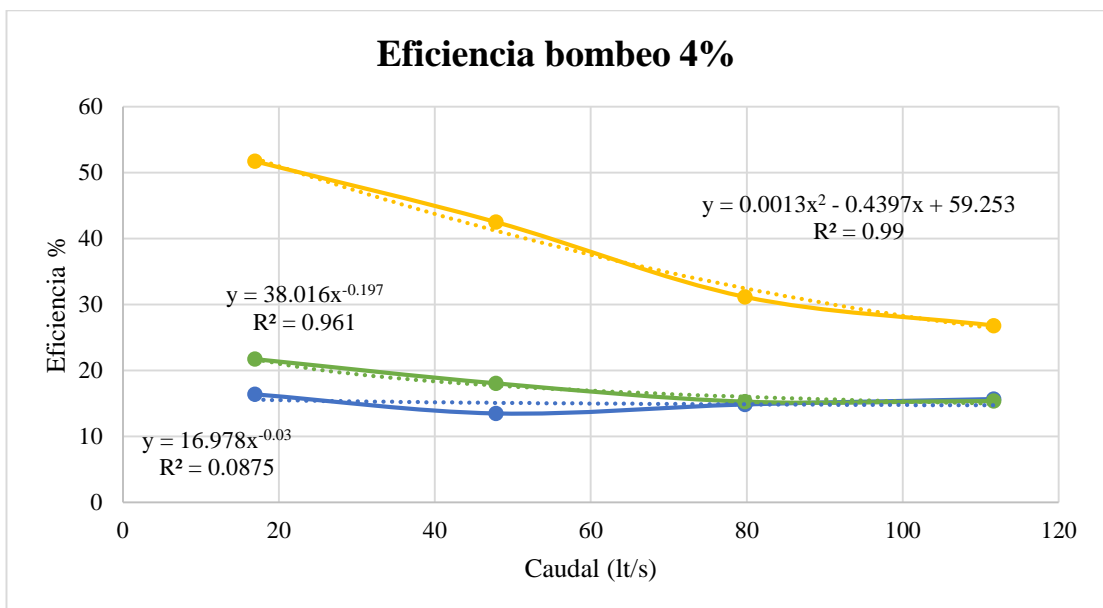
**Figura 55.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barros longitudinales



Realizado por: Jaime Robalino

En la figura 54 se presenta la eficiencia con un bombeo del 4% en depresión con pendientes longitudinales de 0.5%, 4% y 12%.

**Figura 56.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barros longitudinales

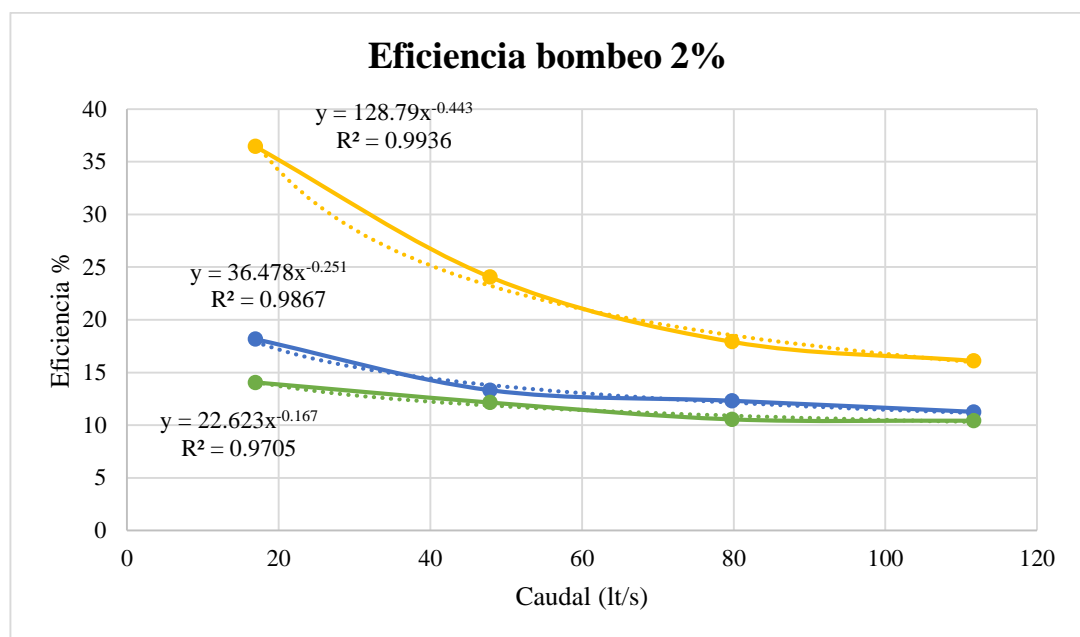


Realizado por: Jaime Robalino

- Nivel de vía

La figura 55 indica las eficiencias de un sumidero T45 con un bombeo de 2% y sus respectivas pendientes longitudinales (0.5%, 4% y 12%).

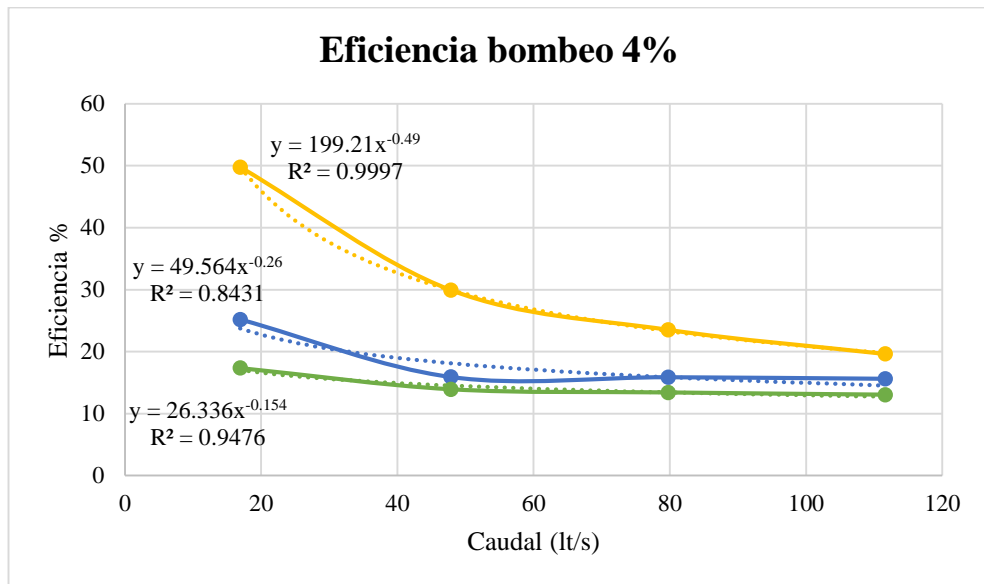
**Figura 57.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barroses longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

En la figura 56 se indica las curvas de eficiencia a nivel de vía con un bombeo de 4% con un sumidero T45.

**Figura 58.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barros longitudinales



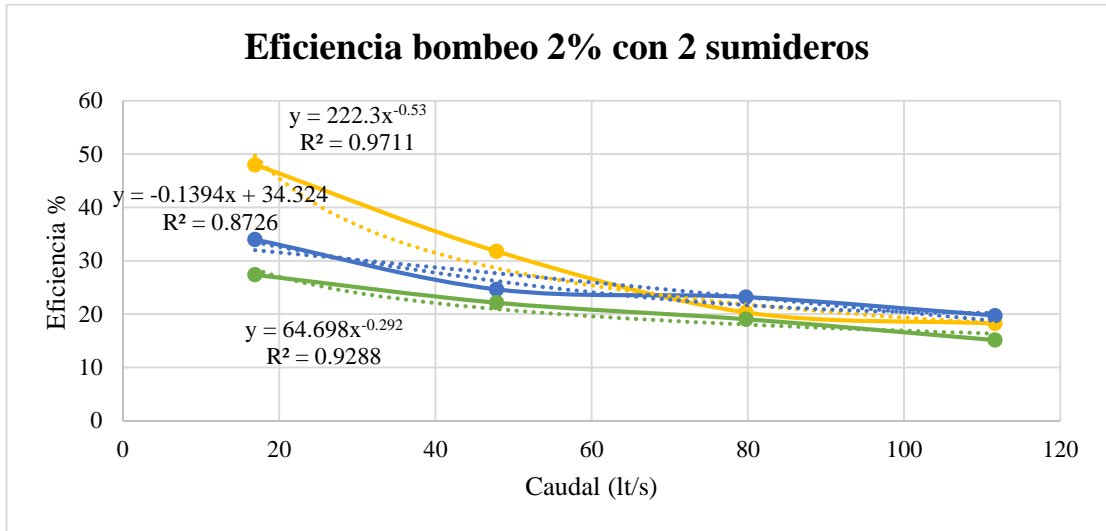
**Realizado por:** Jaime Robalino

Las siguientes figuras de eficiencia y sus correlaciones representan a dos sumideros.

- **Elevación**

La figura 57 representa la eficiencia de dos sumideros T45 en elevación con un bombeo de 2% con su respectiva línea de tendencia.

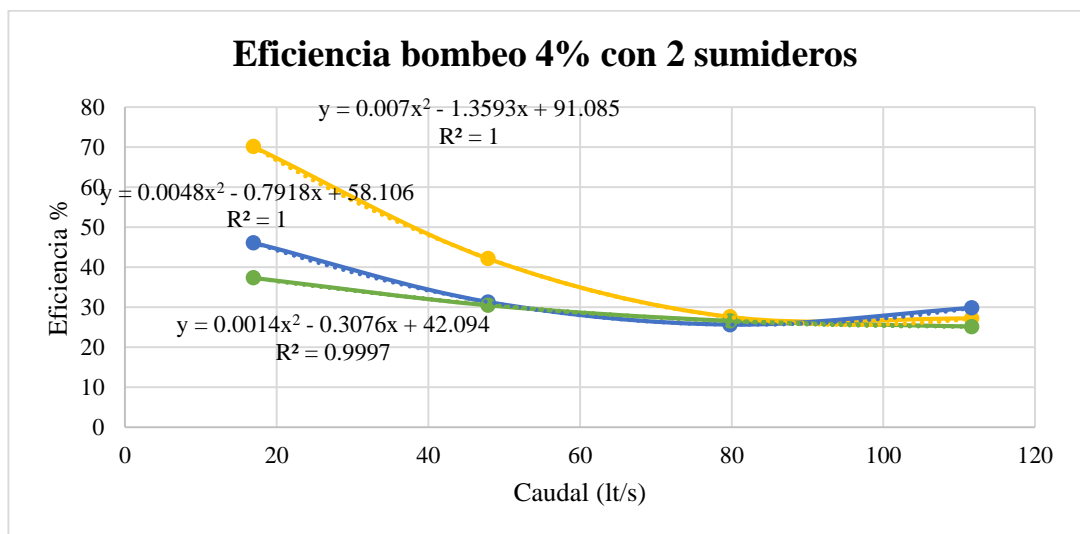
**Figura 59.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con 2 sumideros bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



Realizado por: Jaime Robalino

En la figura 58 se indica la eficiencia de dos sumideros con un bombeo de 4%

**Figura 60.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en elevación con 2 sumideros bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales

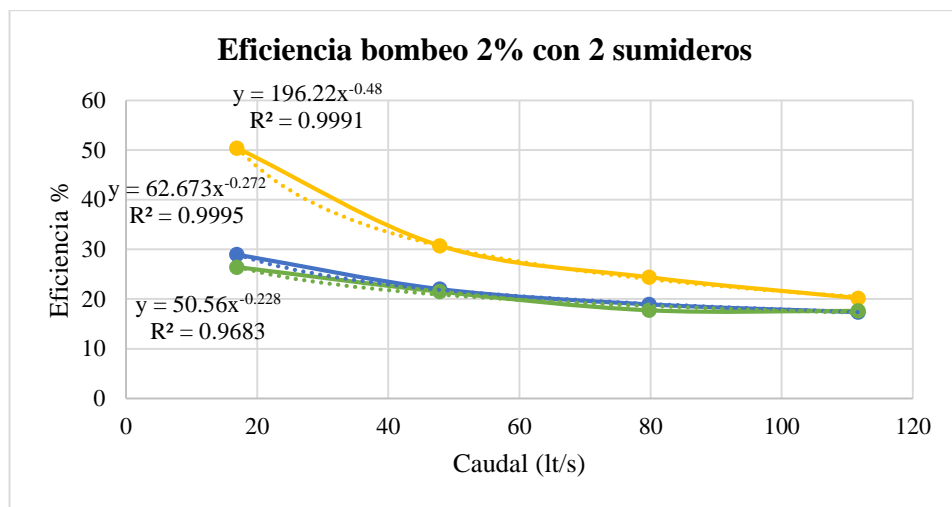


Realizado por: Jaime Robalino

- **Depresión**

En la figura 59 se indica la eficiencia con dos sumideros T45 con un bombeo del 2% en depresión con su correlación.

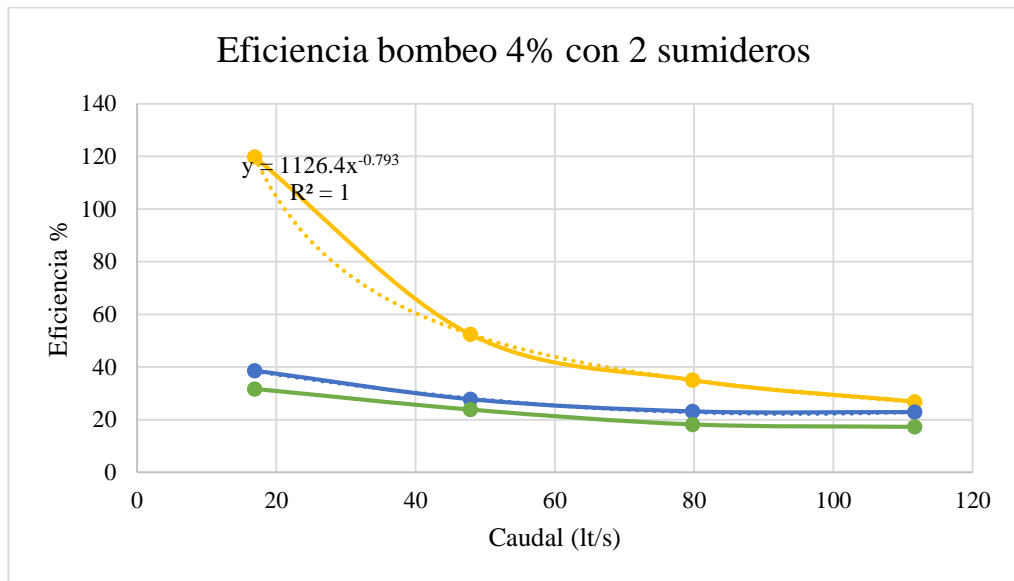
**Figura 61.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con 2 sumideros bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barros longitudinales



**Realizado por:** Jaime Robalino

En la figura 60 se indica la eficiencia con su respectiva correlación en depresión con un valor de bombeo de 4%.

**Figura 62.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 en depresión con 2 sumideros bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales

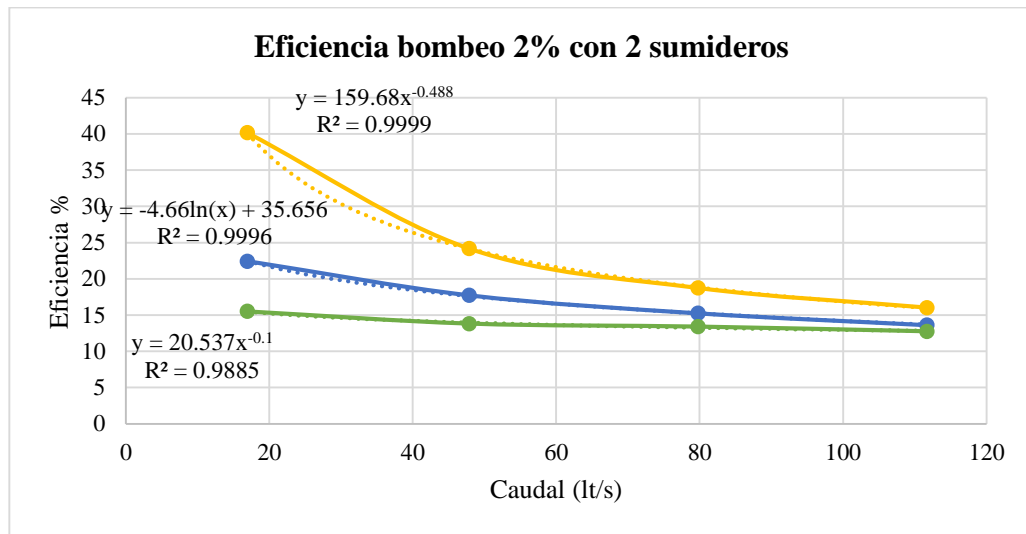


**Realizado por:** Jaime Robalino

- **Nivel de vía**

En la figura 61 se indica la curva de eficiencia con su correlación matemática con un bombeo de 2% a nivel de vía con su respectiva pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12%.

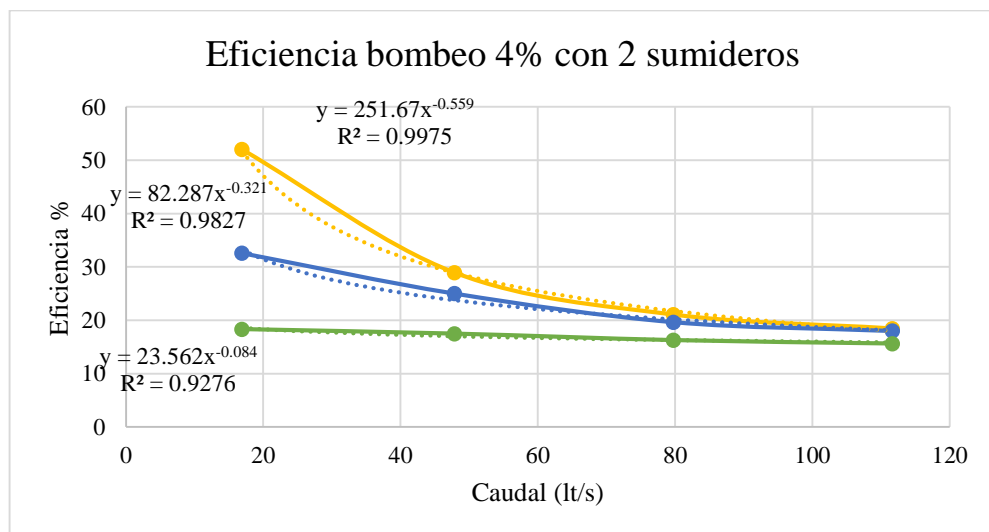
**Figura 63.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con 2 sumideros bombeo 2% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



Realizado por: Jaime Robalino

En la figura 62 se indica la curva de eficiencia con un bombeo de 4% con sus pendientes longitudinales correspondientes; se indica la correlación o ecuación que mejor se compagine con los datos obtenidos dentro de la curva de eficiencia.

**Figura 64.-** Tendencia y correlación de sumidero T45 a nivel de vía con 2 sumideros bombeo 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, 4% y 12% con barrotes longitudinales



Realizado por: Jaime Robalino



### 3.1.9. Ajuste alfa, beta y $R^2$

Para poder realizar el estimado de los valores de coeficientes de ajuste es necesario la recopilación de datos de caudales de ingreso y captación. Por medio de éstos se determina la línea de tendencia de la ecuación potencial de forma  $y = \beta * Q^{-\alpha}$  que nos entrega los valores de los coeficientes de ajuste.

A continuación se presentan los valores de alfa, beta y  $R^2$  para la condición de un sumidero T45 con barros longitudinales con todas las combinaciones de pendientes.

- **Elevación**

**Tabla 36.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación  $R^2$

	<b>j = 0.5%</b>	<b>j = 4%</b>	<b>j = 12%</b>
<b>i = 2%</b>	$\alpha = 0.68$ $\beta = 60.31$ $R^2 = 0.999$	$\alpha = 1.0237$ $\beta = 0.0509$ $R^2 = 0.973$	$\alpha = 0.9756$ $\beta = 0.0484$ $R^2 = 0.9939$
<b>i = 4%</b>	$\alpha = 0.6744$ $\beta = 0.4811$ $R^2 = 0.978$	$\alpha = 0.827$ $\beta = 7.5013$ $R^2 = 0.1667$	$\alpha = 0.1387$ $\beta = 3.3116$ $R^2 = 0.4704$

**Realizado por:** Jaime Robalino

- **Depresión**

**Tabla 37.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación  $R^2$

	<b>j = 0.5%</b>	<b>j = 4%</b>	<b>j = 12%</b>
<b>i = 2%</b>	$\alpha = 0.352$ $\beta = 94.908$ $R^2 = 0.9645$	$\alpha = 0.101$ $\beta = 24.691$ $R^2 = 0.9202$	$\alpha = 0.14$ $\beta = 29.234$ $R^2 = 0.9663$
<b>i = 4%</b>	$\alpha = 0.347$ $\beta = 145.15$ $R^2 = 0.9295$	$\alpha = 0.03$ $\beta = 16.978$ $R^2 = 0.0875$	$\alpha = 0.197$ $\beta = 38.016$ $R^2 = 0.961$

**Realizado por:** Jaime Robalino

- **Nivel de vía**

**Tabla 38.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación  $R^2$

	<b>j = 0.5%</b>	<b>j = 4%</b>	<b>j = 12%</b>
<b>i = 2%</b>	$\alpha = 0.443$ $\beta = 128.79$ $R^2 = 0.9936$	$\alpha = 0.251$ $\beta = 36.478$ $R^2 = 0.9867$	$\alpha = 0.167$ $\beta = 22.623$ $R^2 = 0.9705$
<b>i = 4%</b>	$\alpha = 0.49$ $\beta = 199.21$ $R^2 = 0.9997$	$\alpha = 0.26$ $\beta = 49.564$ $R^2 = 0.8431$	$\alpha = 0.154$ $\beta = 26.336$ $R^2 = 0.9476$

**Realizado por:** Jaime Robalino

A continuación, en las siguientes tablas se presenta los valores de alfa, beta y  $R^2$  para el escenario de dos sumideros T45 con barrotes longitudinales en las condiciones: elevación, depresión y a nivel de vía.

- **Elevación**

**Tabla 39.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación  $R^2$

	<b>j = 0.5%</b>	<b>j = 4%</b>	<b>j = 12%</b>
<b>i = 2%</b>	$\alpha = 0.53$	$\alpha = 0.273$	$\alpha = 0.292$
	$\beta = 222.3$	$\beta = 73.201$	$\beta = 64.698$
	$R^2 = 0.9711$	$R^2 = 0.9786$	$R^2 = 0.9288$
<b>i = 4%</b>	$\alpha = 0.536$	$\alpha = 0.274$	$\alpha = 0.214$
	$\beta = 319.9$	$\beta = 95.589$	$\beta = 68.562$
	$R^2 = 0.972$	$R^2 = 0.8136$	$R^2 = 0.9955$

**Realizado por:** Jaime Robalino

- **Depresión**

**Tabla 40.-** Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación  $R^2$

	<b>j = 0.5%</b>	<b>j = 4%</b>	<b>j = 12%</b>
<b>i = 2%</b>	$\alpha = 0.48$	$\alpha = 0.272$	$\alpha = 0.228$
	$\beta = 196.22$	$\beta = 62.673$	$\beta = 50.56$
	$R^2 = 0.9991$	$R^2 = 0.9995$	$R^2 = 0.9683$
<b>i = 4%</b>	$\alpha = 0.793$	$\alpha = 0.293$	$\alpha = 0.335$
	$\beta = 1126.4$	$\beta = 87.141$	$\beta = 82.806$
	$R^2 = 0.9995$	$R^2 = 0.9773$	$R^2 = 0.9779$

**Realizado por:** Jaime Robalino

- Nivel de vía

**Tabla 41.-**Valores numéricos de los coeficientes de ajuste, y el coeficiente de determinación  $R^2$

	<b>j = 0.5%</b>	<b>j = 4%</b>	<b>j = 12%</b>
<b>i = 2%</b>	$\alpha = 0.488$ $\beta = 159.68$ $R^2 = 0.9999$	$\alpha = 0.261$ $\beta = 47.443$ $R^2 = 0.992$	$\alpha = 0.1$ $\beta = 20.537$ $R^2 = 0.9885$
<b>i = 4%</b>	$\alpha = 0.559$ $\beta = 251.67$ $R^2 = 0.9975$	$\alpha = 0.321$ $\beta = 82.287$ $R^2 = 0.9827$	$\alpha = 0.084$ $\beta = 23.562$ $R^2 = 0.9276$

**Realizado por:** Jaime Robalino

### 3.2. Verificación De Hipótesis

En el inicio del presente trabajo experimental se planteó 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 lluvia.”

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

- 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 válida debido a directa influencia de la pendiente transversal, longitudinal, el caudal y la geometría influyen en la eficiencia de captación.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Mediante la investigación y simulaciones realizadas se determinó las eficiencias hidráulicas tanto para uno como dos sumideros T45 con barrotes longitudinales con sus respectivas variaciones de pendiente transversal y longitudinal, con diferentes ángulos de estudio como depresión, elevación y a nivel de vía.
- Con los datos obtenidos de las simulaciones se determinó que, la eficiencia perteneciente a dos sumideros es mayor a la eficiencia determinada para un sumidero T45 con barrotes longitudinales.
- Se realizó comparaciones de valores de eficiencias para uno como dos sumideros T45 con barrotes longitudinales en donde se determinó que se tiene una mayor eficiencia con dos sumideros debido a que tiene mayor capacidad de captación de agua.
- En el escenario que corresponde a pendiente transversal de 2% con un sumidero T45 con barrotes longitudinales en elevación se determinó que, se tuvo una eficiencia de 6.35% en la curva perteneciente a una pendiente longitudinal de 4% y siendo la mejor curva de eficiencia hidráulica con estas condiciones.

- En los datos de eficiencia pertenecientes a un sumidero T45 con barrotes longitudinales con pendiente transversal de 4% en depresión el menor valor de eficiencia pertenece a la pendiente longitudinal de 4% con un caudal de 47.85lt/s siendo 13.49% su eficiencia.
- Los valores de eficiencia obtenidos con dos sumideros T45 con barrotes longitudinales en elevación se determinó que independientemente el valor del caudal la eficiencia disminuye mientras el valor de la pendiente longitudinal va en aumento.
- Al momento de comparar valores de eficiencia de investigaciones anteriores con las obtenidas en la presente investigación se dedujo que, las eficiencias de investigaciones del modelo físico tienen una mayor eficiencia que las obtenidas mediante un software de simulación.
- Las curvas de eficiencia hidráulica que se compara a nivel de vía con uno y dos sumideros T45 con barrotes longitudinales con pendiente transversal de 4% tienen una eficiencia mayor al momento de tener un caudal de captación bajo, pero mientras el caudal aumenta su eficiencia va disminuyendo y la pendiente longitudinal no influye dentro de la disminución de la eficiencia.

## 4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un número mayor de combinaciones de pendientes transversales y longitudinales para obtener mejores eficiencias y que sirvan para la aplicación en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 vigente en el Ecuador.
- Para la obtención de valores de eficiencia se recomienda realizar nuevas variaciones de barrotes en sumideros T45 que permita una mejor captación de agua lluvia
- Para validar los resultados de ésta modelación numérica se recomienda realizar una modelación física con la condición del sumidero T45 con barrotes longitudinales en depresión.



## **Bibliografía**

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

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654>. [Último acceso: 22 10 2020]. 177

[10] J. Jeong y R. Charbeneau, «Diffusion wave model for simulating storm-water runoff on highway pavement surfaces at superelevation transition,» *Journal of hydraulic engineering*, vol. 136, pp. 770-778, 2010.

[11] Universidad de los Andes y PAVCO, «Sumideros en alcantarillados de aguas lluvias- Diseños típicos utilizados en Colombia y mecanismos de retención de sólidos,» Centro de investigaciones de acueductos y alcantarillados, 2 2009. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/49107325/06-Sumideros-enAlcantarillados-de-Aguas-Lluvias>. [Último acceso: 22 10 2020].

[12] R. Cortez y E. Kaliski, «Estudio experimental del funcionamiento de sumideros de aguas lluvias- caso: sumidero ubicado fuera de la calle (vereda),» XXII Congreso latinoamericano de hidráulica ciudad Guayana, Venezuela, 2006.

[13] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Procedimientos para proyectos viales*, Quito: Nevi-12, 2013.

[14] Instituto ecuatoriano de normalización, *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2499*, Quito-Ecuador, 2009.

[15] Instituto ecuatoriano de normalización, *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2496*, Quito-Ecuador, 2009.

[16] *Norma de diseño geométrico de carreteras*, 2003.

[17] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*, Perú.

[18] J. Gribbin, *Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua pluvial*, México: CENGAGE-Learning.

[19] G. Benjamín y A. Rodríguez, *Apuntes de hidrología superficial nuevo planUMSNH-Hidrología superficial*, México, 2009.

[20] SAGARPA, «Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación-Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas,» 2013. [En línea]. Available:

[https://www.academia.edu/38641532/HIDROLOG%3%8DA\\_APLICADA\\_A\\_LA\\_S\\_PEQUE%3%91AS\\_OBRAS\\_HIDR%3%81ULICAS\\_SECRETAR%3%8DA\\_DE\\_AGRICULTURA\\_GANADER%3%8DA\\_DESARROLLO\\_RURAL\\_PESC\\_A\\_Y\\_ALIMENTACI%3%93N\\_Subsecretar%3%ADa\\_de\\_Desarrol\\_lo\\_Rural\\_Direcci%3%B3n\\_General\\_de](https://www.academia.edu/38641532/HIDROLOG%3%8DA_APLICADA_A_LA_S_PEQUE%3%91AS_OBRAS_HIDR%3%81ULICAS_SECRETAR%3%8DA_DE_AGRICULTURA_GANADER%3%8DA_DESARROLLO_RURAL_PESC_A_Y_ALIMENTACI%3%93N_Subsecretar%3%ADa_de_Desarrol_lo_Rural_Direcci%3%B3n_General_de). [Último acceso: 23 10 2020].

[21] Norma IEOS, «SCRIBD,» 24 2 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/82648163/Normas-IEOS>. [Último acceso: 23 10 2020].

[22] I. N. d. M. e. Hidrología, Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, Quito-Ecuador: Actualización del estudio de lluvias intensas-VERSION (2)2019, 2015. 178

[23] D. Maidment y L. Mays, Hidrología Aplicada, Bogota: VEN TE CHOW, 1994.

[24] P. Rodríguez, Hidráulica II-Hidráulica de canales, Oaxaca, 2008.

[25] M. Jarrín, BASES PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE TRANSICIONES EN FLUJO SUBCRÍTICO Y SUPERCRÍTICO. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2969/1/T-UCE-0011-145.pdf>. [Último acceso: 15 11 2020]

[26] Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica, «Flujo uniforme de la rugosidad de canales,» [En línea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/12697/60/3353962.2005.Parte%2011.pdf>. [Último acceso: 29 10 2020]

[27] J. Saiz, A. Saiz y M. Olvarrieta, Canales abiertos- Material didáctico para el curso de Hidráulica I, Sonora-México: Programa de Ingeniería Civil, 2012.

[28] J. Anta, Análisis dimensional y semejanza. Desarrollo de modelos a escala, España: Técnicas experimentales en Hidráulica, 2008.

[29] M. Romero. (2019). MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIA TIPO T45 APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES. [En línea]. Available:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30022/1/Tesis%20I.%20C.%201340%20-%20Romero%20Viteri%20Melanie%20Neydhi.pdf>. [Último acceso: 1 02 2021]

[30] M. Robalino. (2019). MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDROS TIPO T45 MODIFICADO CON BARROTOS LONGITUDINALES DE AGUAS LLUVIAS. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30643/1/Tesis%20I.%20C.%201379%20-%20Robalino%20Lara%20Mariela%20Monserrath.pdf>. [Último acceso: 1 02 2021]

[31] J.Ordóñez. (2011). CARTILLA TÉCNICA: AGUAS SUBTERRÁNEAS-ACUÍFEROS. [En línea]. Available: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/aguas\\_subterraneeas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneeas.pdf). [Último acceso: 4 02 2021]

[32] Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología (2015). DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN. [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: 4 02 2021]

[33] R. De La Cruz. (2019). Flujo de fluidos líquidos. Perú. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/15364955/>. [Último acceso: 4 02 2021]

[34] J. Vásquez. (2003). MODELACION NUMERICA EN HIDRÁULICA. [En línea]. Available: <http://www.oocities.org/hidropiura/ModelNum.pdf>. [Último acceso: 4 02 2021]