



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**EVALUACION ANALITICA DE MODELOS PARA DETERMINAR
EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN SISTEMAS DE
ALCANTARILLADO.**

TUTOR

ING. MARCIAL CALERO AMORES

AUTOR

ABRAHAN VINICIO SALAZAR GALARZA

GUAYAQUIL

2023

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Evaluación Analítica De Modelos Para Determinar El Comportamiento Del Flujo En Sistemas De Alcantarillado.

AUTOR/ES:

Salazar Galarza Abraham Vinicio

TUTOR:

Ing. Marcial Calero Amores

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente Rocafuerte de
Guayaquil

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCION

CARRERA:

INGENIERIA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2023

N. DE PÁGS:

123

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Canal, flujo hidráulico, modelización, análisis de flujo

La tesis "Evaluación analítica de modelos para determinar el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado" destaca la importancia de realizar una evaluación analítica precisa para evitar resultados inexactos en el diseño de canales y sistemas de alcantarillado. Como objetivo general propone: Evaluar experimentalmente los modelos analíticos existentes para determinar el comportamiento y la resistencia al flujo en los canales abiertos y en los sistemas de alcantarillado, tomando en consideración los coeficientes de resistencia al flujo. La hipótesis planteada es que la evaluación analítica de modelos para determinar el comportamiento del flujo en los sistemas de alcantarillado permitirá mejorar la eficacia y la capacidad de diseño de los conductos, lo que resultará en una mejor operatividad y determinar el impacto técnico y económico de los modelos en los sistemas de alcantarillado. La metodología se realizó en el canal hidráulico de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, bajo la dirección del Ing. Marcial Calero con la finalidad de generar conocimientos de importancia sobre el

comportamiento del flujo en los sistemas de alcantarillados. Fase 1: Consistió en la recolección de información y datos hidráulicos, mediante observación directa de las características del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Fase 2: se estableció los cálculos analíticos y tabulación de los resultados para posteriormente determinar los caudales de Manning, Chezy y Darcy, llegando a la conclusión que el diseño de Manning dependiente del material, sin embargo, Chezy y Darcy son independientes de la rugosidad

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:
---	-----------------------------

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
---------------------	---	------------------------------------

CONTACTO CON AUTOR/ES: Salazar Galarza Abrahan Vinicio	Teléfono: # de teléfono: 0986820658	E-mail: asalazarg@ulvr.edu.ec
--	--	---

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	<p>Mgtr. Genaro Gaibor Spín (Decano)</p> <p>Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241</p> <p>E-mail: ggaibor@ulvr.edu.ec</p> <p>Mgtr. María Eugenia Dueñas Barberan (Director de Carrera)</p> <p>Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 209</p> <p>E-mail: mduenasb@ulvr.edu.ec</p>
------------------------------------	--

CERTIFICADO DE SIMILITUD

EVALUACION ANALITICA DE MODELOS PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	8%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	idoc.pub Fuente de Internet	1%
2	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
4	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%
7	ojs.unisangil.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	www.castillalanueva.gov.co Fuente de Internet	<1%



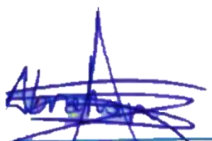
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado ABRAHÁN VINICIO SALAZAR GALARZA, declara bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Evaluación Analítica De Modelos Para Determinar El Comportamiento Del Flujo En Sistemas De Alcantarillado, corresponde totalmente a él suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor

Firma:



ABRAHÁN VINICIO SALAZAR GALARZA

C.I. 0942232695

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Evaluación Analítica De Modelos Para Determinar El Comportamiento Del Flujo En Sistemas De Alcantarillado, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Evaluación Analítica De Modelos Para Determinar El Comportamiento Del Flujo En Sistemas De Alcantarillado, presentado por el estudiante ABRAHÁN VINICIO SALAZAR GALARZA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



ING. MARCIAL CALERO AMORES

C.I. 0905197869

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi pilar principal que impulsa mi camino.

A mis padres por estar cada día motivándome en esta ardua lucha de superación.

A mi esposa Diana e hijos, que me motivan cada día.

A mi tutor de tesis, Ing. Marcial Calero Amores, por su valiosa asesoría en el desarrollo de esta tesis.

Salazar Galarza Abrahan Vinicio

DEDICATORIA

A mi esposa Diana e hijos, por estar cada día presente en mi vida y darme las fuerzas que me impulsan a seguir.

A mis padres, sin ustedes no sería el profesional que busca nuevos horizontes.

Salazar Galarza Abraham Vinicio

RESUMEN

La tesis "Evaluación analítica de modelos para determinar el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado" destaca la importancia de realizar una evaluación analítica precisa para evitar resultados inexactos en el diseño de canales y sistemas de alcantarillado. Como objetivo general propone: Evaluar experimentalmente los modelos analíticos existentes para determinar el comportamiento y la resistencia al flujo en los canales abiertos y en los sistemas de alcantarillado, tomando en consideración variables como la geometría del canal y los coeficientes de rugosidad. La hipótesis planteada es que la evaluación analítica de modelos para determinar el comportamiento del flujo en los sistemas de alcantarillado permitirá mejorar la eficacia y la capacidad de diseño de los conductos, lo que resultará en una mejora en la operatividad y determinar el impacto técnico y económico de los modelos en los sistemas de alcantarillado. La metodología se realizó en el canal hidráulico de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, bajo la dirección del Ing. Marcial Calero Amores con la finalidad de generar conocimientos de importancia sobre el comportamiento del flujo en los sistemas de alcantarillados. **Fase 1:** Consistió en la recolección de información y datos hidráulicos, mediante observación directa de las características del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte. **Fase 2:** se estableció los cálculos analíticos y tabulación de los resultados para posteriormente determinar los caudales de Manning, Chezy y Darcy, llegando a la conclusión que el diseño de Manning dependiente del material, sin embargo, Chezy y Darcy son independientes de la rugosidad.

Palabras claves: Canal, flujo hidráulico, modelización, análisis de flujo

ABSTRACT

The thesis "Analytical evaluation of models to determine the behavior of the flow in sewerage systems" highlights the importance of carrying out an accurate analytical evaluation to avoid inaccurate results in the design of channels and sewerage systems. As a general objective, it proposes: Experimentally evaluating existing analytical models to determine the behavior and resistance to flow in open channels and sewerage systems, taking into account variables such as channel geometry and roughness coefficients. The proposed hypothesis is that the analytical evaluation of models to determine the behavior of the flow in the sewerage systems will allow to improve the efficiency and the design capacity of the ducts, which will result in an improvement in the operability and determine the technical and economic impact. of the models in sewerage systems. The methodology was carried out in the hydraulic channel of the Faculty of Engineering, Industry and Construction, under the direction of Eng. Marcial Calero Amores in order to generate important knowledge about the flow behavior in sewerage systems. Phase 1: Consisted of the collection of information and hydraulic data, through direct observation of the characteristics of the Hydraulics Laboratory of the Faculty of Engineering, Industry and Construction of the Laica Vicente Rocafuerte University. Phase 2: the analytical calculations and tabulation of the results were established to later determine the Manning, Chezy and Darcy flows, reaching the conclusion that the Manning design depends on the material, however Chezy and Darcy are independent of the roughness

Keywords: Channel, hydraulic flow, modeling, flow analysis

ÍNDICE GENERAL

1.	CAPÍTULO I.....	3
1.1	Tema:.....	3
1.2	Planteamiento del Problema:.....	3
1.3	Formulación del problema.....	4
1.4	Sistematización del problema.....	4
1.5	Objetivo general.....	5
1.6	Objetivos específicos.....	5
1.7	Hipótesis.....	5
	CAPÍTULO II.....	7
2.1	Antecedentes.....	7
2.1.	Marco Teórico.....	8
2.1.1.	Alcantarillados.....	8
2.1.2.	Modelación de sistemas de alcantarillado.....	8
2.1.3.	Alcantarillado pluvial.....	9
2.1.4.	Definición de conducción.....	9
2.1.4.1.	Tipos de conducción.....	9
2.1.4.1.1.	Conducción abierta.....	9
2.1.4.1.2.	Conducción cerrada.....	9
2.1.5.	Definición de canales.....	10
2.1.5.1.	Tipos de canales de acuerdo a su origen de clasificación.....	10
2.1.5.1.1.	Canal natural.....	10
2.1.5.1.2.	Canal Artificial.....	10
2.1.5.1.2.1.	Canal de laboratorio- canal de ensayo HM 162.....	10
2.1.6.	Definición de sección transversales de canales.....	11
2.1.6.1.	Tipos de sección transversal aplicado a canales.....	11
2.1.6.1.1.	Sección trapezoidal.....	12
2.1.6.1.2.	Sección circular.....	13
2.1.6.1.3.	Sección rectangular.....	13
2.1.7.	Tipos de flujos.....	14
2.1.7.1.	Flujo a presión.....	14
2.1.7.2.	Flujo a superficie libre.....	14
2.1.8.	Comportamiento del flujo en canales.....	14

2.1.9.	Rugosidad experimental y rugosidad teórica	15
2.1.10.	Ecuaciones gobernantes	15
2.1.10.1.	Ecuaciones de cantidad de movimiento	16
2.1.11.	Ecuaciones empíricas	16
2.1.11.1.	Ecuación de Chezy	16
2.1.11.2.	Ecuación de Manning	16
2.1.11.3.	Formulación de Darcy Weisbach	17
2.1.11.3.1.	Radio hidráulico	18
2.1.11.3.2.	Factor de fricción en Darcy Weisbach	18
2.1.11.3.3.	Definición de Darcy Weisbach	18
2.1.12.	Flujo en canales abiertos	19
2.1.13.	Diseño de canales con flujo uniforme	20
2.1.14.	Rugosidad compuesta	22
2.1.14.1.	Diferencia entre rugosidad compuesta y rugosidad simple	22
2.1.14.2.	Relación de llenado de rugosidad compuesta	22
2.2.	Marco Legal	23
2.2.1.	Normativa nacional	23
2.2.2.	Plan Nacional De Desarrollo 2017-2021 – toda una vida	23
2.2.3.	Normativa	23
2.	CAPÍTULO III	25
3.1.	Enfoque de la investigación	25
3.2.	Alcance de la investigación	26
3.3.	Técnica e instrumentos para obtener datos	27
3.3.1.	Técnica para obtener datos	27
3.3.2.	Instrumentos para obtener datos	28
3.4.	Población y muestra	28
3.4.1.	Población	28
3.4.2.	Muestra	28
3.4.3.	Tipos de muestras	28
3.	CAPÍTULO IV	29
4.1.	Presentación y análisis de resultados	29
4.2.	Recopilación de información	31
4.3.	Conversiones de los datos recopilados	33
4.3.1.	Cálculos realizados para la conversión de caudales	33

4.3.2.	Cálculos realizados para la conversión de tirantes	33
4.3.3.	Cálculos realizados para la conversión de pendientes	34
4.3.4.	Cálculos realizados para la conversión del ancho de plantilla o base.....	34
4.4.	Ecuación analítica para canales de sistema de alcantarillado	36
4.5.	Cálculos para el modelo de canal de sistema de alcantarillado	37
4.5.1.	Cálculos del área hidráulica	37
4.5.2.	Cálculos del perímetro mojado.....	39
4.5.3.	Cálculos del Radio Hidráulico	41
4.6.	Determinación de ecuaciones.....	43
4.6.1.	Caudal experimental y rugosidad experimental	43
4.6.2.	Caudal Manning y rugosidad n	43
4.6.3.	Caudal Chezy y rugosidad c	44
4.6.4.	Caudal Darcy y rugosidad f.....	44
4.6.5.	Ecuaciones generales de la fórmula de Darcy	44
4.6.6.	Formula número de Reynolds	45
4.6.7.	Fórmula número de Froude.....	45
4.6.8.	Determinación de factor de rugosidad Horton.....	45
4.7.	Ecuación de Manning	45
4.7.1.	Definición de “n”.....	46
4.7.2.	Cálculos aplicados para la resolución de la rugosidad experimental	48
4.7.3.	Cálculos aplicados para la determinación de la rugosidad de “n de Horton” 50	
4.7.4.	Cálculos aplicados para la resolución de caudales de Manning (Q Manning) 52	
4.8.	Tabla resumen Manning.....	54
4.9.	Determinación de Chezy	55
4.10.	Cálculo del coeficiente de rugosidad de Chezy “c”	55
4.10.1.	Determinación del coeficiente de chezy en vidrio y acero.	56
4.10.2.	Cálculo preliminar del coeficiente de rugosidad de Horton “c Horton”	57
4.11.	Tabla resumen Chezy	60
4.12.	Ecuaciones generales de la fórmula de Darcy	61
4.12.1.	Cálculo preliminar de números de Reynolds	62
4.12.2.	Definición del régimen hidráulico en canales abiertos -número de froude ..	64
4.12.3.	Definición del factor de fricción.....	66
4.12.3.1.	Definición de los factores de fricción del vidrio.....	66

4.12.3.2.	Definición de los factores de fricción del acero.....	68
4.12.3.3.	Definición de los factores de fricción de Horton.....	70
4.12.4.	Definición y cálculos del caudal de Darcy	72
4.13.	Tabla resumen Dacy	74
4.14.	Tabla resumen Números de Reynolds y Números de Froude.....	75
4.15.	Tabla resumen comparación de caudales vs rugosidad	76
4.15.1.	Comparativa rugosidad “n” vs Caudal Manning	76
4.15.2.	Resultados del cálculo del caudal experimental y el caudal de Manning	78
4.16.	Análisis de resultados.....	79
4.16.1.	Comparativa entre el caudal experimental y el caudal de Manning	79
4.16.2.	Comparativa rugosidad de chezy “c” vs caudal de chezy	80
4.16.3.	Resultados del cálculo del caudal experimental y el caudal de Chezy	82
4.16.4.	Comparativa entre el caudal experimental y el caudal de Chezy	82
4.16.5.	Comparativa rugosidad de Darcy “f” vs caudal de Darcy.....	84
4.16.6.	Resultados del cálculo del caudal experimental y el caudal de Darcy	86
4.16.7.	Comparativa entre el caudal experimental y el caudal de Darcy	87
4.17.	Tabla resumen comparación de caudal experimental, caudal de Manning, de Chezy, de Darcy.....	88
4.17.1.	Análisis del impacto técnico y económico	93
4.18.	Propuesta.....	95
CONCLUSIONES		96
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS		98
ANEXOS		102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de investigación Institucional	6
Tabla 2 Técnica e instrumentos	27
Tabla 3 Recolección de datos	32
Tabla 4 Registro de unidades de los datos recopilados: de caudal, tirante, pendiente y base	35
Tabla 5 Resultados del cálculo del área hidráulica	38
tabla 6 Resultados del cálculo del cálculo del perímetro mojado	40
tabla 7 Resultados del cálculo del Radio hidráulica.....	42
Tabla 8 Rugosidades para Manning.....	46
Tabla 9 Resultados obtenidos del Cálculo de la rugosidad experimental, “n experimental”	49
Tabla 10 Resultados obtenidos del Cálculo de la rugosidad “n Horton”	51
Tabla 11 Resultados obtenidos del Cálculo de Manning modelo teórico	53
Tabla 12 Tabla resumen Manning modelo teórico	54
Tabla 13 Rugosidades para Chezy.....	55
Tabla 14 Determinación de coeficiente de Chezy en vidrio y el coeficiente de chezy en acero .	56
Tabla 15 Determinación de coeficiente de Chezy de Horton	58
Tabla 16 Determinación del Caudal de Chezy	59
Tabla 17 Tabla resumen Chezy	60
Tabla 18 Determinación del Número de Reynolds con caudal experimental.....	63
Tabla 19 Determinación de números de Froude	64
Tabla 20 Régimen hidráulico -Número de froude	65
Tabla 21 factor de fricción vidrio	67
Tabla 22 factor de fricción acero	69
Tabla 23 factor de fricción Horton.....	71
Tabla 24 Cálculo de caudal de Darcy	73
Tabla 25 Tabla resumen Darcy	74
Tabla 26 Tabla resumen Números de Reynolds y Números de Froude	75
Tabla 27 Comparativa rugosidad “n” vs caudal de Manning del modelo teórico	76
Tabla 28 Calculo de caudal Experimental y el Caudal de Manning	78
Tabla 29 Comparativa rugosidad “c” vs caudal de Chezy para el modelo teórico	80
Tabla 30 Cálculo de caudal Experimental y el Caudal de Chezy	82
Tabla 31 Comparativa rugosidad “f” vs caudal de Darcy para el modelo teórico.....	84
Tabla 32 Cálculo de caudal Experimental y el Caudal de Darcy.....	86
Tabla 33 Tabla resumen comparación de caudal experimental, de Manning, de Chezy y de Darcy	88
Tabla 34 Tabla resumen comparación de caudales vs número de Froude.....	91
Tabla 35 Promedio del cálculo del caudal experimental, caudal de Manning, caudal de Chezy y caudal de Darcy	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prototipo del canal de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte	11
Figura 2. Canal transversal Trapezoidal	12
Figura 3. Canal de sección circular.....	13
Figura 4. Sección rectangular	13
Figura 5. Valores de rugosidad (Haestad)	17
Figura 6. Factores de fricción de Darcy Weischach	18
Figura 7. Comparativa gráfica caudal de Manning vs rugosidad “n”	77
Figura 8. Comparativa gráfica caudal experimental y caudal de Manning.....	79
Figura 9. Comparativa gráfica caudal de Chezy vs rugosidad C Horton	81
Figura 10. Comparativa gráfica caudal experimental y caudal de Chezy	83
Figura 11. Comparativa gráfica caudal Darcy y rugosidad “f” Horton	85
Figura 12. Comparativa gráfica caudal experimental y caudal de Darcy	87
Figura 13. Comparativa gráfica caudales vs tirantes según las pendientes mínimas	89
Figura 14. Comparativa gráfica caudales vs tirantes según las pendientes máximas	89
Figura 15. Comparativa gráfica caudales vs tirantes.....	90
Figura 16. Comparativa gráfica caudales vs número de Froude según régimen supercrítico ..	92
Figura 17. Comparativa gráfica caudales vs número de Froude según régimen subcrítico.....	92
Figura 18. Promedio de los caudales calculados	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Comportamiento del flujo uniforme	21
Ecuación 2 Chezy	21
Ecuación 3 Perímetro mojado.....	36
Ecuación 4 Radio hidráulico.....	36
Ecuación 5 Área hidráulico.....	36
Ecuación 6 Caudal experimental.....	43
Ecuación 7 rugosidad experimental	43
Ecuación 8 Caudal experimental.....	43
Ecuación 9 Fórmula Horton – Rugosidad compuesta-n equivalente	43
Ecuación 10 Determinación n:	43
Ecuación 11 rugosidad de Horton (n)	47
Ecuación 12 Según el número de Froude.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Evidencia fotográfica ensayos en el laboratorio de Hidráulica recopilación de datos caudales	102
Anexo 2 recopilación de datos tirantes	103
Anexo 3 recopilación de datos pendientes	104
Anexo 4 Canal Hidráulico Universidad Laica Vicente Rocafuerte	105
Anexo 5 Canal Hidráulico Universidad Laica Vicente Rocafuerte-estabilización del caudal.	106

INTRODUCCIÓN

La escasez de recursos hídricos requiere suministros de agua que operen correctamente, y uno de los problemas presentes en la Ingeniería Civil es realizar una evaluación analítica equivocada para determinar el comportamiento del flujo de los canales y sistemas de alcantarillado. La falta de precisión en los criterios de evaluación puede generar riesgos de seguridad y problemas de capacidad, lo que puede afectar directamente la seguridad de la infraestructura urbana.

Se pudo comprobar la escasa información precisa y clara sobre el análisis hidráulico que estudie el comportamiento del flujo en canales abiertos y en los sistemas de alcantarillado. A pesar de contar con información teórica en los buscadores especializados en contenido y bibliografía académica tales como: Google Académico, Scielo, Dialnet se constató que el análisis experimental de las ecuaciones Chezy, Manning y Darcy estudiados en un canal hidráulico de laboratorio no han sido ampliamente estudiados en una sola propuesta, en el cual se realice la comparación del caudal experimental y los caudales estudiados tales como: Chezy, Manning y Darcy. Por lo tanto, es fundamental aplicar de forma correcta las ecuaciones hidráulicas y considerar todas las variables relevantes para obtener resultados precisos y confiables.

Para evaluar analíticamente el comportamiento del flujo en canales y sistemas de alcantarillado, se pueden analizar los modelos existentes, evaluar modelos analíticos para sistemas con superficie libre y determinar el impacto técnico y económico de los modelos en los sistemas de alcantarillado.

La evaluación analítica de modelos para determinar el comportamiento del flujo en canales y en los sistemas de alcantarillado permitirá mejorar la eficacia y la capacidad de diseño de los conductos, lo que resultará en una mejora en la operatividad y reducción de problemas hidráulicos.

Un canal rectangular de laboratorio sirve como una herramienta para comprender y estudiar los principios hidráulicos utilizados en el diseño y operatividad de los sistemas de alcantarillado. El conocimiento adquirido en el laboratorio se puede utilizar para la optimización

en el diseño y la operación de los sistemas de alcantarillado, asegurando de esa forma un flujo eficiente y seguro del flujo.

Un canal rectangular de laboratorio se relaciona con un sistema de alcantarillado de la siguiente manera: debido a que, en los sistemas de alcantarillados, en algunas ocasiones se puede producir un flujo a conducto abierto, siendo el estudio aplicado en el canal de laboratorio de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte como apropiado para aplicar los conocimientos adquiridos en canales abiertos.

La forma de la sección transversal tanto en canales abiertos y en sistemas de alcantarillado puede tener secciones transversales de distintas formas: trapezoidal, triangular, circular y por último rectangular. En este proyecto investigativo la aplicación de estudio se da en el Laboratorio Hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, que posee una sección rectangular.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema:

EVALUACION ANALITICA DE MODELOS PARA DETERMINAR EL
COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

1.2 Planteamiento del Problema:

Hoy en día la escasez de los recursos hídricos requiere suministros de agua que operen correctamente. Uno de los problemas presentes en la Ingeniería Civil es realizar una equivocada evaluación analítica para determinar el comportamiento del caudal y el gasto de los canales y sistemas de alcantarillado. Si un criterio no es preciso puede generar riesgos de seguridad, de manera que tomar las decisiones erróneas en la evaluación analítica sobre el comportamiento del flujo en los canales y sistemas de alcantarillado no solo causa problemas de capacidad, sino que puede afectar directamente la seguridad de la infraestructura urbana, incluso pueden derivar a inundaciones o desbordamientos, en la cual se puede ver afectado de forma directa el saneamiento público.

El autor Sinche en el año 2018, logro demostrar que, en Perú, algunas obras hidráulicas han presentado fallas por la falta de experticia; mal uso de las técnicas de diseño al analizar el flujo hidráulico de los canales de alcantarillado, debido a que no han realizado el análisis estudio exhaustivo del comportamiento hidráulico de los flujos en canales abiertos, como es en el caso del canal de San Lorenzo, en el cual la propuesta de los autores encontró 61 fallas de diseño.

En 2018, el autor Cinche demostró con éxito que algunas obras de ingeniería hidráulica situados en Perú presentan fallas de diseño, ocasionado por la falta de experiencia, escasos análisis del comportamiento de los caudales hidráulicos aplicados a los sistemas de alcantarillas; tal es el caso del canal de San Lorenzo, en el cual el autor mencionado logro encontrar un total de 61 errores de diseño.

Otro de los inconvenientes presente en un análisis numérico y analítico deficiente puede generar gastos adicionales no previstos, puesto que al momento en el cual se detecta alguna anomalía que comprometa la infraestructura de los canales y los sistemas de

alcantarillado, se deberá corregir los problemas hidráulicos para mejorar la operatividad del sistema.

La falta de información precisa y clara, tomando en consideración que cada modelo analítico posee sus propias limitaciones; las suposiciones y criterios para la selección del modelo analítico y los coeficientes de rugosidad deben ser tomados en consideración por el profesional.

La escasa información sobre el análisis hidráulico sobre el comportamiento del flujo en canales abiertos y en los sistemas de alcantarillado indica que, a pesar de contar con diversos materiales teóricos, el análisis experimental de las ecuaciones de Chezy, Manning y Darcy aplicados al estudio integral del flujo en sistemas de alcantarillados; estos no han sido ampliamente estudiados en una sola propuesta.

En resumen, realizar una mala evaluación analítica en el comportamiento del flujo de un canal abierto puede generar resultados inexactos, ya sea en el diseño inadecuado del canal, ineficiencia en el transporte de agua y riesgo de inundaciones o desbordamientos. Es fundamental, aplicar de forma correcta las ecuaciones hidráulicas y considerar todas las variables relevantes para obtener resultados precisos y confiables.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo se puede determinar analíticamente el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillados?

1.4 Sistematización del problema

1. ¿Cómo se pueden evaluar analíticamente los sistemas de alcantarillado con superficie libre?
2. ¿Cuál es el impacto técnico y económico de los modelos analíticos en los sistemas de alcantarillados?
3. ¿Cómo se puede garantizar una evaluación analítica precisa del comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillados?

1.5 Objetivo general

Evaluar experimentalmente los modelos analíticos existentes para determinar el comportamiento y la resistencia al flujo en los canales abiertos y en los sistemas de alcantarillado, tomando en consideración los coeficientes de resistencia al flujo.

1.6 Objetivos específicos

1. Determinar los datos hidráulicos mediante observación directa de las experimentaciones en el del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

2. Calcular los caudales utilizando las fórmulas de Chezy, Darcy y Manning, en base a los coeficientes de rugosidad obtenidos a partir de los datos hidráulicos recolectados en el laboratorio, y comparar estos caudales con el caudal experimental.

3. Determinar el impacto técnico y económico del uso de las fórmulas Chezy, Darcy y Manning en el análisis del comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado. Esto incluye analizar las ventajas y desventajas de cada fórmula, el costo de implementar cada fórmula y el impacto potencial en la eficiencia y seguridad de los sistemas hidráulicos.

1.7 Hipótesis

La evaluación analítica de modelos para determinar el comportamiento del flujo en canales y en los sistemas de alcantarillado permitirá mejorar la eficacia y la capacidad de diseño de los conductos, lo que resultará en una mejorar en la operatividad y determinar el impacto técnico y económico de los modelos en los sistemas de alcantarillado.

1.8 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1 Línea de investigación Institucional

Dominio	Línea de Institucional	Línea de la facultad
Ordenamiento del Territorio-Recurso Hídrico Línea de investigación 3.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción, línea de facultad Territorio.	Materiales de construcción

Nota: Línea de investigación Institucional

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Baca, (2019) el autor en su tesis titulada “**estudio de la fuerza específica, energía específica y flujo crítico en canales abiertos**” publicado por la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2019, establece como objetivo general: Analizar el comportamiento de la fuerza específica, energía específica y flujo crítico en canales abiertos, mediante modelos físicos. Como metodología principal sugiere la implementación de evaluaciones analíticas llevadas a cabo en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil, específicamente del curso de Hidráulica de Canales, con la finalidad de analizar y comprender dichos fenómenos al experimentar con ellos de forma real. El autor concluye que el modelo construido para el estudio de la energía específica y fuerza específica se comportaron de acuerdo a los fundamentos teóricos establecidos de acuerdo a su forma geométrica y permitió el análisis de los fenómenos estudiados en esta investigación.

Palomino, (2021), en su tesis titulada “**Comportamiento hidráulico de flujos en canales de riego por cambios de rugosidad en zonas Altoandinas, Canal de Huajaqui, Anta, Cusco 2021**”, estableció como objetivo general determinar el comportamiento hidráulico de los flujos en los canales de riego por cambio de rugosidad del canal Huajaqui, Anta, Cusco. Como metodología; se aplicó una metodología que consiste en determinar los cambios de rugosidad; obtener los valores reales equivalentes por presencia de vegetación, sedimento y desgaste de materia del canal; del tipo aplicada del nivel: explicativo y diseño no experimental.

Calero & Calero, (2018), los autores propusieron el artículo científico “**Modelación del factor hidráulico de sección para diseñar canales regulares**” publicado en la revista científica Yachana, aprobado en el año 2018, en el cual los autores mencionados establecen que el objetivo general del estudio fue desarrollar un modelo analítico que pudiera proporcionar una solución operativa y simplificada para estimar coeficientes hidráulicos de secciones de canales para estructurar canales conforme a propiedades geométricas adimensionales. El estudio se realizó

en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de la ciudad de Guayaquil. La metodología utilizada consistió en crear aproximadamente 400 registros analíticos y numéricos basados en ecuaciones analíticas como la ecuación de Manning para determinar los coeficientes hidráulicos de cada tramo y establecer la construcción regular del canal. En resumen, esta investigación proporciona modelos explícitos, operativos y confiables para estimar el factor hidráulico de sección y diseñar canales regulares.

2.1. Marco Teórico.

2.1.1. Alcantarillados

Según Rodríguez en el 2021, manifiesta que el alcantarillado representa ser una sucesión de obras hidráulicas destinados a la recolección de aguas residuales o pluviales con la finalidad de que estas sean conducidas para su disposición final. El sistema de alcantarillado público está diseñado para trasladar de forma efectiva las aguas de tipo residual, industrial y pluvial, y así, evitar afectaciones locales.

Los acueductos instalados bajo tierra se denominan alcantarillas y están destinados a conducir de forma transversal las aguas residuales, aguas de servicio y aguas pluviales. Forman una parte fundamental del saneamiento urbano básico con el objetivo de proporcionar intervenciones sostenibles para grupos específicos de ciudadanos, manteniendo de manera efectiva los factores sociales, ambientales y técnicos.

2.1.2. Modelación de sistemas de alcantarillado

Según los autores Rivadeneira & Vásquez en el 2023, sostienen que “La modelación de sistemas de alcantarillado es una herramienta fundamental para medir la capacidad hidráulica de una red, así como para hallar características fundamentales de su funcionamiento y diseño.”

El modelado hidráulico es una herramienta de gran apoyo que permite el análisis en tiempo real del comportamiento hidrodinámico de los sistemas de alcantarillado existentes para guiar su diseño y construcción. Se modela una red de alcantarillado para analizar su capacidad hidráulica basándonos en un estudio de las condiciones mecánicas y estáticas dentro del sistema. Este estudio nos permitirá conocer los límites de capacidad que la red puede brindar y si la red cubrirá las necesidades existentes de la población.

2.1.3. Alcantarillado pluvial

Un sistema de alcantarillado pluvial consiste en una red de tuberías distribuidas en estructuras de captación y estructuras complementarias y, sobre todo, estructuras auxiliares. Su función principal es controlar adecuadamente el drenaje de aguas pluviales para prevenir la acumulación de agua estancada y drenar de manera efectiva dichas aguas para evitar inundaciones y posibles daños sociales, ambientales y económicos.

2.1.4. Definición de conducción

El autor Cadavid en el 2020, manifiesta que el concepto de conducción se refiere al volumen de control limitado que transporta el flujo entre dos puntos. En ingeniería hidráulica, esto significa una estructura que guía el líquido desde un punto de partida hasta el sitio designado, es decir, su destino.

2.1.4.1. Tipos de conducción

2.1.4.1.1. Conducción abierta

El autor Cadavid en el 2020, afirma que una conducción abierta ocurre cuando no hay ningún elemento sobre la superficie del agua, que separe al fluido de la atmósfera. Los líquidos presenten en un circuito abierto están sujetos a diversas influencias externas que no podrán ser controladas por el ser humano. La conducción abierta a diferencia de la conducción cerrada, que trabajan bajo presión, las conducciones cerradas siempre trabajan de forma parcial en flujo libre total.

2.1.4.1.2. Conducción cerrada

El autor Cadavid en el 2020, sostiene que, en conducciones cerradas, el líquido no se encuentra expuesto a diversas influencias externas, es decir, no es afectado por la intemperie. Las conducciones cerradas se lo pueden encontrar en diversas obras de servicio civil tales como: túneles, tuberías y alcantarillas tipo cajón.

2.1.5. Definición de canales

Cadavid en el 2020, considera que, en el área de la Ingeniería Civil, un canal es considerado como una construcción que se encuentra destinada a transportar fluidos; los canales son cualquier conducto, ya sea abierto o cerrado, en el que se pueda demostrar y analizar el comportamiento del flujo sobre una superficie libre. Los canales se diferencian de las tuberías ya que estas se encuentran libres de la atmósfera.

2.1.5.1. Tipos de canales de acuerdo a su origen de clasificación

2.1.5.1.1. Canal natural

Pelaez en el 2019, considera que los canales naturales se han formado a lo largo del tiempo por creación de la naturaleza, conducen el agua hacia un punto bajo que desembocan en ríos. Las corrientes de origen subterráneo también son consideradas canales, debido a que transportan agua manteniendo una superficie libre denominado canal abierto natural. Las secciones transversales en los canales naturales exhiben principalmente formas irregulares que cambian durante el recorrido de los fluidos.

2.1.5.1.2. Canal Artificial

Pelaez en el 2019, manifiesta que los canales artificiales son obras de origen civil, construidos para brindar servicios de riego, navegación e hidroelectricidad; con la finalidad de transportar agua hacia un punto determinado.

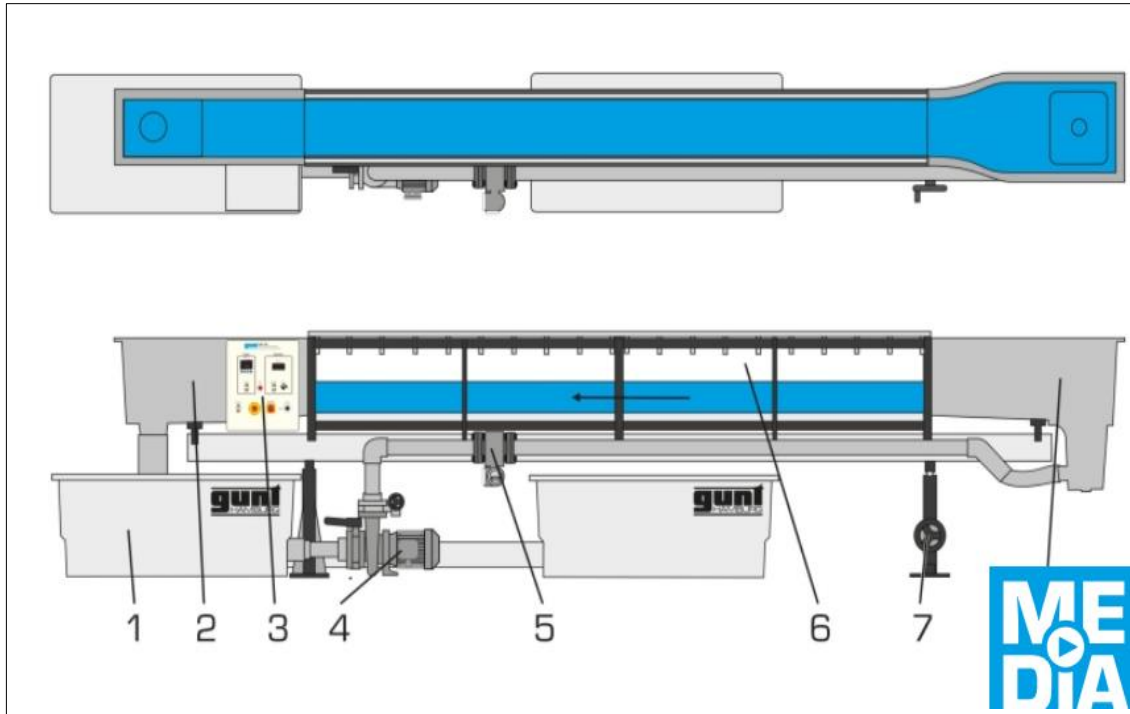
2.1.5.1.2.1. Canal de laboratorio- canal de ensayo HM 162

Gunt- Hamburg en el 2023, menciona en su sitio oficial, la función principal de la empresa alemana Gunt-Hamburg es el de propiciar equipos para la práctica académica y la experimentación de la Ingeniería; sus productos no solo abarcan variedad de áreas diseñadas para necesidades puntuales con respecto a los canales de laboratorios.

El canal hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte permite realizar estudios avanzados para la investigación y el desarrollo en ámbitos académicos, puntualmente en la rama

de la Ingeniería Civil, Industria y Construcción. Dicho canal permite realizar simulaciones del flujo a través de un canal, además de poder medir la velocidad del flujo. El canal de ensayo de la serie HM-162 perteneciente a la Marca Gunt-Hamburg.

Figura 1. Prototipo del canal de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte



Fuente: Gunt Hamburg canal, 2023

2.1.6. Definición de sección transversales de canales

El autor Estrada en el 2021, define al termino de sección de canales de alcantarillado a lo referente de un canal transversal que corre perpendicular a la dirección del flujo. Es de tomar en consideración que este término es aplicado a solo a los canales artificiales, los cuales fueron elaborado por el hombre.

2.1.6.1. Tipos de sección transversal aplicado a canales

El autor Cadavir en el 2020, hace mención que la selección de la sección transversal depende de la funcionalidad que se le deba dar al canal por construir; las secciones transversales trapezoidal, comúnmente se los encuentra en canales revestidos; la sección transversal rectangular, elaboradas con concreto y mampostería. La sección triangular en cunetas de las

carreteras. La sección circular es utilizada para obras de servicio tales como: alcantarillas y secciones trapezoidales. El concepto de sección trapezoidal se clasifica en cinco secciones trapezoidales los cuales tenemos los siguientes:

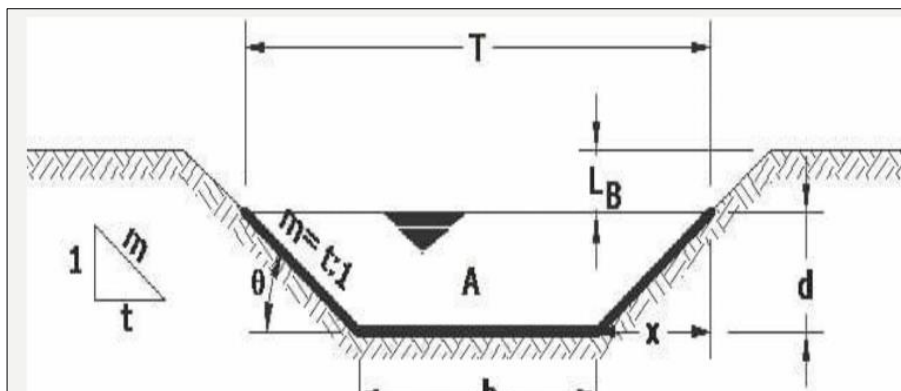
1. Sección trapezoidal.
2. Sección rectangular
3. Sección circular.
4. Sección triangular

2.1.6.1.1. Sección trapezoidal

Navarro en el 2022, detalla que los canales trapezoidales son muy recomendados para pendientes pronunciadas, con la finalidad de reducir la velocidad de salida. Los taludes deben estar considerados en proporciones de 4:1; las secciones de tipo trapezoidales son comúnmente diseñadas en conductos sin revestimiento, ya que proporciona mayor estabilidad.

Una sección transversal de un canal trapezoidal representa ser una sección que posee la forma de un trapecioide con una base ancha y paredes estrechas, además de tener laterales inclinados. Las secciones transversales de forma trapezoidal son muy utilizadas en canales hidráulicos, una de las funciones principales para su diseño es mantener el área mojada de forma constante.

Figura 2. Canal transversal Trapezoidal

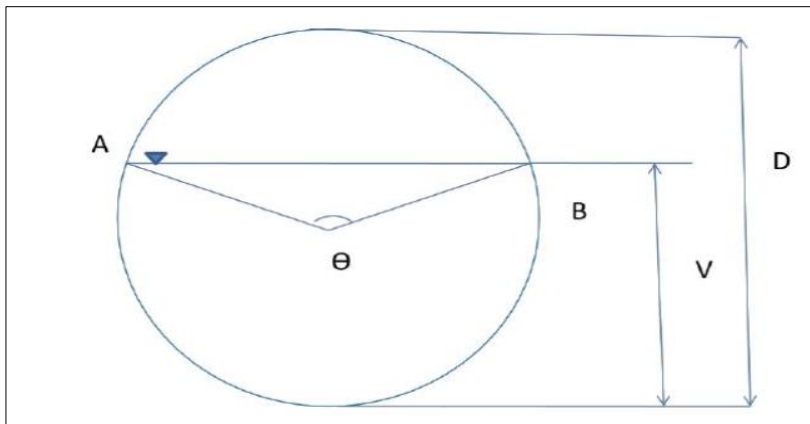


Fuente: Navarro, 2022

2.1.6.1.2. Sección circular

Una sección transversal de forma circular de canal es una forma común de sección transversal para canales hidráulicos, que se utiliza para medir la cantidad de agua que fluye a través de ellos y se puede utilizar en canales revestidos de ladrillos o de hormigón.

Figura 3. Canal de sección circular

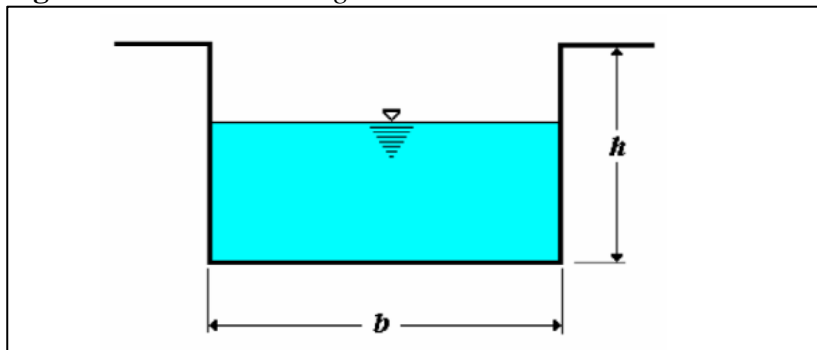


Fuente: Tinoco, (2019)

2.1.6.1.3. Sección rectangular

Cadavir en el 2020, establece que en una sección transversal rectangular se considera la altura y el ancho de base, es una de las secciones de menor complejidad. La sección rectangular al poseer lados verticales, estos canales son elaborados y revestidos con diversos materiales de gran estabilidad, tales como madera, vidrio, tabique, entre otros.

Figura 4. Sección rectangular



Fuente: Cadavir, (2020)

2.1.7. Tipos de flujos

2.1.7.1. Flujo a presión

Avellanada en el 2020, Se establece cuando el líquido y el contorno sólido se encuentran en contacto a lo largo de todo el perímetro transversal de la conducción y no hay presencia de gas en esa interfase. El flujo ejerce una presión manométrica no nula sobre la totalidad de la pared sólida que encierra el área. El flujo en tuberías cerradas no está destinado a la presión atmosférica sino a la presión manométrica.

2.1.7.2. Flujo a superficie libre

Avellanada en el 2020, afirma que una superficie libre se caracteriza por la presencia de presión atmosférica actuando sobre la superficie del líquido, siendo los canales las superficies por donde circula el agua por su propio peso y están expuestas a la presión atmosférica. Los flujos se pueden definir como permanente o no permanente. Para que exista un estado persistente, debe ocurrir un flujo o flujo másico mientras se mantiene el movimiento. Es decir, el flujo debe ser constante durante un período de tiempo. Contraste con el flujo no permanente, donde el flujo cambia con el tiempo y también en cada punto del canal.

2.1.8. Comportamiento del flujo en canales

Estalin & Henry en el 2023, comentan que el comportamiento que reflejan los flujos en canales abiertos está influenciado por la viscosidad y la gravedad basado en las fuerzas de inercia del flujo:

1. **Por viscosidad:** el flujo se puede clasificar en laminar, transicional y turbulento según la viscosidad en base a las fuerzas de inercia.
2. **Flujo Por gravedad:** El flujo en canales por gravedad es el movimiento del agua en un canal abierto debido a la acción de la gravedad. La gravedad impulsa el flujo hacia

abajo a lo largo del canal, y la velocidad y la profundidad del flujo pueden variar a lo largo del canal dependiendo de las condiciones del mismo.

2.1.9. Rugosidad experimental y rugosidad teórica

La rugosidad experimental y la rugosidad teórica son conceptos que se relacionan con la superficie que presenta un material en un canal o en un conducto abierto.

Rugosidad experimental: dicha rugosidad hace referencia a la aspereza o irregularidad que puede presentar la superficie de un canal, el cual se obtiene mediante técnicas de medición directa y análisis de las características que posee la superficie.

La rugosidad teórica: Representa ser la estimación o el valor que se calcula de la irregularidad o aspereza de la superficie del canal seleccionado, basándose el cálculo en modelos analíticos matemáticos, para obtener o predecir el comportamiento del flujo en canales abiertos, además de estimar el factor de fricción.

Tanto en la rugosidad experimental como en la rugosidad teórica se deben estudiar con la finalidad de analizar y predecir el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado; en el experimental se obtiene mediante la medición directa y en la teórica mediante modelos matemáticos.

2.1.10. Ecuaciones gobernantes

Basile en el 2019, refiere que los modelos hidrodinámicos son conceptualizaciones matemáticas que modela el comportamiento hidráulico del flujo en un sistema de conducción. Es comúnmente utilizada para representar la simulación del flujo o de las sustancias que se transporten en esta. Dichos modelos se basan en ecuaciones de cantidad de movimiento y continuidad, ambas ecuaciones pertenecientes a Saint Venant proporcionan un análisis unidimensional del flujo hidráulico.

Basile en el 2019, sostiene que la ecuación de Saint Venant permite analizar y estudiar el intercambio del agua que se da mediante estructuras hidráulicas que ejercen control en los niveles del fluido. Dicha ecuación permite estudiar el avance del fluido en x tiempo. Para las ecuaciones de Chezy y Manning, la ecuación de Saint Venant es considerado válido para el estudio de la resistencia del flujo en canales abiertos.

2.1.10.1. Ecuaciones de cantidad de movimiento

Basile en el 2019, establece que la ecuación de cantidad de movimiento es una ecuación fundamental en el análisis del comportamiento del flujo, debido a que esta simula como es el movimiento del flujo determinado por las fuerzas que actúan sobre estas.

Basile en el 2019, manifiesta que la ecuación de Chezy, ampliamente conocida para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos con superficies libres. Al considerarse el coeficiente de Chezy como una constante, esta depende de diversos factores o condiciones tales como: características geométricas del canal, la rugosidad o el revestimiento del canal. La ecuación mencionada puede ser utilizado en conjunto con la ecuación de cantidad de movimiento para calcular de forma eficiente el caudal en canales abiertos.

2.1.11. Ecuaciones empíricas

2.1.11.1. Ecuación de Chezy

Rivas, s.f, detalla que la fórmula de Chezy determina la velocidad del canal. Esta es la base principal para en la cual se derivan diversas fórmulas. Además, sirve como parámetro para definir la ecuación de fricción que determina la velocidad del canal.

Para el segundo enfoque definimos que el equilibrio dinámico, hace referencia a que no hay una fuerza resultante y a pesar de que el fluido se desplaza dentro de un volumen de control, esta no varía. Para el tercer enfoque manifiesta que el esfuerzo de fricción es proporcional al cuadrado de la velocidad.

2.1.11.2. Ecuación de Manning

González, Santiago, & Muñoz, en el año 2019, los autores proponen que el coeficiente de Manning se considera que a escasa profundidad la altura de la unión del revestimiento se aproxima a la profundidad del flujo. Para esto, el coeficiente “n” nos permite controlar las uniformidades que presente el canal o el ducto en diversas secciones, principalmente en sección

poco regulares, tal y como se da en los canales naturales donde no existe una geometría definida. La ecuación de Manning depende del radio hidráulico y de la pendiente.

González, Santiago, & Muñoz en el año 2019, mencionan que la fórmula de Manning se caracteriza por 3 factores:

- Coeficiente de rugosidad: la fórmula de Manning utiliza los coeficientes de rugosidad, el cual se lo denomina con la letra (n), esta representa la resistencia que posee el flujo a causa de la superficie de los canales.
- Velocidad de flujo: Esta es utilizada para el cálculo de la velocidad media del agua en canales abiertos.

Figura 5. Valores de rugosidad (Haestad)

Material	Coeficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams C _H	Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	--	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

Fuente: Cosmecear, (2012)

2.1.11.3. Formulación de Darcy Weisbach

Física, (2020), Una vez definido los números de Reynolds, el cual es un criterio que se establece para realizar una semejanza hidrodinámica de los fluidos viscosos, realizando un símil entre las fuerzas inercias y las fuerzas de fricción viscoso. De acuerdo a lo ya establecido en los párrafos anteriores, se deduce que el número de Reynolds depende de varios factores tales como: velocidad del fluido, diámetro de conducción y la viscosidad dinámica.

Física, (2020), Si el número de Reynolds es menor a 2300 se considera flujo laminar, considerando que las fuerzas viscosas son más que las fuerzas de inercia; mientras que para considerar un flujo transicional debe establecerse el número de Reynolds entre 2300 hasta 4000 se considera flujo transicional, en el cual el flujo no es laminar, pero tampoco es un flujo turbulento. Por último, se establece que un flujo es turbulento cuando el número de Reynolds se establece desde los 4000.

2.1.11.3.1. Radio hidráulico

Física, (2020), El Radio hidráulico se define en función del área de la sección transversal de la tubería y del perímetro húmedo; el cual depende la forma de la tubería las cuales pueden ser: ducto circular, ducto cuadrado y ducto rectangular.

2.1.11.3.2. Factor de fricción en Darcy Weisbach

Física, (2020), Una vez definido el tipo de flujo, el cual para cada tipo de flujo obtenido existe un factor de fricción, demostrando que tanto es la fricción de la tubería con el flujo que está circulando en este. Cabe aclarar que en el factor de fricción los coeficientes de rugosidad han sido determinados de forma experimental y se poseen diversas tablas en libros de mecánica de fluidos.

Figura 6. Factores de fricción de Darcy Weisbach

Régimen	Fórmula	Autor	Ecuación
<i>Pared lisa</i>	$\frac{1}{f} = 2\log\left(\text{Re}\sqrt{f}\right) - 0,8$	Prandtl	(1)
<i>Pared rugosa</i>	$\frac{1}{f} = 2\log\left(\frac{4R}{2k}\right) + 1,74$	Nikuradse	(3)

Fuente: Gallardo, (2018)

2.1.11.3.3. Definición de Darcy Weisbach

Física, (2020), La ecuación de Darcy determina la pérdida de presión y carga ocasionado por la fricción. Se define a la pérdida de presión por el coeficiente factor de fricción, la longitud

de la tubería entre el diámetro hidráulico, la densidad, la velocidad entre dos. Para determinar la pérdida de carga debido a la fricción estará expresada por la pérdida de presión entre la gravedad y la densidad. En resumidas cuentas, la fórmula de Darcy la define el número de Reynolds, el factor de fricción y el diámetro hidráulico.

2.1.12. Flujo en canales abiertos

Ruiz, en el año 2008, el autor mencionado sostiene que el flujo con superficie libre es el caso de flujo más común dentro de nuestro entorno. En la naturaleza se observa en las corrientes de los ríos o cuando empiezan las épocas lluviosas, en el agua que se escurre en la superficie. Sin embargo, estos hechos naturales han sido estudiados por el hombre para poder aprovechar y mejorar sus características, este es el caso de los canales abiertos, usados ampliamente para alcantarillas, sistemas de riego, tuberías que funcionan a gravedad, entre otros. Más casos que se observan en la naturaleza son escurrimientos sobre materiales impermeables, tales como lechos y movimientos de las olas en puertos.

En todas estas situaciones, el flujo se caracteriza por una interfaz entre el aire y la capa superior del agua, esta se conoce como “superficie libre”. En algunos casos, la superficie libre se encuentra bajo los efectos de la presión atmosférica, la cual genera una presión constante a lo largo de toda la superficie libre.

Pérez Carmona, (2013), la autora nos muestra las diferentes formas de clasificar el tipo de flujo en un canal abierto:

- De acuerdo al espacio gravitacional del canal pueden ser flujos de movimiento uniforme, flujos de movimiento variable, flujo lentamente variable y flujo rápidamente variable.
- De acuerdo con el número de Froude, el flujo puede ser subcrítico, crítico y supercrítico.

Te Chow, (1994), Los tipos de flujo existentes son dependientes del tiempo y el espacio, si la profundidad del canal puede considerarse constante durante un espacio de tiempo considerable, el flujo es permanente; de lo contrario es flujo no permanente. Si la variable a

tomar en cuenta es el espacio, es decir, si la profundidad del canal se mantiene constante en una sección, el flujo es uniforme, de lo contrario, el flujo será variado.

Jiménez García, (2005), Aunque los casos de flujo uniforme y permanente no son siempre los más comunes en la realidad, indica que el método de diseño de canales basado en la premisa de flujo permanente uniforme presenta los principios básicos para el diseño adecuado de canales.

Ruiz, (2008), El flujo con superficie libre es el caso de flujo más común dentro de nuestro entorno. En la naturaleza se observa en las corrientes de los ríos o cuando empiezan las épocas lluviosas, en el agua que se escurre en la superficie. Sin embargo, estos hechos naturales han sido estudiados por el hombre para poder aprovechar y mejorar sus características, este es el caso de los canales abiertos, usados ampliamente para alcantarillas, sistemas de riego, tuberías que funcionan a gravedad, entre otros. Más casos que se observan en la naturaleza son escurrimientos sobre materiales impermeables, tales como lechos y movimientos de las olas en puertos.

2.1.13. Diseño de canales con flujo uniforme

Cuando el agua fluye en los canales, esta encuentra resistencia en su recorrido, debido a efectos como la fricción con la superficie en contacto, entre otros. Esta resistencia es contrarrestada por la fuerza de gravedad. De acuerdo con Gallardo Armijos, (2018), a lo largo de un canal, en el momento en que el agua empieza su recorrido, la fuerza de gravedad supera la resistencia presentada, este sector del canal se conoce como zona transitoria, y allí el flujo será variado.

A medida que el flujo incrementa la velocidad y por ende la resistencia aumentan de forma gradual, por lo que el flujo se vuelve uniforme. Si la longitud del canal es menor que la longitud de la zona de transición, no se llega a las condiciones de flujo uniforme, y de acuerdo con los principios hidrodinámicos, todo canal debería tener una longitud mayor a la longitud de la zona de transición.

La

Ecuación 1 muestra cómo puede expresarse el comportamiento del flujo uniforme:

$$V = CR^xS^y$$

Ecuación 1 Comportamiento del flujo uniforme

Donde:

V=velocidad media en m/s

R=radio hidráulico en metros

S=pendiente de energía, en flujo uniforme es igual a la pendiente del tramo

x & y= exponentes

C= coeficiente de rugosidad

Para que una ecuación de flujo uniforme esté correctamente planteada, esta debe correlacionar la velocidad media del flujo, la rugosidad de la superficie de contacto, la profundidad del área mojada, perímetro mojado, radio hidráulico, la temperatura y viscosidad del fluido, la carga de sedimentos del fluido. Muchos estudios se han realizado para poder crear ecuaciones que consideren todas estas variables antes mencionadas.

En 1769, Antoine Chézy formuló una ecuación ampliamente usada en la actualidad, y que es posiblemente la primera ecuación para flujo uniforme:

$$V = C\sqrt{RS}$$

Ecuación 2 Chezy

Donde:

V=Velocidad, en m/s

C=Coeficiente de rugosidad de Chézy, en m^{1/2}/s

R=Radio hidráulico en m

S=Pendiente de fricción, adimensional

2.1.14. Rugosidad compuesta

La rugosidad compuesta, trata cuando un canal posee diferencia materiales o texturas en la superficie del canal afectándola fricción del flujo. Los canales pueden construirse de tal forma que en el fondo del canal tenga una rugosidad y las paredes posean otro tipo de material. La rugosidad compuesta es resultante de la combinación de diversos tipos de materiales (rugosidades). Puede existir dos tipos de rugosidades: la propia del canal por la irregularidad de la superficie y la rugosidad por vegetación. La rugosidad compuesta se ocasiona cuando en el canal existe diferentes materiales en la superficie del canal.

2.1.14.1. Diferencia entre rugosidad compuesta y rugosidad simple

La rugosidad simple se refiere a una superficie o material uniforme en el canal, sin embargo, en la rugosidad compuesta implica la presencia de diversos materiales o rugosidades en la superficie del canal, el cual puede variar significativamente en los coeficientes de rugosidad y en la fricción del flujo.

2.1.14.2. Relación de llenado de rugosidad compuesta

La relación del llenado es la relación existente entre la altura del canal y la profundidad del flujo, dicha relación permite estimar el coeficiente de rugosidad compuesta en canales de sistemas de alcantarillado.

Con respecto a la relación de llenado se tomar a consideración que es un parámetro de gran importancia en la estimación del coeficiente de rugosidad, muy utilizado en las ecuaciones de Chezy o de Manning, en el cual en dichas formulaciones relacionan directamente el llenado de fricción del flujo a estudiar.

2.2. Marco Legal

Los fundamentos legales requeridos para la elaboración de este proyecto son los siguientes:

2.2.1. Normativa nacional

De la Constitución de la República del Ecuador, emitida en el año 2008, título II, capítulo primero, principios de aplicación de los derechos:

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

De la Constitución de la República del Ecuador, emitida en el año 2008, Capítulo quinto Sectores estratégicos, servicios y empresas:

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

2.2.2. Plan Nacional De Desarrollo 2017-2021 – toda una vida

se incentiva que los universitarios o futuros profesionales, tengan acceso libre a la educación, formación, capacitación y el desarrollo transferible de la tecnología, innovación y emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, e impulsar el cambio mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades

2.2.3. Normativa

En Ecuador, la evaluación analítica de modelos para determinar el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado está regulada por varias leyes y normativas. A continuación, se mencionan algunas de las más relevantes:

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, emitida en el año 2014, establece que la gestión del agua como recurso Hídrico en Ecuador, garantiza el

derecho a cada ciudadano el acceso al agua, así como también que la ley otorga a los municipios descentralizados el acceso a los servicios de alcantarillado, saneamiento y el óptimo servicio del agua potable. Además de garantizar el estudio técnico e científico de dicho recurso.

La ley menciona su reconocimiento al agua como un bien público, en el cual dicha gestión puede ser realizada de forma participativa, técnica y descentralizada. Dicho recurso hídrico deberá ser gestionada de forma sostenible y equitativa

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108, emitida en el 2011 establece en su normativa los requisitos técnicos para la implementación del diseño y ejecución de construcción de sistemas de alcantarillados en áreas urbanizadas. Dicha norma garantiza la seguridad y calidad que debe contar el sistema de alcantarillado de Ecuador, en dicha normativa adicional consta: cálculo de los caudales de diseño y capacidad que debe poseer el alcantarillado, datos fundamentales para el estudio de los modelos analíticos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

La metodología aplicada en este proyecto investigativo es de enfoque cuantitativo - comparativa. Se entiende como metodología cuantitativa a la recopilación y el análisis de datos numéricos con la finalidad de comprender y explicar fenómenos.

En este proyecto investigativo mediante la utilización de técnicas cuantitativas se realizaron las siguientes actividades: el comportamiento del flujo en canales abiertos; se medirán los parámetros tales como velocidad de flujo, profundidad y rugosidad de las paredes de canal. En resumidas cuentas, se utilizaron técnicas medibles cuantitativamente para determinar: la velocidad y la modelación analítica para entender y evaluar el comportamiento del flujo en canales abiertos.

Fase 1: Consistió en la recolección de información y datos, que permitan determinar las variables correspondientes al diseño hidráulico del canal de la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.

1. Para la toma de datos se procedió a operar los dispositivos del canal hidráulico, se procede a revisar la pendiente, realizar la respectiva estabilización del flujo en el canal.
2. Se asigna el caudal deseado y esperar a que el canal se estabilice.
3. Una vez estabilizado el canal, para tomar las medidas de los tirantes tomados mediante el uso de un limnómetro, en el cual se procede a calibrar desde el fondo del canal hasta llegar al espejo de agua o tirante y se obtendrá el valor en milímetros.
4. Se debe esperar un estimado de tiempo de cinco minutos para la estabilización del canal, una vez tomado el valor del caudal y se procede a utilizar el limnómetro calibrando desde

el fondo del canal hasta llegar al espejo de agua o tirante, obteniendo el valor el milímetro. Se procede a la obtención del caudal en base a la pendiente asignada.

5. Se procede a repetir el proceso ya detallado, a un total de toma de muestras de 40 datos.
6. De las 40 muestras recopiladas, se procedió a eliminar un 10% para cuadrar los datos necesarios y requeridos para la investigación.

Fase 2: En esta fase tiene la finalidad de establecer los cálculos analíticos, procesamiento y tabulación de los resultados obtenidos en base a la información recolectada en la fase 1 para posteriormente determinar los caudales basados en las fórmulas de Manning, Chezy y Darcy.

Como primer paso se procedió a la recopilación de los datos que se detallan a continuación:

1. Caudal expresado en m³/hora
2. Tirante expresado en mm
3. Pendiente.
4. Base o solera expresado en cm

3.2. Alcance de la investigación

Arias, Covinos & Cáceres, dichos autores en el año 2020, establecieron que el alcance correlacional, o (también llamado nivel correlacional) tiene como objetivo la aplicación de técnicas estadísticas con la finalidad de evaluar la relación existente entre dos variables. Al medir una variable, también puede ver cómo se comportan otras variables.

Arias, Covinos & Cáceres, dichos autores en el año 2020, manifiestan que, en el alcance correlacional, se enfoca en medir el grado de relación existente entre dos o más variables sin la necesidad de manipularlas, es decir, evita el control experimental; sin embargo, a pesar de no establecer relaciones causantes entre estas, pero el investigador puede aplicar la investigación correlacional para identificar las causas y los efectos.

En síntesis, se analizó el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado con la finalidad de comprender y analizar como las diferentes variables afectan el comportamiento del flujo y cuál es el modelo político apropiado para mejorar el diseño y la operación de canales abiertos.

3.3. Técnica e instrumentos para obtener datos

3.3.1. Técnica para obtener datos

Gutiérrez en el año 2021, la autora establece que cuando se aplica una técnica tal como lo es la observación en campo realiza una medición directa, en el cual la obtención de datos informativos deberá ser detallado en un formato de registro para los apuntes respectivos, el cual la información recolectada deberá ser de origen valida y confiable

La técnica para la recolección de información será basada en la observación de campo y la validación de datos (medición), en el cual se detallará el comportamiento del flujo hidráulico en el canal de sección rectangular perteneciente al laboratorio de Hidráulica de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Por motivo a que la información recopilada será de observación directa deberá analizarse las características hidráulicas del canal, el cual es un ducto cajón.

Tabla 2 Técnica e instrumentos

Técnica	Instrumentos
Ensayos de laboratorio	Experimento
Conducción a flujo libre	Canal hidráulico
Software	Excel
Observación directa	Medidor de tirante Medidor de pendiente Sistemas de monitoreo Medidor de caudal

Nota: Técnica e instrumentos

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

3.3.2. Instrumentos para obtener datos

Gutiérrez en el año 2021, la autora define que el instrumento, se considera como el recurso que sirve para registrar la información necesaria para analizar las variables de interés para el investigador y determinar resultados de lo ya estudiado.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En el presente proyecto investigativo le corresponde como población el canal hidráulico del área de laboratorio de Hidráulica perteneciente a la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

3.4.2. Muestra

Según (Roberto Hernández, Carlos Fernández y Pilar Baptista, 2014) menciona que la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolecta datos y que deberá de definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población.

El total de muestras será la cantidad de mediciones realizados en el canal hidráulico de la Facultad de Ingeniería, pertenecientes a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte en el cual se realizaron un total de 120 muestras, de las cuales se eliminaron alrededor del 10% para validar mediante la metodología científica la

3.4.3. Tipos de muestras

Pacco & Rosas en el año 2022, determina que el muestro no probabilístico se enfoca naturaleza intencional basándose en la experticia y criterio del autor. Para esta propuesta se tomó a consideración un muestro no probabilístico, dicha selección no se delimita estadísticamente, basándose en la experticia y criterio del autor.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1. Presentación y análisis de resultados

El área de estudio de esta investigación se realizó en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Roca fuerte, se recopilaron un total de 40 muestras, de las cuales se procedió a eliminar un 10% para cuadrar los datos necesarios y requeridos para la investigación, siendo un total de 36 muestras que contiene la información de los parámetros hidráulicos y geométricos del canal de ensayo HM-162 de Marca Gunt-Hamburg.

El canal hidráulico de la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción nos permite la realización de prácticas como: determinación de caudales, análisis de flujo, medición de las características de los fluidos. Mediante la utilización de una hoja de cálculo en Excel es posible calcular y procesar los datos obtenidos. La validación de los modelos teóricos de Chezy, Manning y Darcy en comparación con el caudal experimental, permite evaluar con precisión los modelos y realizar ajustes oportunos en las ecuaciones utilizadas

Un canal didáctico para realizar las pruebas como lo es el canal hidráulico de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Roca fuerte, en el cual bajo la dirección del Ing. Calero fue posible realizar el estudio en el canal para fines investigativos generando conocimientos de importancia sobre los canales abiertos y los sistemas de alcantarillados.

Por consiguiente: se planteó la siguiente metodología en base al primer objetivo específico:

Determinar los datos hidráulicos mediante observación directa de las características del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Roca fuerte.

Fase 1: Consistió en la recolección de información y datos, que permitan determinar las variables correspondientes al diseño hidráulico del canal de la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.

1. Para la toma de datos se procedió a prender los dispositivos del canal hidráulico, se procede a revisar la pendiente, realizar la respectiva estabilización del canal.
2. Se asigna el caudal deseado y esperar a que el canal se estabilice.
3. Una vez estabilizado el canal, para tomar las medidas de los tirantes tomados mediante el uso de un limnómetro, en el cual se procede a calibrar desde el fondo del canal hasta llegar al espejo de agua o tirante y se obtendrá el valor en milímetros.
4. Se debe esperar un estimado de tiempo de cinco minutos para la estabilización del canal, una vez tomado el valor del caudal y se procede a utilizar el limnómetro calibrando desde el fondo del canal hasta llegar al espejo de agua o tirante, obteniendo el valor el milímetro. Se procede a la obtención del caudal en base a la pendiente asignada.
5. Se procede a repetir el proceso ya detallado, a un total de toma de muestras de 40 datos.
6. Como línea base de los 40 datos recopilados, se procedió a eliminar un total de 10% para cuadrar los datos necesarios y requeridos para la investigación, siendo 36 datos seleccionados.

Fase 2: En esta fase tiene la finalidad de establecer los cálculos analíticos, procesamiento y tabulación de los resultados obtenidos en base a la información recolectada en la fase 1 para posteriormente determinar los caudales basados en las fórmulas de Manning, Chezy y Darcy.

Como primer paso se procedió a la recopilación de los datos que se detallan a continuación:

2. Caudal expresado en m³/hora
5. Tirante expresado en mm
6. Pendiente.
7. Base o solera expresado en cm

Como segundo paso se procedió a la conversión de los siguientes datos:

1. Conversión del caudal a m³/segundos
2. Conversión de tirante a metros
3. Pendiente.
4. Conversión de la base o solera a m

Como cuarto paso se procedió al cálculo de los siguientes caudales:

1. Cálculo del caudal en base a Manning.
2. Cálculo del caudal en base a Chezy.
3. Cálculo del caudal en base a Darcy.

Como quinto paso se procedió a realizar la siguiente comparativa de caudales:

1. Comparativa de caudal experimental y el caudal de Manning.
2. Comparativa de caudal experimental y el caudal de Chezy.
3. Comparativa de caudal experimental y el caudal de Darcy.

4.2. Recopilación de información

Este proyecto investigativo se realiza tomando en consideración los factores que determinan una investigación experimental. La investigación experimental busca la manipulación de una o más variables experimentales que no han sido comprobadas, con la finalidad de que el investigador tome el control en el aumento o disminución de alguna variable. En este caso en particular, se manipula la variable experimental con el objetivo de observar el comportamiento del flujo en una situación controlada, considerando las fórmulas de Manning, Chezy y Darcy.

Tabla 3 Recolección de datos

Código	Q (m3/h)	y (mm)	So	b (cm)
1	45.4	93	0.1	30
2	49.8	97	0.1	30
3	53	100	0.1	30
4	56.5	103	0.1	30
5	56.5	100	0.2	30
6	58.7	102	0.2	30
7	63.5	105	0.2	30
8	19.9	58	0.2	30
9	24.5	64	0.2	30
10	29.7	70	0.2	30
11	35.7	79	0.2	30
12	48.5	92	0.2	30
13	17.7	50	0.3	30
14	22.1	57	0.3	30
15	26.1	61	0.3	30
16	30.1	69	0.3	30
17	35.5	75	0.3	30
18	40.3	79	0.3	30
19	45.7	85	0.3	30
20	53.3	92	0.3	30
21	53.3	49	0.8	30
22	56.7	51	0.8	30
23	22.4	28	0.8	30
24	28.8	32	0.8	30
25	33.6	36	0.8	30
26	42.4	43	0.8	30
27	49	48	0.8	30
28	56.8	51	0.8	30
29	56.8	50	0.9	30
30	61	55	0.9	30
31	14.2	19	0.9	30
32	28.2	30	0.9	30
33	34.6	36	0.9	30
34	41.8	40	0.9	30
35	49.6	47	0.9	30
36	61.6	54	0.9	30

Nota: Recolección de datos

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.3. Conversiones de los datos recopilados

4.3.1. Cálculos realizados para la conversión de caudales

Una vez recopilados los datos con respecto al caudal, de las cuales la unidad está definida en m³/hora, se realiza una conversión de m³/hora a m³/segundo, es decir, se debe dividir por 3600 lo que representa ser la cantidad de segundos en una hora.

$$\text{Conversión} = \frac{1 \text{ m}^3}{\text{hora}} = \frac{1 \text{ m}^3}{\text{segundo}}$$

$$Q_1 = \frac{45.4 \text{ m}^3}{\text{hora}} = \frac{0.012611111 \text{ m}^3}{\text{segundo}}$$

$$Q_2 = \frac{49.8 \text{ m}^3}{\text{hora}} = \frac{0.013833333 \text{ m}^3}{\text{segundo}}$$

4.3.2. Cálculos realizados para la conversión de tirantes

Como segundos datos se recopiló la profundidad del flujo en el canal del laboratorio, de los cuales estuvieron definidos en mm, se realizó una conversión de unidades a m, en el cual simplemente se debe dividir el valor obtenido en mm a 1000 para su respectiva conversión a metros.

$$\text{Conversión} = 1 \text{ mm} = \text{metros}$$

$$y_1 = 93 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 0.093 \text{ m}$$

$$y_2 = 97mm * \frac{1 m}{1000 mm} = 0.097 m$$

4.3.3. Cálculos realizados para la conversión de pendientes

Como tercer dato recolectado, se procedió a la obtención de las pendientes del canal (So) de la cual, se obtuvo un rango de valor desde 0.1 al 0.9%. La pendiente de un canal se expresa en forma de metros de altura por metro de longitud del canal.

$$\text{Conversión} = 0.9\% = 0.009 m/m$$

4.3.4. Cálculos realizados para la conversión del ancho de plantilla o base

Como cuarto dato la base del canal es de 30 cm, realizando la conversión del cm a m.

$$b = 30 \text{ cm a } 0.30 m$$

Tabla 4 Registro de unidades de los datos recopilados: de caudal, tirante, pendiente y base

Código	Qexp (m ³ /seg)	Yexp (m)	b (m)	P
1	0.012611111	0.093	0.3	0.486
2	0.013833333	0.097	0.3	0.494
3	0.014722222	0.1	0.3	0.5
4	0.015694444	0.103	0.3	0.506
5	0.015694444	0.1	0.3	0.5
6	0.016305556	0.102	0.3	0.504
7	0.017638889	0.105	0.3	0.51
8	0.005527778	0.058	0.3	0.416
9	0.006805556	0.064	0.3	0.428
10	0.00825	0.07	0.3	0.44
11	0.009916667	0.079	0.3	0.458
12	0.013472222	0.092	0.3	0.484
13	0.004916667	0.05	0.3	0.4
14	0.006138889	0.057	0.3	0.414
15	0.00725	0.061	0.3	0.422
16	0.008361111	0.069	0.3	0.438
17	0.009861111	0.075	0.3	0.45
18	0.011194444	0.079	0.3	0.458
19	0.012694444	0.085	0.3	0.47
20	0.014805556	0.092	0.3	0.484
21	0.014805556	0.049	0.3	0.398
22	0.01575	0.051	0.3	0.402
23	0.006222222	0.028	0.3	0.356
24	0.008	0.032	0.3	0.364
25	0.009333333	0.036	0.3	0.372
26	0.011777778	0.043	0.3	0.386
27	0.013611111	0.048	0.3	0.396
28	0.015777778	0.051	0.3	0.402
29	0.015777778	0.05	0.3	0.4
30	0.016944444	0.055	0.3	0.41
31	0.003944444	0.019	0.3	0.338
32	0.007833333	0.03	0.3	0.36
33	0.009611111	0.036	0.3	0.372
34	0.011611111	0.04	0.3	0.38
35	0.013777778	0.047	0.3	0.394
36	0.017111111	0.054	0.3	0.408

Nota: Registro de unidades de los datos recopilados: de caudal, tirante, pendiente y base

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.4. Ecuación analítica para canales de sistema de alcantarillado

A partir de las observaciones y registros de la información recopilada en el laboratorio de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, se procede a la extracción u obtención de otros valores para poder realizar la modelación analítica y numérica del flujo hidráulico en canales abiertos. Una vez calculado los caudales e identificado el canal hidráulico como sección transversal rectangular, se procede al cálculo del perímetro mojado, radio hidráulico y área hidráulica.

Maya en el año 2021, establece que para las características de un canal abierto perteneciente a un sistema de alcantarillado de ancho constante (b) se utilizan las siguientes fórmulas: En una sección rectangular, el perímetro mojado conocido como P es el siguiente:

Ecuación 3 Perímetro mojado

$$P = b + 2Y$$

Para la definición del radio hidráulico se define como la división entre el Área y el Perímetro mojado (P), definida de la siguiente forma:

Ecuación 4 Radio hidráulico

$$\text{Radio hidraulico} = \frac{A}{P} = P = (b * y)/(b + 2y)$$

Para la definición del área hidráulica, se define como la multiplicación de base por altura

Ecuación 5 Área hidráulico

$$\text{Área Hidraulica} = b * y$$

4.5. Cálculos para el modelo de canal de sistema de alcantarillado

4.5.1. Cálculos del área hidráulica

Se calculo el valor del área hidráulica para cada aforo realizado de acuerdo a la ecuación que trata sobre el perímetro mojado.

$$\text{Área Hidraulica } (A) = b * y$$

Sustituyendo, los dos primeros datos de la tabla correspondientes al código 1 y código 2:

$$A_1 = 0.3m * (0.093m) = 0.0279 m^2$$

$$A_2 = 0.3m * (0.097 m) = 0.0291 m^2$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de las 36 muestra, en el cual se realizó el cálculo del área hidráulica.

Tabla 5 Resultados del cálculo del área hidráulica

Código	Y (m)	b (m)	A(m2)
1	0.093	0.3	0.0279
2	0.097	0.3	0.0291
3	0.1	0.3	0.03
4	0.103	0.3	0.0309
5	0.1	0.3	0.03
6	0.102	0.3	0.0306
7	0.105	0.3	0.0315
8	0.058	0.3	0.0174
9	0.064	0.3	0.0192
10	0.07	0.3	0.021
11	0.079	0.3	0.0237
12	0.092	0.3	0.0276
13	0.05	0.3	0.015
14	0.057	0.3	0.0171
15	0.061	0.3	0.0183
16	0.069	0.3	0.0207
17	0.075	0.3	0.0225
18	0.079	0.3	0.0237
19	0.085	0.3	0.0255
20	0.092	0.3	0.0276
21	0.049	0.3	0.0147
22	0.051	0.3	0.0153
23	0.028	0.3	0.0084
24	0.032	0.3	0.0096
25	0.036	0.3	0.0108
26	0.043	0.3	0.0129
27	0.048	0.3	0.0144
28	0.051	0.3	0.0153
29	0.05	0.3	0.015
30	0.055	0.3	0.0165
31	0.019	0.3	0.0057
32	0.03	0.3	0.009
33	0.036	0.3	0.0108
34	0.04	0.3	0.012
35	0.047	0.3	0.0141
36	0.054	0.3	0.0162

Nota: Resultados del cálculo del área hidráulica

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.5.2. Cálculos del perímetro mojado

Se calculo el valor del perímetro mojado para cada aforo realizado de acuerdo a la Ecuación Perímetro mojado

$$P = b + 2Y$$

Sustituyendo datos se obtuvo:

$$P_1 = 0.3m + 2 * (0.093m) = 0.486 m^2$$

$$P_2 = 0.3m + 2 * (0.097m) = 0.494m^2$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de las 36 muestra, en el cual se realizó el cálculo del perímetro mojado:

Tabla 6 Resultados del cálculo del cálculo del perímetro mojado

Código	Yexp (m)	b (m)	P
1	0.093	0.3	0.486
2	0.097	0.3	0.494
3	0.1	0.3	0.5
4	0.103	0.3	0.506
5	0.1	0.3	0.5
6	0.102	0.3	0.504
7	0.105	0.3	0.51
8	0.058	0.3	0.416
9	0.064	0.3	0.428
10	0.07	0.3	0.44
11	0.079	0.3	0.458
12	0.092	0.3	0.484
13	0.05	0.3	0.4
14	0.057	0.3	0.414
15	0.061	0.3	0.422
16	0.069	0.3	0.438
17	0.075	0.3	0.45
18	0.079	0.3	0.458
19	0.085	0.3	0.47
20	0.092	0.3	0.484
21	0.049	0.3	0.398
22	0.051	0.3	0.402
23	0.028	0.3	0.356
24	0.032	0.3	0.364
25	0.036	0.3	0.372
26	0.043	0.3	0.386
27	0.048	0.3	0.396
28	0.051	0.3	0.402
29	0.05	0.3	0.4
30	0.055	0.3	0.41
31	0.019	0.3	0.338
32	0.03	0.3	0.36
33	0.036	0.3	0.372
34	0.04	0.3	0.38
35	0.047	0.3	0.394
36	0.054	0.3	0.408

Nota: Resultados del cálculo del cálculo del perímetro mojado

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.5.3. Cálculos del Radio Hidráulico

Se calculo el valor del radio hidráulico de acuerdo a la ecuación 3:

$$\text{Radio hidraulico } (Rh) = \frac{A}{P} = P = (b * Y)/(b + 2y)$$

En base a los datos previamente calculados sobre área y perímetro mojado se sustituye con los dos primeros datos:

$$Rh_1 = \frac{0.0279\text{m}^2}{0.486\text{m}^2} = 0.05740741$$

$$Rh_2 = \frac{0.0291 \text{ m}^2}{0.494 \text{ m}^2} = 0.05890688$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de las 36 muestra, en el cual se realizó el cálculo del radio hidráulico:

tabla 7 Resultados del cálculo del Radio hidráulica

Código	A	P	Rh
1	0.0279	0.486	0.05740741
2	0.0291	0.494	0.05890688
3	0.03	0.5	0.06
4	0.0309	0.506	0.06106719
5	0.03	0.5	0.06
6	0.0306	0.504	0.06071429
7	0.0315	0.51	0.06176471
8	0.0174	0.416	0.04182692
9	0.0192	0.428	0.04485981
10	0.021	0.44	0.04772727
11	0.0237	0.458	0.05174672
12	0.0276	0.484	0.05702479
13	0.015	0.4	0.0375
14	0.0171	0.414	0.04130435
15	0.0183	0.422	0.04336493
16	0.0207	0.438	0.04726027
17	0.0225	0.45	0.05
18	0.0237	0.458	0.05174672
19	0.0255	0.47	0.05425532
20	0.0276	0.484	0.05702479
21	0.0147	0.398	0.03693467
22	0.0153	0.402	0.0380597
23	0.0084	0.356	0.02359551
24	0.0096	0.364	0.02637363
25	0.0108	0.372	0.02903226
26	0.0129	0.386	0.03341969
27	0.0144	0.396	0.03636364
28	0.0153	0.402	0.0380597
29	0.015	0.4	0.0375
30	0.0165	0.41	0.0402439
31	0.0057	0.338	0.01686391
32	0.009	0.36	0.025
33	0.0108	0.372	0.02903226
34	0.012	0.38	0.03157895
35	0.0141	0.394	0.0357868
36	0.0162	0.408	0.03970588

Nota: Resultados del cálculo del Radio hidráulica

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.6. Determinación de ecuaciones

4.6.1. Caudal experimental y rugosidad experimental

Para el cálculo del caudal experimental se definieron las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6 Caudal experimental

$$Q \text{ experimental: } \frac{A^{5/3}}{n p^{2/3}} So^{1/2}$$

Ecuación 7 rugosidad experimental

$$n \text{ experimental: } \frac{A^{5/3}}{Q p^{2/3}} So^{1/2}$$

4.6.2. Caudal Manning y rugosidad n

Ecuación 8 Caudal experimental

$$Q \text{ Manning: } \frac{A^{5/3}}{n \text{ equivalente } p^{2/3}} So^{1/2}$$

Ecuación 9 Fórmula Horton – Rugosidad compuesta-n equivalente

$$n \text{ compuesto} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i n_i)^{2/3}}{\sum p_i}$$

Ecuación 10 Determinación n:

$$n \text{ Horton: } \frac{(((n_{\text{acero}} * p_{\text{acero}}) + (n_{\text{vidrio}} * p_{\text{vidrio}}))^{3/2})^{2/3}}{(p)^{2/3}}$$

4.6.3. Caudal Chezy y rugosidad c

$$c \text{ Horton: } \frac{(c_{\text{acero}} * 2 * y) + (c_{\text{vidrio}} * b)}{(P)^{2/3}}$$

$$Q \text{ Chezy: } \text{Área} * (C) * \sqrt{(Rh_{\text{hidraulico}} * So)}$$

4.6.4. Caudal Darcy y rugosidad f

4.6.5. Ecuaciones generales de la fórmula de Darcy

$$hf: f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

$$\frac{hf}{l} = f \frac{v^2}{D (2g)}$$

$$So = f \frac{v^2}{2g (4Rh)}$$

$$So \frac{8gRh}{f} = \frac{Q^2}{A^2}$$

$$Q = A \left(\frac{8g * Rh * So}{f}\right)^{1/2}$$

$$f = \left(\frac{8g * Rh * So * A^2}{Q^2}\right)$$

Siendo:

$$D = 4Rh$$

$$So = \frac{hf}{L}$$

$$v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

4.6.6. Formula número de Reynolds

$$Re = \frac{\left(\frac{Q_{\text{experimental}}}{\text{Perimetro mojado}}\right)}{1 (10)^{-6}}$$

4.6.7. Fórmula número de Froude

Para canales rectangulares:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

4.6.8. Determinación de factor de rugosidad Horton

$$f \text{ Horton: } \frac{(f_{\text{acero}} * 2 * \text{tirante}) * (f_{\text{vidrio}} * 2 * b)}{\text{Perimetro mojado}^{2/3}}$$

4.7. Ecuación de Manning

Riversa en el año 2021, estableció los siguientes pasos para determinar el coeficiente de rugosidad. Se midió el ancho del canal (b), la pendiente del canal (So), determinación del caudal Q, con la finalidad de establecer un flujo uniforme; medir el tirante normal y el Q o también conocido como gasto uniforme, con dichos datos se estableció la fórmula de Manning.

Es de indicar que el coeficiente de rugosidad de Manning depende de la naturaleza de la superficie que este en contacto con el agua. Es de gran importancia considerar que para la utilización de la ecuación de Manning se debe conocer el coeficiente de rugosidad (n) del canal, debido a que esta mostrara una resistencia al flujo.

Tabla 8 Rugosidades para Manning

	VIDRIO	ACERO GALVANIZADO
n	0.011	0.016

Nota: Rugosidades para Manning

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Ecuación de Manning caudal

$$Q = \frac{1}{n} * A * Rh^{2/3} * So^{1/2}$$

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} * So^{1/2}$$

Ecuación Fórmula Horton – Rugosidad compuesta-n equivalente

$$n \text{ compuesto} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i n_i)^{2/3}}{\sum p_i}$$

Ecuación rugosidad n Manning

$$n = \frac{AR^{2/3}So^{1/2}}{Q p^{2/3}}$$

Determinación n:

$$n: \frac{(((n \text{ acero} * P \text{ acero}) + (n \text{ vidrio} * P \text{ vidrio}))^{3/2})^{2/3}}{(b + 2h)^{2/3}}$$

4.7.1. Definición de “n”

Ecuación 11 rugosidad de Horton (n)

$$n_{Horton} : \frac{((0.016 * b) + (0.011 * 2 * y)^{3/2})^{2/3}}{(p)^{2/3}}$$

Donde:

b: base

p: perimetro mojado

y: tirante

n_{horton}: rugosidad

Caudal de Manning (Q)

$$Q_{experimental} : \frac{A^{5/3} * S_0^{1/2}}{n * P^{2/3}}$$

Donde:

A: área hidraulica

S₀: pendiente mojada

n : rugosidad

P: Perimetro húmedo

rugosidad experimental (n)

$$n : \frac{A^{5/3} * S_0^{1/2}}{Q * P^{2/3}}$$

Donde:

b: base

p: perimetro mojado

Q : Caudal

4.7.2. Cálculos aplicados para la resolución de la rugosidad experimental

Se calculo el valor de la rugosidad experimental en base a la ecuación:

$$Q_{\text{experimental}} = \frac{A^{5/3}}{n P^{2/3}} S_o^{1/2}$$

$$n_{\text{EXPERIMENTAL}} = \frac{A^{5/3} * S_o^{1/2}}{Q_{\text{experimental}} * P^{2/3}}$$

Sustituyendo los dos primeros datos de la tabla se obtuvo:

$$n_{\text{EXPERIMENTAL (1)}} = \frac{0.0279 \text{m}^2^{5/3} * 0.001^{1/2}}{0.012611111 \text{m}^3/\text{seg} * 0.486 \text{m}^2^{2/3}} = 0,010411089$$

$$n_{\text{EXPERIMENTAL (2)}} = \frac{0.0291 \text{m}^2^{5/3} * 0.001^{1/2}}{0.013833333 \text{m}^3/\text{seg} * 0.494 \text{m}^2^{2/3}} = 0,010071098$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de las 36 muestra, en el cual se realizó el cálculo de la rugosidad experimental “n experimental”

Tabla 9 Resultados obtenidos del Cálculo de la rugosidad experimental, “n experimental”

Código	Qexp (m3/seg)	So	A	P	n exp
1	0.012611111	0,001	0.0279	0.486	0,010411089
2	0.013833333	0,001	0.0291	0.494	0,010071098
3	0.014722222	0,001	0.03	0.5	0,009876022
4	0.015694444	0,001	0.0309	0.506	0,009654975
5	0.015694444	0,002	0.03	0.5	0,013101604
6	0.016305556	0,002	0.0306	0.504	0,012964669
7	0.017638889	0,002	0.0315	0.51	0,012479042
8	0.005527778	0,002	0.0174	0.416	0,016962282
9	0.006805556	0,002	0.0192	0.428	0,015929089
10	0.00825	0,002	0.021	0.44	0,014978147
11	0.009916667	0,002	0.0237	0.458	0,014841787
12	0.013472222	0,002	0.0276	0.484	0,013573567
13	0.004916667	0,003	0.015	0.4	0,01872127
14	0.006138889	0,003	0.0171	0.414	0,018230454
15	0.00725	0,003	0.0183	0.422	0,017064732
16	0.008361111	0,003	0.0207	0.438	0,017725472
17	0.009861111	0,003	0.0225	0.45	0,016961489
18	0.011194444	0,003	0.0237	0.458	0,016102563
19	0.012694444	0,003	0.0255	0.47	0,015768195
20	0.014805556	0,003	0.0276	0.484	0,015127047
21	0.014805556	0,008	0.0147	0.398	0,009849038
22	0.01575	0,008	0.0153	0.402	0,00983104
23	0.006222222	0,008	0.0084	0.356	0,009933408
24	0.008	0,008	0.0096	0.364	0,009509831
25	0.009333333	0,008	0.0108	0.372	0,009776555
26	0.011777778	0,008	0.0129	0.386	0,010164194
27	0.013611111	0,008	0.0144	0.396	0,01038625
28	0.015777778	0,008	0.0153	0.402	0,009813732
29	0.015777778	0,009	0.015	0.4	0,01010464
30	0.016944444	0,009	0.0165	0.41	0,010848706
31	0.003944444	0,009	0.0057	0.338	0,009015345
32	0.007833333	0,009	0.009	0.36	0,009319168
33	0.009611111	0,009	0.0108	0.372	0,010069903
34	0.011611111	0,009	0.012	0.38	0,009795512
35	0.013777778	0,009	0.0141	0.394	0,010543297
36	0.017111111	0,009	0.0162	0.408	0,01045349

Nota: Resultados obtenidos del Cálculo de la rugosidad experimental, “n experimental”

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.7.3. Cálculos aplicados para la determinación de la rugosidad de “n de Horton”

Se calculo el valor de la rugosidad n Horton en base a la ecuación:

$$n_{Horton} : \frac{((0.016 * b) + (0.011 * 2 * y)^{3/2})^{2/3}}{(p)^{2/3}}$$

Sustituyendo los dos primeros datos de la tabla se obtuvo:

$$n_{Horton (1)} : \frac{((0.016 * 0.3m) + (0.011 * 2 * 0.093m)^{3/2})^{2/3}}{(0.486)^{2/3}} = 0.011075059$$

$$n_{Horton (2)} : \frac{((0.016 * 0.3m) + (0.011 * 2 * 0.097 m)^{3/2})^{2/3}}{(0.494)^{2/3}} = 0.011095985$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de las 36 muestra, en el cual se realizó el cálculo de la rugosidad “n Horton”.

Tabla 10 Resultados obtenidos del Cálculo de la rugosidad “n Horton”

Código	Tirante y (m)	b (m)	P	Rh	n horton
1	0.093	0.3	0.486	0.05740741	0,011075059
2	0.097	0.3	0.494	0.05890688	0,011095985
3	0.1	0.3	0.5	0.06	0,011111807
4	0.103	0.3	0.506	0.06106719	0,011127731
5	0.1	0.3	0.5	0.06	0,011111807
6	0.102	0.3	0.504	0.06071429	0,011122412
7	0.105	0.3	0.51	0.06176471	0,0111384
8	0.058	0.3	0.416	0.04182692	0,010903239
9	0.064	0.3	0.428	0.04485981	0,010930899
10	0.07	0.3	0.44	0.04772727	0,010959418
11	0.079	0.3	0.458	0.05174672	0,011003595
12	0.092	0.3	0.484	0.05702479	0,01106986
13	0.05	0.3	0.4	0.0375	0,010867893
14	0.057	0.3	0.414	0.04130435	0,010898721
15	0.061	0.3	0.422	0.04336493	0,010916955
16	0.069	0.3	0.438	0.04726027	0,010954609
17	0.075	0.3	0.45	0.05	0,010983769
18	0.079	0.3	0.458	0.05174672	0,011003595
19	0.085	0.3	0.47	0.05425532	0,011033855
20	0.092	0.3	0.484	0.05702479	0,01106986
21	0.049	0.3	0.398	0.03693467	0,010863611
22	0.051	0.3	0.402	0.0380597	0,010872207
23	0.028	0.3	0.356	0.02359551	0,010782314
24	0.032	0.3	0.364	0.02637363	0,010796364
25	0.036	0.3	0.372	0.02903226	0,010811149
26	0.043	0.3	0.386	0.03341969	0,010838622
27	0.048	0.3	0.396	0.03636364	0,010859361
28	0.051	0.3	0.402	0.0380597	0,010872207
29	0.05	0.3	0.4	0.0375	0,010867893
30	0.055	0.3	0.41	0.0402439	0,010889766
31	0.019	0.3	0.338	0.01686391	0,010753742
32	0.03	0.3	0.36	0.025	0,010789243
33	0.036	0.3	0.372	0.02903226	0,010811149
34	0.04	0.3	0.38	0.03157895	0,010826613
35	0.047	0.3	0.394	0.0357868	0,010855145
36	0.054	0.3	0.408	0.03970588	0,010885332

Nota: Resultados obtenidos del Cálculo de la rugosidad “n Horton”

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.7.4. Cálculos aplicados para la resolución de caudales de Manning (Q Manning)

Se calculo el valor de la rugosidad experimental en base a la ecuación caudal

$$Q \text{ Manning: } \frac{A^{5/3} * S_0^{1/2}}{n_{Horton} * P^{2/3}}$$

Sustituyendo los dos primeros datos de la tabla se obtuvo:

$$Q \text{ Manning (1): } \frac{0.0279m^2^{5/3} * 0.001^{1/2}}{0.011075059 * 0.486^{2/3}} = 0,011855051$$

$$Q \text{ Manning (2): } \frac{0.0291m^2^{5/3} * 0.001^{1/2}}{0.011095985 * 0.494^{2/3}} = 0,01255561$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de las 36 muestra, en el cual se realizó el cálculo del caudal de Manning, en dicha tabla consta datos de S_0 (pendiente del canal), área, perímetro mojado, Radio hidráulico, rugosidad de Horton (n Horton)

Tabla 11 Resultados obtenidos del Cálculo de Manning modelo teórico

Código	Tirante y (m)	So	A	P	Rh	N horton	Q manning
1	0.093	0,001	0.0279	0.486	0.05740741	0,01107506	0,01185505
2	0.097	0,001	0.0291	0.494	0.05890688	0,01109599	0,01255561
3	0.1	0,001	0.03	0.5	0.06	0,01111181	0,01308491
4	0.103	0,001	0.0309	0.506	0.06106719	0,01112773	0,01361728
5	0.1	0,002	0.03	0.5	0.06	0,01111181	0,01850486
6	0.102	0,002	0.0306	0.504	0.06071429	0,01112241	0,01900632
7	0.105	0,002	0.0315	0.51	0.06176471	0,0111384	0,01976194
8	0.058	0,002	0.0174	0.416	0.04182692	0,01090324	0,00859962
9	0.064	0,002	0.0192	0.428	0.04485981	0,0109309	0,00991742
10	0.07	0,002	0.021	0.44	0.04772727	0,01095942	0,01127521
11	0.079	0,002	0.0237	0.458	0.05174672	0,0110036	0,01337573
12	0.092	0,002	0.0276	0.484	0.05702479	0,01106986	0,01651928
13	0.05	0,003	0.015	0.4	0.0375	0,01086789	0,00846956
14	0.057	0,003	0.0171	0.414	0.04130435	0,01089872	0,01026861
15	0.061	0,003	0.0183	0.422	0.04336493	0,01091696	0,01133277
16	0.069	0,003	0.0207	0.438	0.04726027	0,01095461	0,01352898
17	0.075	0,003	0.0225	0.45	0.05	0,01098377	0,01522785
18	0.079	0,003	0.0237	0.458	0.05174672	0,0110036	0,01638185
19	0.085	0,003	0.0255	0.47	0.05425532	0,01103386	0,0181413
20	0.092	0,003	0.0276	0.484	0.05702479	0,01106986	0,0202319
21	0.049	0,008	0.0147	0.398	0.03693467	0,01086361	0,01342284
22	0.051	0,008	0.0153	0.402	0.0380597	0,01087221	0,01424172
23	0.028	0,008	0.0084	0.356	0.02359551	0,01078231	0,00573234
24	0.032	0,008	0.0096	0.364	0.02637363	0,01079636	0,00704669
25	0.036	0,008	0.0108	0.372	0.02903226	0,01081115	0,00844016
26	0.043	0,008	0.0129	0.386	0.03341969	0,01083862	0,01104491
27	0.048	0,008	0.0144	0.396	0.03636364	0,01085936	0,01301811
28	0.051	0,008	0.0153	0.402	0.0380597	0,01087221	0,01424172
29	0.05	0,009	0.015	0.4	0.0375	0,01086789	0,0146697
30	0.055	0,009	0.0165	0.41	0.0402439	0,01088977	0,01688055
31	0.019	0,009	0.0057	0.338	0.01686391	0,01075374	0,00330681
32	0.03	0,009	0.009	0.36	0.025	0,01078924	0,00676601
33	0.036	0,009	0.0108	0.372	0.02903226	0,01081115	0,00895214
34	0.04	0,009	0.012	0.38	0.03157895	0,01082661	0,0105053
35	0.047	0,009	0.0141	0.394	0.0357868	0,01085515	0,01338197
36	0.054	0,009	0.0162	0.408	0.03970588	0,01088533	0,01643228

Nota: Resultados obtenidos del Cálculo de Manning modelo teórico

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.8. Tabla resumen Manning

Tabla 12 Tabla resumen Manning modelo teórico

Código	Y (m)	So	N Horton	Q manning
1	0.093	0,001	0,011075059	0,011855051
2	0.097	0,001	0,011095985	0,01255561
3	0.1	0,001	0,011111807	0,013084909
4	0.103	0,001	0,011127731	0,013617284
5	0.1	0,002	0,011111807	0,018504856
6	0.102	0,002	0,011122412	0,01900632
7	0.105	0,002	0,0111384	0,019761944
8	0.058	0,002	0,010903239	0,008599621
9	0.064	0,002	0,010930899	0,009917419
10	0.07	0,002	0,010959418	0,011275208
11	0.079	0,002	0,011003595	0,013375725
12	0.092	0,002	0,01106986	0,01651928
13	0.05	0,003	0,010867893	0,008469557
14	0.057	0,003	0,010898721	0,010268612
15	0.061	0,003	0,010916955	0,011332767
16	0.069	0,003	0,010954609	0,013528976
17	0.075	0,003	0,010983769	0,015227845
18	0.079	0,003	0,011003595	0,01638185
19	0.085	0,003	0,011033855	0,018141301
20	0.092	0,003	0,01106986	0,020231904
21	0.049	0,008	0,010863611	0,013422837
22	0.051	0,008	0,010872207	0,014241716
23	0.028	0,008	0,010782314	0,005732338
24	0.032	0,008	0,010796364	0,007046692
25	0.036	0,008	0,010811149	0,008440161
26	0.043	0,008	0,010838622	0,011044911
27	0.048	0,008	0,010859361	0,013018114
28	0.051	0,008	0,010872207	0,014241716
29	0.05	0,009	0,010867893	0,014669704
30	0.055	0,009	0,010889766	0,016880554
31	0.019	0,009	0,010753742	0,003306805
32	0.03	0,009	0,010789243	0,006766012
33	0.036	0,009	0,010811149	0,008952143
34	0.04	0,009	0,010826613	0,010505297
35	0.047	0,009	0,010855145	0,013381969
36	0.054	0,009	0,010885332	0,01643228

Nota: Tabla resumen Manning modelo teórico

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.9. Determinación de Chezy

Para el parámetro de rugosidad de la pared, se contempló que las soleras del canal hidráulico del laboratorio fueron de acero galvanizado; para las paredes la rugosidad fue de vidrio templado.

Donde n es el coeficiente de rugosidad para aguas limpia expresado con los siguientes valores:

Tabla 13 Rugosidades para Chezy

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	VIDRIO	ACERO GALVANIZADO
C	140	120

Nota: Rugosidades para Chezy

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.10. Cálculo del coeficiente de rugosidad de Chezy “c”

En la siguiente tabla se presenta los datos obtenidos de las 40 muestra, en el cual se realizó el cálculo del coeficiente c en base al material vidrio templado al cual se le asigna un coeficiente de rugosidad de 140 y al acero un coeficiente de rugosidad de 120. Dichos materiales conforman el canal Hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

4.10.1. Determinación del coeficiente de chezy en vidrio y acero.

Tabla 14 Determinación de coeficiente de Chezy en vidrio y el coeficiente de chezy en acero

Código	C vidrio	C acero
1	140	120
2	140	120
3	140	120
4	140	120
5	140	120
6	140	120
7	140	120
8	140	120
9	140	120
10	140	120
11	140	120
12	140	120
13	140	120
14	140	120
15	140	120
16	140	120
17	140	120
18	140	120
19	140	120
20	140	120
21	140	120
22	140	120
23	140	120
24	140	120
25	140	120
26	140	120
27	140	120
28	140	120
29	140	120
30	140	120
31	140	120
32	140	120
33	140	120
34	140	120
35	140	120
36	140	120

Nota: Determinación de coeficiente de Chezy en vidrio y el coeficiente de chezy en acero

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.10.2. Cálculo preliminar del coeficiente de rugosidad de Horton “c Horton”

Se calculo el valor de la rugosidad experimental, es decir, coeficiente de Horton de la siguiente manera:

$$c \text{ Horton: } \frac{(c \text{ acero} * 2 * y) + (c \text{ vidrio} * b)}{(P)^{2/3}}$$

Sustituyendo los dos primeros datos de la tabla, se obtuvo la siguiente información:

$$c \text{ Horton (1): } \frac{(120 * 2 * 0.093) + (140 * 0.3)}{(0.486)^{2/3}} = 100.3646889$$

$$c \text{ Horton (2): } \frac{(120 * 2 * 0.097) + (140 * 0.3)}{(0.494)^{2/3}} = 101.0704398$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de las 36 muestra, en el cual se realizó el cálculo del coeficiente c en base al material vidrio templado y el material c de acero para obtener el coeficiente de Horton, (C Horton).

Tabla 15 Determinación de coeficiente de Chezy de Horton

Código	Y (tirante)	b (m)	P	C vidrio	C acero	C horton
1	0.093	0.3	0.486	140	120	100,364689
2	0.097	0.3	0.494	140	120	101,07044
3	0.1	0.3	0.5	140	120	101,593667
4	0.103	0.3	0.506	140	120	102,111815
5	0.1	0.3	0.5	140	120	101,593667
6	0.102	0.3	0.504	140	120	101,939656
7	0.105	0.3	0.51	140	120	102,454483
8	0.058	0.3	0.416	140	120	93,7434533
9	0.064	0.3	0.428	140	120	94,9410515
10	0.07	0.3	0.44	140	120	96,1109804
11	0.079	0.3	0.458	140	120	97,8172135
12	0.092	0.3	0.484	140	120	100,186771
13	0.05	0.3	0.4	140	120	92,1007875
14	0.057	0.3	0.414	140	120	93,5410517
15	0.061	0.3	0.422	140	120	94,3458092
16	0.069	0.3	0.438	140	120	95,917849
17	0.075	0.3	0.45	140	120	97,0658614
18	0.079	0.3	0.458	140	120	97,8172135
19	0.085	0.3	0.47	140	120	98,9242149
20	0.092	0.3	0.484	140	120	100,186771
21	0.049	0.3	0.398	140	120	91,8915842
22	0.051	0.3	0.402	140	120	92,3091107
23	0.028	0.3	0.356	140	120	87,277818
24	0.032	0.3	0.364	140	120	88,191226
25	0.036	0.3	0.372	140	120	89,0875832
26	0.043	0.3	0.386	140	120	90,6173719
27	0.048	0.3	0.396	140	120	91,6814918
28	0.051	0.3	0.402	140	120	92,3091107
29	0.05	0.3	0.4	140	120	92,1007875
30	0.055	0.3	0.41	140	120	93,1337767
31	0.019	0.3	0.338	140	120	85,1561162
32	0.03	0.3	0.36	140	120	87,7367015
33	0.036	0.3	0.372	140	120	89,0875832
34	0.04	0.3	0.38	140	120	89,9676274
35	0.047	0.3	0.394	140	120	91,4705014
36	0.054	0.3	0.408	140	120	92,9288872

Nota: Determinación de coeficiente de Chezy de Horton

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

Tabla 16 Determinación del Caudal de Chezy

Código	So	A	P	C horton	Q chezy
1	0,001	0.0279	0.486	100,3646889	0,021216274
2	0,001	0.0291	0.494	101,0704398	0,022573566
3	0,001	0.03	0.5	101,5936673	0,023608235
4	0,001	0.0309	0.506	102,1118148	0,024656899
5	0,002	0.03	0.5	101,5936673	0,033387086
6	0,002	0.0306	0.504	101,9396561	0,034373601
7	0,002	0.0315	0.51	102,4544826	0,035869614
8	0,002	0.0174	0.416	93,74345328	0,014918775
9	0,002	0.0192	0.428	94,94105154	0,017266289
10	0,002	0.021	0.44	96,11098037	0,01971926
11	0,002	0.0237	0.458	97,81721349	0,023584141
12	0,002	0.0276	0.484	100,186771	0,029530195
13	0,003	0.015	0.4	92,10078747	0,014653146
14	0,003	0.0171	0.414	93,54105167	0,017805611
15	0,003	0.0183	0.422	94,34580916	0,019692627
16	0,003	0.0207	0.438	95,91784903	0,02364169
17	0,003	0.0225	0.45	97,06586144	0,026748206
18	0,003	0.0237	0.458	97,81721349	0,028884556
19	0,003	0.0255	0.47	98,92421486	0,032182856
20	0,003	0.0276	0.484	100,186771	0,036166955
21	0,008	0.0147	0.398	91,89158416	0,023219625
22	0,008	0.0153	0.402	92,30911069	0,024644141
23	0,008	0.0084	0.356	87,27781802	0,010072628
24	0,008	0.0096	0.364	88,19122602	0,012297775
25	0,008	0.0108	0.372	89,08758315	0,014663118
26	0,008	0.0129	0.386	90,61737185	0,019113815
27	0,008	0.0144	0.396	91,68149183	0,022517637
28	0,008	0.0153	0.402	92,30911069	0,024644141
29	0,009	0.015	0.4	92,10078747	0,025379993
30	0,009	0.0165	0.41	93,1337767	0,029245729
31	0,009	0.0057	0.338	85,15611622	0,00597986
32	0,009	0.009	0.36	87,73670151	0,011844455
33	0,009	0.0108	0.372	89,08758315	0,015552585
34	0,009	0.012	0.38	89,9676274	0,018200679
35	0,009	0.0141	0.394	91,47050139	0,023146369
36	0,009	0.0162	0.408	92,92888716	0,028458659

Nota: Determinación del Caudal de Chezy

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.11. Tabla resumen Chezy

Tabla 17 Tabla resumen Chezy

Código	Y (tirante)	So	C Horton	Q chezy
1	0.093	0,001	100,3646889	0,021216274
2	0.097	0,001	101,0704398	0,022573566
3	0.1	0,001	101,5936673	0,023608235
4	0.103	0,001	102,1118148	0,024656899
5	0.1	0,002	101,5936673	0,033387086
6	0.102	0,002	101,9396561	0,034373601
7	0.105	0,002	102,4544826	0,035869614
8	0.058	0,002	93,74345328	0,014918775
9	0.064	0,002	94,94105154	0,017266289
10	0.07	0,002	96,11098037	0,01971926
11	0.079	0,002	97,81721349	0,023584141
12	0.092	0,002	100,186771	0,029530195
13	0.05	0,003	92,10078747	0,014653146
14	0.057	0,003	93,54105167	0,017805611
15	0.061	0,003	94,34580916	0,019692627
16	0.069	0,003	95,91784903	0,02364169
17	0.075	0,003	97,06586144	0,026748206
18	0.079	0,003	97,81721349	0,028884556
19	0.085	0,003	98,92421486	0,032182856
20	0.092	0,003	100,186771	0,036166955
21	0.049	0,008	91,89158416	0,023219625
22	0.051	0,008	92,30911069	0,024644141
23	0.028	0,008	87,27781802	0,010072628
24	0.032	0,008	88,19122602	0,012297775
25	0.036	0,008	89,08758315	0,014663118
26	0.043	0,008	90,61737185	0,019113815
27	0.048	0,008	91,68149183	0,022517637
28	0.051	0,008	92,30911069	0,024644141
29	0.05	0,009	92,10078747	0,025379993
30	0.055	0,009	93,1337767	0,029245729
31	0.019	0,009	85,15611622	0,00597986
32	0.03	0,009	87,73670151	0,011844455
33	0.036	0,009	89,08758315	0,015552585
34	0.04	0,009	89,9676274	0,018200679
35	0.047	0,009	91,47050139	0,023146369
36	0.054	0,009	92,92888716	0,028458659

Nota: Tabla resumen Chezy

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.12. Ecuaciones generales de la fórmula de Darcy

$$hf: f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

$$v^2: \left(\frac{hf}{L}\right) * \left(\frac{D}{f}\right) * 2g$$

$$\frac{Q^2}{A^2}: \left(\frac{4Rh}{f}\right) * 2g$$

$$Q = \sqrt{\frac{A^2(So)(4)(Rh)(2g)}{f}}$$

$$\frac{Q^2}{A^2} = \frac{(So)(4)(Rh)(2g)}{f}$$

$$D = 4Rh$$

$$So = \frac{hf}{L}$$

$$v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

4.12.1. Cálculo preliminar de números de Reynolds

Se calculo el número de Reynolds en base a la siguiente formula:

$$Re = \frac{\left(\frac{Q_{\text{experimental}}}{\text{Perimetro mojado}}\right)}{1(10)^{-6}}$$

Se sustituyo los 2 primeros datos de la tabla:

$$Re (1) = \frac{\left(\frac{0.012611111}{0.486}\right)}{1(10)^{-6}} = 25948,78829$$

$$Re (2) = \frac{\left(\frac{0.013833333}{0.494}\right)}{1(10)^{-6}} = 28002,69906$$

Tabla 18 Determinación del Número de Reynolds con caudal experimental

Código	Qexp (m3/seg)	P	Re
1	0,012611111	0.486	25948,78829
2	0,013833333	0.494	28002,69906
3	0,014722222	0.5	29444,44444
4	0,015694444	0.506	31016,68863
5	0,015694444	0.5	31388,88889
6	0,016305556	0.504	32352,29277
7	0,017638889	0.51	34586,05664
8	0,005527778	0.416	13287,92735
9	0,006805556	0.428	15900,83074
10	0,00825	0.44	18750
11	0,009916667	0.458	21652,11063
12	0,013472222	0.484	27835,16988
13	0,004916667	0.4	12291,66667
14	0,006138889	0.414	14828,23403
15	0,00725	0.422	17180,09479
16	0,008361111	0.438	19089,29477
17	0,009861111	0.45	21913,58025
18	0,011194444	0.458	24442,01844
19	0,012694444	0.47	27009,45626
20	0,014805556	0.484	30589,99082
21	0,014805556	0.398	37199,88833
22	0,01575	0.402	39179,10448
23	0,006222222	0.356	17478,15231
24	0,008	0.364	21978,02198
25	0,009333333	0.372	25089,60573
26	0,011777778	0.386	30512,37766
27	0,013611111	0.396	34371,4927
28	0,015777778	0.402	39248,20343
29	0,015777778	0.4	39444,44444
30	0,016944444	0.41	41327,91328
31	0,003944444	0.338	11669,95398
32	0,007833333	0.36	21759,25926
33	0,009611111	0.372	25836,32019
34	0,011611111	0.38	30555,55556
35	0,013777778	0.394	34968,97913
36	0,017111111	0.408	41938,99782

Nota: Determinación del Número de Reynolds con caudal experimental

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.12.2. Definición del régimen hidráulico en canales abiertos -número de froude

Froude Fórmula para definir froude la magnitud numérica adimensional que expresen la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. En canales abiertos el flujo tiende a ser crítico, subcrítico o supercrítico. En el cual se define que la velocidad es igual a caudal sobre área y nos indica el estado del flujo hidráulico.

Ecuación 12 Según el número de Froude

Para el canal rectangular

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy_h}}$$

En donde:

V: Velocidad media,

y_h : Tirante hidráulico

g: gravedad

Tabla 19 Determinación de números de Froude

A partir del número de froude
F<1 Flujo subcrítico
F=1 Flujo Crítico
F>1 Supercrítico

Nota: Determinación de números de Froude

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

La tabla presenta los cálculos obtenidos de las 36 muestras experimentales realizadas en el canal hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, el total del número de froude dando en consideración que el régimen hidráulico se clasifica en ser subcrítico y supercrítico.

El rango subcrítico se caracteriza por ser un régimen de flujo tranquilo y lento, en cambio el régimen supercrítico, una de sus características es que el flujo es turbulento y rápido.

Tabla 20 Régimen hidráulico -Número de froude

Código	Qexp (m3/seg)	Y (tirante)	A	Froude	Estado del flujo
1	0,012611111	0.093	0.0279	0,247723494	Subcritico
2	0,013833333	0.097	0.0291	0,249783137	Subcritico
3	0,014722222	0.1	0.03	0,250122702	Subcritico
4	0,015694444	0.103	0.0309	0,251333998	Subcritico
5	0,015694444	0.1	0.03	0,266640239	Subcritico
6	0,016305556	0.102	0.0306	0,266265562	Subcritico
7	0,017638889	0.105	0.0315	0,271814342	Subcritico
8	0,005527778	0.058	0.0174	0,27917359	Subcritico
9	0,006805556	0.064	0.0192	0,282282125	Subcritico
10	0,00825	0.07	0.021	0,286047141	Subcritico
11	0,009916667	0.079	0.0237	0,269954937	Subcritico
12	0,013472222	0.092	0.0276	0,270422813	Subcritico
13	0,004916667	0.05	0.015	0,334126175	Subcritico
14	0,006138889	0.057	0.0171	0,321010918	Subcritico
15	0,00725	0.061	0.0183	0,33102293	Subcritico
16	0,008361111	0.069	0.0207	0,298363406	Subcritico
17	0,009861111	0.075	0.0225	0,297840031	Subcritico
18	0,011194444	0.079	0.0237	0,304739047	Subcritico
19	0,012694444	0.085	0.0255	0,298507736	Subcritico
20	0,014805556	0.092	0.0276	0,297186307	Subcritico
21	0,014805556	0.049	0.0147	1,047640527	Supercritico
22	0,01575	0.051	0.0153	1,028773925	Supercritico
23	0,006222222	0.028	0.0084	1,34837036	Supercritico
24	0,008	0.032	0.0096	1,327302073	Supercritico
25	0,009333333	0.036	0.0108	1,223521252	Supercritico
26	0,011777778	0.043	0.0129	1,082196654	Supercritico
27	0,013611111	0.048	0.0144	1,003669777	Supercritico
28	0,015777778	0.051	0.0153	1,030588341	Supercritico
29	0,015777778	0.05	0.015	1,07222411	Supercritico
30	0,016944444	0.055	0.0165	0,951659741	Subcritico
31	0,003944444	0.019	0.0057	1,856343681	Supercritico
32	0,007833333	0.03	0.009	1,478712828	Supercritico
33	0,009611111	0.036	0.0108	1,259935575	Supercritico
34	0,011611111	0.04	0.012	1,232916148	Supercritico
35	0,013777778	0.047	0.0141	1,059651853	Supercritico
36	0,017111111	0.054	0.0162	0,996943243	Subcritico

Nota: Régimen hidráulico -Número de froude

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

4.12.3. Definición del factor de fricción

4.12.3.1. Definición de los factores de fricción del vidrio

Reemplazo la formula establecida para material vidrio:

$$E_{\text{vidrio (1)}} = 0.0015$$

$$E_{\text{vidrio (2)}} = 0.0015$$

$$\text{Factor de fricción vidrio (1)} = \left(\frac{1}{\left(1.8 * \text{Log } 10 * \frac{0.0015}{3.7} * 0.11 \right)} \right)^2 =$$

Reemplazo la formula establecida para el factor de fricción vidrio:

$$\text{Factor de fricción vidrio (1)} = \left(\frac{1}{\left(1.8 * \text{Log } 10 * \frac{0.0015}{3.7} * 0.11 \right)} \right)^2 = 0.021770533$$

$$\text{Factor de fricción vidrio (2)} = \left(\frac{1}{\left(1.8 * \text{Log } 10 * \frac{0.0015}{3.7} * 0.11 \right)} \right)^2 = 0.021770533$$

Tabla 21 factor de fricción vidrio

Código	Y (tirante)	Rh	E vidrio	F vidrio
1	0.093	0.05740741	0.0015	0,021770533
2	0.097	0.05890688	0.0015	0,021770533
3	0.1	0.06	0.0015	0,021770533
4	0.103	0.06106719	0.0015	0,021770533
5	0.1	0.06	0.0015	0,021770533
6	0.102	0.06071429	0.0015	0,021770533
7	0.105	0.06176471	0.0015	0,021770533
8	0.058	0.04182692	0.0015	0,021770533
9	0.064	0.04485981	0.0015	0,021770533
10	0.07	0.04772727	0.0015	0,021770533
11	0.079	0.05174672	0.0015	0,021770533
12	0.092	0.05702479	0.0015	0,021770533
13	0.05	0.0375	0.0015	0,021770533
14	0.057	0.04130435	0.0015	0,021770533
15	0.061	0.04336493	0.0015	0,021770533
16	0.069	0.04726027	0.0015	0,021770533
17	0.075	0.05	0.0015	0,021770533
18	0.079	0.05174672	0.0015	0,021770533
19	0.085	0.05425532	0.0015	0,021770533
20	0.092	0.05702479	0.0015	0,021770533
21	0.049	0.03693467	0.0015	0,021770533
22	0.051	0.0380597	0.0015	0,021770533
23	0.028	0.02359551	0.0015	0,021770533
24	0.032	0.02637363	0.0015	0,021770533
25	0.036	0.02903226	0.0015	0,021770533
26	0.043	0.03341969	0.0015	0,021770533
27	0.048	0.03636364	0.0015	0,021770533
28	0.051	0.0380597	0.0015	0,021770533
29	0.05	0.0375	0.0015	0,021770533
30	0.055	0.0402439	0.0015	0,021770533
31	0.019	0.01686391	0.0015	0,021770533
32	0.03	0.025	0.0015	0,021770533
33	0.036	0.02903226	0.0015	0,021770533
34	0.04	0.03157895	0.0015	0,021770533
35	0.047	0.0357868	0.0015	0,021770533
36	0.054	0.03970588	0.0015	0,021770533

Nota: factor de fricción vidrio

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

4.12.3.2. Definición de los factores de fricción del acero

En base al acero se define que:

$$E_{\text{acero}} = 0.15$$

Reemplazo la formula establecida para material vidrio:

$$E_{\text{acero}} (1) = 0.15$$

$$E_{\text{acero}} (2) = 0.15$$

$$\text{Factor de fricción acero (1)} = \left(\frac{1}{\left(-1.8 * \text{Log } 10 * \left(\frac{E_{\text{acero}}}{3.7} * \right)^{1.11} \right)} \right)^2 =$$

Reemplazo la formula establecida para el factor de fricción vidrio:

$$\text{Factor de fricción acero (1)} = \left(\frac{1}{\left(-1.8 * \text{Log } 10 * \left(\frac{0.15}{3.7} * \right)^{1.11} \right)} \right)^2 = 0.129259251$$

$$\text{Factor de fricción acero (1)} = \left(\frac{1}{\left(-1.8 * \text{Log } 10 * \left(\frac{0.15}{3.7} * \right)^{1.11} \right)} \right)^2 = 0.129259251$$

Tabla 22 factor de fricción acero

Código	Rh	E acero	F acero
1	0.05740741	0.15	0.12925925
2	0.05890688	0.15	0.12925925
3	0.06	0.15	0.12925925
4	0.06106719	0.15	0.12925925
5	0.06	0.15	0.12925925
6	0.06071429	0.15	0.12925925
7	0.06176471	0.15	0.12925925
8	0.04182692	0.15	0.12925925
9	0.04485981	0.15	0.12925925
10	0.04772727	0.15	0.12925925
11	0.05174672	0.15	0.12925925
12	0.05702479	0.15	0.12925925
13	0.0375	0.15	0.12925925
14	0.04130435	0.15	0.12925925
15	0.04336493	0.15	0.12925925
16	0.04726027	0.15	0.12925925
17	0.05	0.15	0.12925925
18	0.05174672	0.15	0.12925925
19	0.05425532	0.15	0.12925925
20	0.05702479	0.15	0.12925925
21	0.03693467	0.15	0.12925925
22	0.0380597	0.15	0.12925925
23	0.02359551	0.15	0.12925925
24	0.02637363	0.15	0.12925925
25	0.02903226	0.15	0.12925925
26	0.03341969	0.15	0.12925925
27	0.03636364	0.15	0.12925925
28	0.0380597	0.15	0.12925925
29	0.0375	0.15	0.12925925
30	0.0402439	0.15	0.12925925
31	0.01686391	0.15	0.12925925
32	0.025	0.15	0.12925925
33	0.02903226	0.15	0.12925925
34	0.03157895	0.15	0.12925925
35	0.0357868	0.15	0.12925925
36	0.03970588	0.15	0.12925925

Nota: factor de fricción vidrio

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

4.12.3.3. Definición de los factores de fricción de Horton

$$f \text{ Horton} : \frac{(f \text{ vidrio} * 2 * \text{tirante}) * (f \text{ acero} * 2 * b)}{\text{Perimetro mojado}^{2/3}}$$

Sustituir la formula ya planteada:

f Horton 1 :

$$\frac{(0.02177053 * 2 * 0.093) * (0.12925925 * 2 * 0.3)}{0.486^{2/3}} = 0,069283172$$

f Horton 2 :

$$\frac{(0.02177053 * 2 * 0.097) * (0.12925925 * 2 * 0.3)}{0.494^{2/3}} = 0,068811845$$

La tabla presenta los cálculos obtenidos de las 36 muestras experimentales realizadas en el canal hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, en el cual se definió el factor de fricción de Horton en base a los factores de fricción ya encontrados anteriormente tales como el vidrio y el acero.

Tabla 23 factor de fricción Horton

Código	Yexp (m)	b (m)	P	F vidrio	F acero	F horton
1	0.093	0.3	0.486	0.02177053	0.12925925	0,069283172
2	0.097	0.3	0.494	0.02177053	0.12925925	0,068811845
3	0.1	0.3	0.5	0.02177053	0.12925925	0,068467595
4	0.103	0.3	0.506	0.02177053	0.12925925	0,068130983
5	0.1	0.3	0.5	0.02177053	0.12925925	0,068467595
6	0.102	0.3	0.504	0.02177053	0.12925925	0,068242353
7	0.105	0.3	0.51	0.02177053	0.12925925	0,067910696
8	0.058	0.3	0.416	0.02177053	0.12925925	0,074117546
9	0.064	0.3	0.428	0.02177053	0.12925925	0,073185612
10	0.07	0.3	0.44	0.02177053	0.12925925	0,072300436
11	0.079	0.3	0.458	0.02177053	0.12925925	0,071052996
12	0.092	0.3	0.484	0.02177053	0.12925925	0,069403272
13	0.05	0.3	0.4	0.02177053	0.12925925	0,075439439
14	0.057	0.3	0.414	0.02177053	0.12925925	0,074277673
15	0.061	0.3	0.422	0.02177053	0.12925925	0,073645507
16	0.069	0.3	0.438	0.02177053	0.12925925	0,072444866
17	0.075	0.3	0.45	0.02177053	0.12925925	0,071596044
18	0.079	0.3	0.458	0.02177053	0.12925925	0,071052996
19	0.085	0.3	0.47	0.02177053	0.12925925	0,070270545
20	0.092	0.3	0.484	0.02177053	0.12925925	0,069403272
21	0.049	0.3	0.398	0.02177053	0.12925925	0,075611485
22	0.051	0.3	0.402	0.02177053	0.12925925	0,075268955
23	0.028	0.3	0.356	0.02177053	0.12925925	0,079626924
24	0.032	0.3	0.364	0.02177053	0.12925925	0,078797545
25	0.036	0.3	0.372	0.02177053	0.12925925	0,078000459
26	0.043	0.3	0.386	0.02177053	0.12925925	0,076677766
27	0.048	0.3	0.396	0.02177053	0.12925925	0,075785113
28	0.051	0.3	0.402	0.02177053	0.12925925	0,075268955
29	0.05	0.3	0.4	0.02177053	0.12925925	0,075439439
30	0.055	0.3	0.41	0.02177053	0.12925925	0,07460221
31	0.019	0.3	0.338	0.02177053	0.12925925	0,081621799
32	0.03	0.3	0.36	0.02177053	0.12925925	0,079208076
33	0.036	0.3	0.372	0.02177053	0.12925925	0,078000459
34	0.04	0.3	0.38	0.02177053	0.12925925	0,077233811
35	0.047	0.3	0.394	0.02177053	0.12925925	0,075960345
36	0.054	0.3	0.408	0.02177053	0.12925925	0,074766658

Nota: factor de fricción Horton

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

4.12.4. Definición y cálculos del caudal de Darcy

$$Q = \sqrt{\frac{A^2(S_o)(4)(R_h)(2g)}{f}}$$

Se sustituyo la formula planteada:

$$Q \text{ darcy 1} = \sqrt{\frac{0.0279^2(0.001)(4)(0.05740741)(0.03970588)}{0.06928317}} = 0,007114654$$

$$Q \text{ darcy 2} = \sqrt{\frac{0.0291^2(0.001)(4)(0.05890688)(2*9.81)}{0.06881185}} = 0,007542649$$

En base a los cálculos realizados se detalla el cuadro a continuación:

Tabla 24 Cálculo de caudal de Darcy

Código	Yexp (m)	So	A	Rh	F horton	Q darcy
1	0.093	0,001	0.0279	0.05740741	0,069283172	0,007114654
2	0.097	0,001	0.0291	0.05890688	0,068811845	0,007542649
3	0.1	0,001	0.03	0.06	0,068467595	0,007867447
4	0.103	0,001	0.0309	0.06106719	0,068130983	0,00819539
5	0.1	0,002	0.03	0.06	0,068467595	0,011126251
6	0.102	0,002	0.0306	0.06071429	0,068242353	0,011434953
7	0.105	0,002	0.0315	0.06176471	0,067910696	0,011901622
8	0.058	0,002	0.0174	0.04182692	0,074117546	0,005178586
9	0.064	0,002	0.0192	0.04485981	0,073185612	0,005955409
10	0.07	0,002	0.021	0.04772727	0,072300436	0,006759688
11	0.079	0,002	0.0237	0.05174672	0,071052996	0,008012962
12	0.092	0,002	0.0276	0.05702479	0,069403272	0,009911639
13	0.05	0,003	0.015	0.0375	0,075439439	0,005131541
14	0.057	0,003	0.0171	0.04130435	0,074277673	0,006187354
15	0.061	0,003	0.0183	0.04336493	0,073645507	0,006813769
16	0.069	0,003	0.0207	0.04726027	0,072444866	0,008112501
17	0.075	0,003	0.0225	0.05	0,071596044	0,009123535
18	0.079	0,003	0.0237	0.05174672	0,071052996	0,009813834
19	0.085	0,003	0.0255	0.05425532	0,070270545	0,010872134
20	0.092	0,003	0.0276	0.05702479	0,069403272	0,012139229
21	0.049	0,008	0.0147	0.03693467	0,075611485	0,008140762
22	0.051	0,008	0.0153	0.0380597	0,075268955	0,008620663
23	0.028	0,008	0.0084	0.02359551	0,079626924	0,003623168
24	0.032	0,008	0.0096	0.02637363	0,078797545	0,004400726
25	0.036	0,008	0.0108	0.02903226	0,078000459	0,005220836
26	0.043	0,008	0.0129	0.03341969	0,076677766	0,006748087
27	0.048	0,008	0.0144	0.03636364	0,075785113	0,007903668
28	0.051	0,008	0.0153	0.0380597	0,075268955	0,008620663
29	0.05	0,009	0.015	0.0375	0,075439439	0,008888089
30	0.055	0,009	0.0165	0.0402439	0,07460221	0,01018495
31	0.019	0,009	0.0057	0.01686391	0,081621799	0,002177467
32	0.03	0,009	0.009	0.025	0,079208076	0,004249409
33	0.036	0,009	0.0108	0.02903226	0,078000459	0,005537533
34	0.04	0,009	0.012	0.03157895	0,077233811	0,006448773
35	0.047	0,009	0.0141	0.0357868	0,075960345	0,008133694
36	0.054	0,009	0.0162	0.03970588	0,074766658	0,009921771

Nota: Cálculo de caudal de Darcy

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

4.13. Tabla resumen Dacy

Tabla 25 Tabla resumen Darcy

Código	Tirante	A	So	F horton	Q Darcy
1	0.093	0.0279	0,001	0,069283172	0,007114654
2	0.097	0.0291	0,001	0,068811845	0,007542649
3	0.1	0.03	0,001	0,068467595	0,007867447
4	0.103	0.0309	0,001	0,068130983	0,00819539
5	0.1	0.03	0,002	0,068467595	0,011126251
6	0.102	0.0306	0,002	0,068242353	0,011434953
7	0.105	0.0315	0,002	0,067910696	0,011901622
8	0.058	0.0174	0,002	0,074117546	0,005178586
9	0.064	0.0192	0,002	0,073185612	0,005955409
10	0.07	0.021	0,002	0,072300436	0,006759688
11	0.079	0.0237	0,002	0,071052996	0,008012962
12	0.092	0.0276	0,002	0,069403272	0,009911639
13	0.05	0.015	0,003	0,075439439	0,005131541
14	0.057	0.0171	0,003	0,074277673	0,006187354
15	0.061	0.0183	0,003	0,073645507	0,006813769
16	0.069	0.0207	0,003	0,072444866	0,008112501
17	0.075	0.0225	0,003	0,071596044	0,009123535
18	0.079	0.0237	0,003	0,071052996	0,009813834
19	0.085	0.0255	0,003	0,070270545	0,010872134
20	0.092	0.0276	0,003	0,069403272	0,012139229
21	0.049	0.0147	0,008	0,075611485	0,008140762
22	0.051	0.0153	0,008	0,075268955	0,008620663
23	0.028	0.0084	0,008	0,079626924	0,003623168
24	0.032	0.0096	0,008	0,078797545	0,004400726
25	0.036	0.0108	0,008	0,078000459	0,005220836
26	0.043	0.0129	0,008	0,076677766	0,006748087
27	0.048	0.0144	0,008	0,075785113	0,007903668
28	0.051	0.0153	0,008	0,075268955	0,008620663
29	0.05	0.015	0,009	0,075439439	0,008888089
30	0.055	0.0165	0,009	0,07460221	0,01018495
31	0.019	0.0057	0,009	0,081621799	0,002177467
32	0.03	0.009	0,009	0,079208076	0,004249409
33	0.036	0.0108	0,009	0,078000459	0,005537533
34	0.04	0.012	0,009	0,077233811	0,006448773
35	0.047	0.0141	0,009	0,075960345	0,008133694
36	0.054	0.0162	0,009	0,074766658	0,009921771

Nota: Tabla resumen Darcy

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

4.14. Tabla resumen Números de Reynolds y Números de Froude

Tabla 26 Tabla resumen Números de Reynolds y Números de Froude

Código	Re	Froud
1	25948,78829	0,247723494
2	28002,69906	0,249783137
3	29444,44444	0,250122702
4	31016,68863	0,251333998
5	31388,88889	0,266640239
6	32352,29277	0,266265562
7	34586,05664	0,271814342
8	13287,92735	0,27917359
9	15900,83074	0,282282125
10	18750	0,286047141
11	21652,11063	0,269954937
12	27835,16988	0,270422813
13	12291,66667	0,334126175
14	14828,23403	0,321010918
15	17180,09479	0,33102293
16	19089,29477	0,298363406
17	21913,58025	0,297840031
18	24442,01844	0,304739047
19	27009,45626	0,298507736
20	30589,99082	0,297186307
21	37199,88833	1,047640527
22	39179,10448	1,028773925
23	17478,15231	1,34837036
24	21978,02198	1,327302073
25	25089,60573	1,223521252
26	30512,37766	1,082196654
27	34371,4927	1,003669777
28	39248,20343	1,030588341
29	39444,44444	1,07222411
30	41327,91328	0,951659741
31	11669,95398	1,856343681
32	21759,25926	1,478712828
33	25836,32019	1,259935575
34	30555,55556	1,232916148
35	34968,97913	1,059651853
36	41938,99782	0,996943243

Nota: Tabla resumen Números de Reynolds y Números de Froude

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

4.15. Tabla resumen comparación de caudales vs rugosidad

4.15.1. Comparativa rugosidad “n” vs Caudal Manning

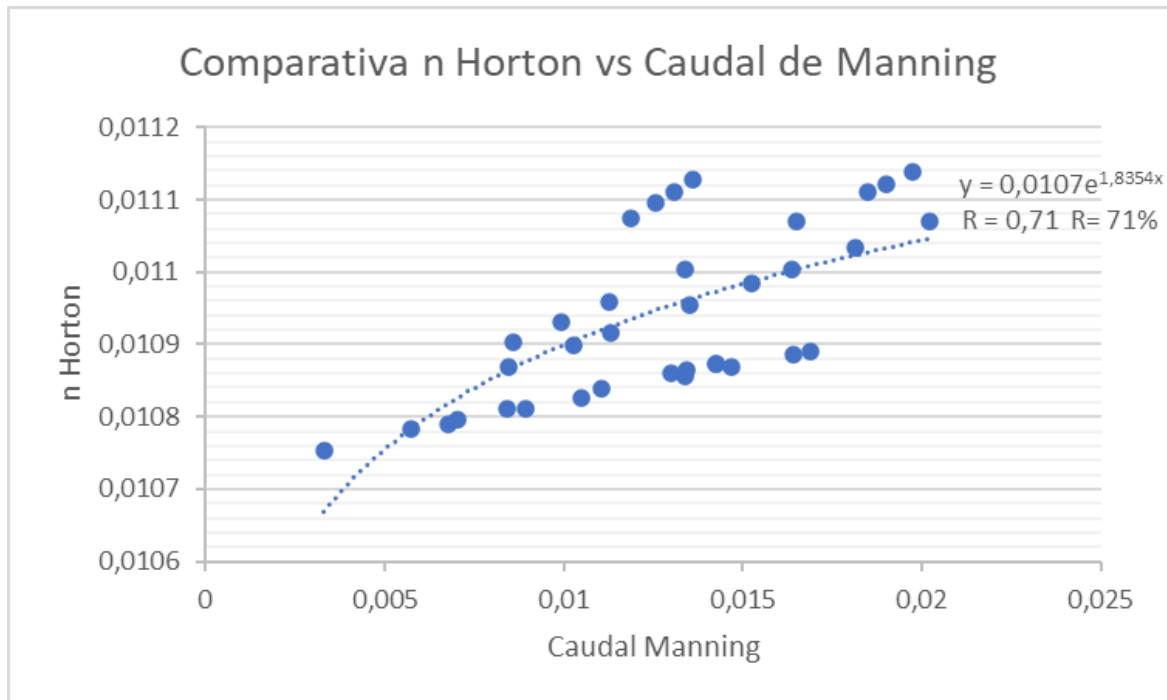
Tabla 27 Comparativa rugosidad “n” vs caudal de Manning del modelo teórico

Código	n Horton	Q manning
1	0,011075059	0,011855051
2	0,011095985	0,01255561
3	0,011111807	0,013084909
4	0,011127731	0,013617284
5	0,011111807	0,018504856
6	0,011122412	0,01900632
7	0,0111384	0,019761944
8	0,010903239	0,008599621
9	0,010930899	0,009917419
10	0,010959418	0,011275208
11	0,011003595	0,013375725
12	0,01106986	0,01651928
13	0,010867893	0,008469557
14	0,010898721	0,010268612
15	0,010916955	0,011332767
16	0,010954609	0,013528976
17	0,010983769	0,015227845
18	0,011003595	0,01638185
19	0,011033855	0,018141301
20	0,01106986	0,020231904
21	0,010863611	0,013422837
22	0,010872207	0,014241716
23	0,010782314	0,005732338
24	0,010796364	0,007046692
25	0,010811149	0,008440161
26	0,010838622	0,011044911
27	0,010859361	0,013018114
28	0,010872207	0,014241716
29	0,010867893	0,014669704
30	0,010889766	0,016880554
31	0,010753742	0,003306805
32	0,010789243	0,006766012
33	0,010811149	0,008952143
34	0,010826613	0,010505297
35	0,010855145	0,013381969
36	0,010885332	0,01643228

Nota: Comparativa rugosidad “n” vs caudal de Manning del modelo teórico

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

Figura 7. Comparativa gráfica caudal de Manning vs rugosidad “n”



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.15.2. Resultados del cálculo del caudal experimental y el caudal de Manning

Tabla 28 Calculo de caudal Experimental y el Caudal de Manning

Codigo	Q exp	Q manning	Porcentaje de aproximacion
1	0,012611111	0,011855051	94,00%
2	0,013833333	0,01255561	90,76%
3	0,014722222	0,013084909	88,88%
4	0,015694444	0,013617284	86,76%
5	0,015694444	0,018504856	117,91%
6	0,016305556	0,01900632	116,56%
7	0,017638889	0,019761944	112,04%
8	0,005527778	0,008599621	155,57%
9	0,006805556	0,009917419	145,73%
10	0,00825	0,011275208	136,67%
11	0,009916667	0,013375725	134,88%
12	0,013472222	0,01651928	122,62%
13	0,004916667	0,008469557	172,26%
14	0,006138889	0,010268612	167,27%
15	0,00725	0,011332767	156,31%
16	0,008361111	0,013528976	161,81%
17	0,009861111	0,015227845	154,42%
18	0,011194444	0,01638185	146,34%
19	0,012694444	0,018141301	142,91%
20	0,014805556	0,020231904	136,65%
21	0,014805556	0,013422837	90,66%
22	0,01575	0,014241716	90,42%
23	0,006222222	0,005732338	92,13%
24	0,008	0,007046692	88,08%
25	0,009333333	0,008440161	90,43%
26	0,011777778	0,011044911	93,78%
27	0,013611111	0,013018114	95,64%
28	0,015777778	0,014241716	90,26%
29	0,015777778	0,014669704	92,98%
30	0,016944444	0,016880554	99,62%
31	0,003944444	0,003306805	83,83%
32	0,007833333	0,006766012	86,37%
33	0,009611111	0,008952143	93,14%
34	0,011611111	0,010505297	90,48%
35	0,013777778	0,013381969	97,13%
36	0,017111111	0,01643228	96,03%

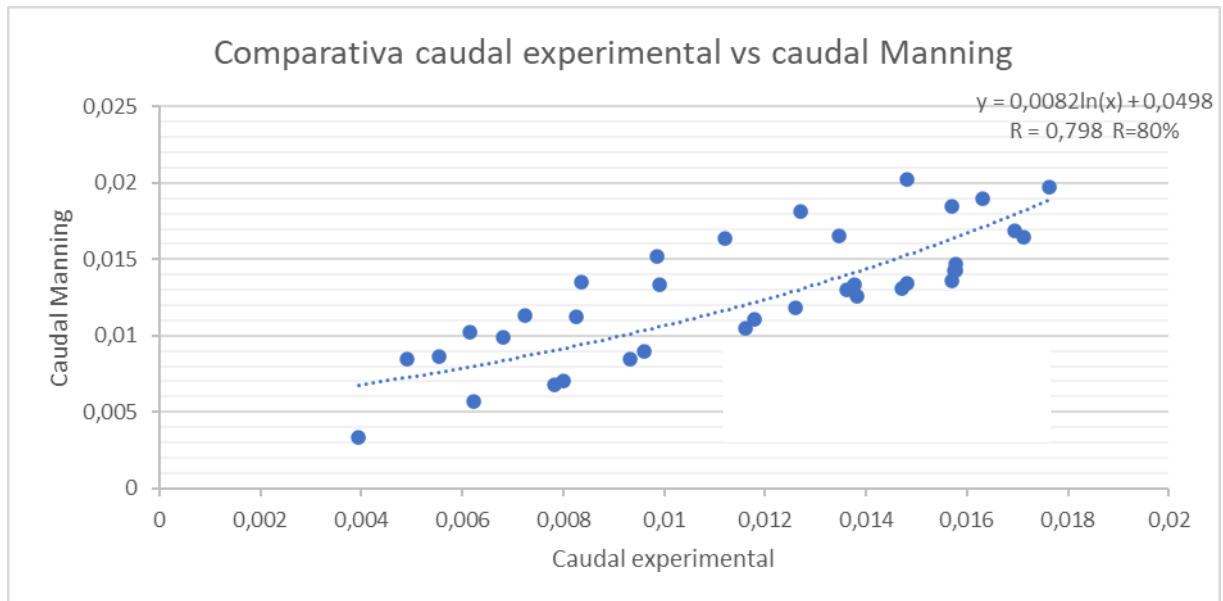
Nota: Calculo de caudal Experimental y el Caudal de Manning

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.16. Análisis de resultados

4.16.1. Comparativa entre el caudal experimental y el caudal de Manning

Figura 8. Comparativa gráfica caudal experimental y caudal de Manning



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

En dicha grafica muestra la tendencia lineal ascendente, en el cual se demuestra una relacion directa entre el caudal experimental y el caudal de Manning, en el cual demuestra que cuando aumenta el caudal medido experimentalmente, tambien aumenta el caudal en el cual se ha aplicado la formula de Manning.

En Manning el porcentaje de aproximación minimo es de 84% y el porcentaje de aproximación máximo es del 172%.

En resumidas cuentas, se logro verificar por medio de la grafica que el compara el caudal experimental con el caudal de Manning, que en el diseño de Manning esta varia según la rugosidad del revestimiento del canal a estudiar.

4.16.2. Comparativa rugosidad de chezy “c” vs caudal de chezy

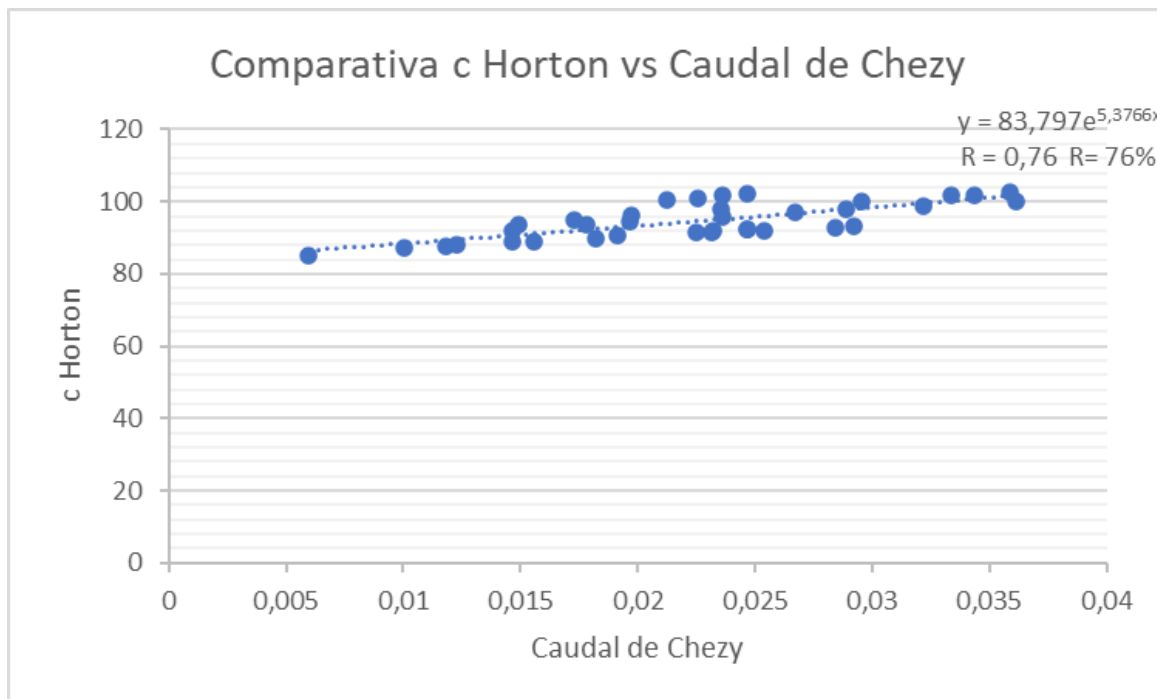
Tabla 29 Comparativa rugosidad “c” vs caudal de Chezy para el modelo teórico

Código	C Horton	Q chezy
1	100,3646889	0,021216274
2	101,0704398	0,022573566
3	101,5936673	0,023608235
4	102,1118148	0,024656899
5	101,5936673	0,033387086
6	101,9396561	0,034373601
7	102,4544826	0,035869614
8	93,74345328	0,014918775
9	94,94105154	0,017266289
10	96,11098037	0,01971926
11	97,81721349	0,023584141
12	100,186771	0,029530195
13	92,10078747	0,014653146
14	93,54105167	0,017805611
15	94,34580916	0,019692627
16	95,91784903	0,02364169
17	97,06586144	0,026748206
18	97,81721349	0,028884556
19	98,92421486	0,032182856
20	100,186771	0,036166955
21	91,89158416	0,023219625
22	92,30911069	0,024644141
23	87,27781802	0,010072628
24	88,19122602	0,012297775
25	89,08758315	0,014663118
26	90,61737185	0,019113815
27	91,68149183	0,022517637
28	92,30911069	0,024644141
29	92,10078747	0,025379993
30	93,1337767	0,029245729
31	85,15611622	0,00597986
32	87,73670151	0,011844455
33	89,08758315	0,015552585
34	89,9676274	0,018200679
35	91,47050139	0,023146369
36	92,92888716	0,028458659

Nota: Comparativa rugosidad “c” vs caudal de Chezy para el modelo teórico

Elaborado por: Salazar, Abraham (2023)

Figura 9. Comparativa gráfica caudal de Chezy vs rugosidad C Horton



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.16.3. Resultados del cálculo del caudal experimental y el caudal de Chezy

Tabla 30 Cálculo de caudal Experimental y el Caudal de Chezy

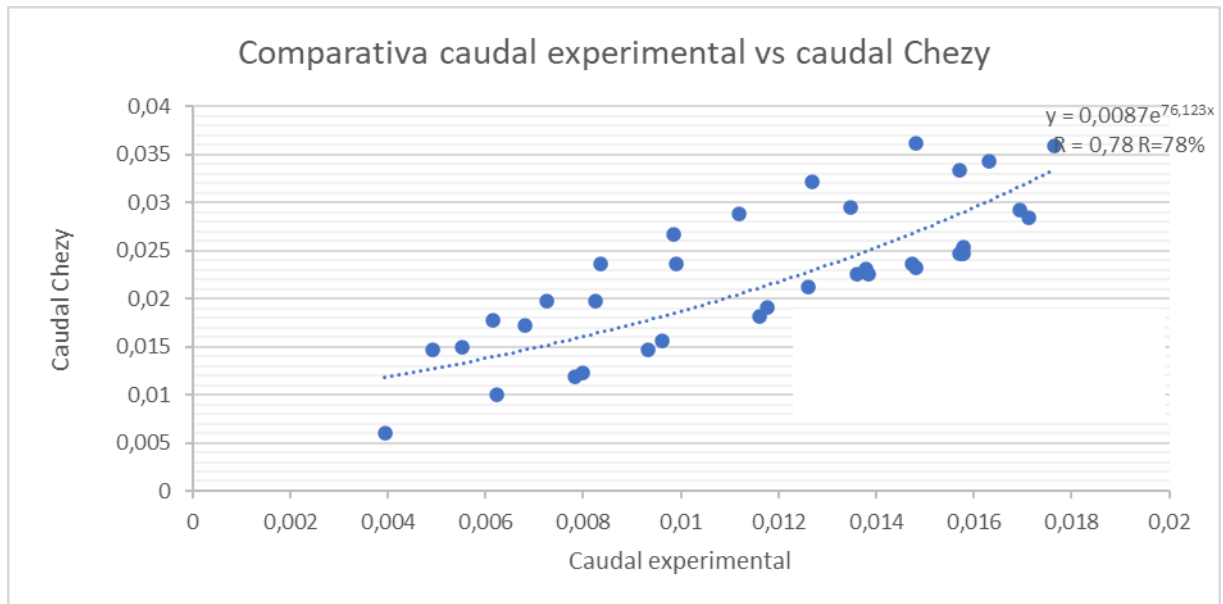
Código	Q exp	Q chezy	Porcentaje de aproximacion
1	0,012611111	0,021216274	168%
2	0,013833333	0,022573566	163%
3	0,014722222	0,023608235	160%
4	0,015694444	0,024656899	157%
5	0,015694444	0,033387086	213%
6	0,016305556	0,034373601	211%
7	0,017638889	0,035869614	203%
8	0,005527778	0,014918775	270%
9	0,006805556	0,017266289	254%
10	0,00825	0,01971926	239%
11	0,009916667	0,023584141	238%
12	0,013472222	0,029530195	219%
13	0,004916667	0,014653146	298%
14	0,006138889	0,017805611	290%
15	0,00725	0,019692627	272%
16	0,008361111	0,02364169	283%
17	0,009861111	0,026748206	271%
18	0,011194444	0,028884556	258%
19	0,012694444	0,032182856	254%
20	0,014805556	0,036166955	244%
21	0,014805556	0,023219625	157%
22	0,01575	0,024644141	156%
23	0,006222222	0,010072628	162%
24	0,008	0,012297775	154%
25	0,009333333	0,014663118	157%
26	0,011777778	0,019113815	162%
27	0,013611111	0,022517637	165%
28	0,015777778	0,024644141	156%
29	0,015777778	0,025379993	161%
30	0,016944444	0,029245729	173%
31	0,003944444	0,00597986	152%
32	0,007833333	0,011844455	151%
33	0,009611111	0,015552585	162%
34	0,011611111	0,018200679	157%
35	0,013777778	0,023146369	168%
36	0,017111111	0,028458659	166%

Nota: Cálculo de caudal Experimental y el Caudal de Chezy

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Comparativa entre el caudal experimental y el caudal de Chezy

Figura 10. Comparativa gráfica caudal experimental y caudal de Chezy



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

En dicha grafica muestra la tendencia lineal ascendente, en el cual se demuestra una relacion directa entre el caudal experimental y el caudal de Chezy, en el cual demuestra que cuando aumenta el caudal medido experimentalmente, tambien aumenta el caudal en el cual se ha aplicado la formula de Chezy.

En Chezy el porcentaje de aproximación minimo es de 151% y el porcentaje de aproximación máximo es del 298 %.

En conclusion, a diferencia de Manning, Chezy es independiente al material, es decir, que esta no depende de la rugosidad con la que este revestida el canal seleccionado.

4.16.4. Comparativa rugosidad de Darcy “f” vs caudal de Darcy

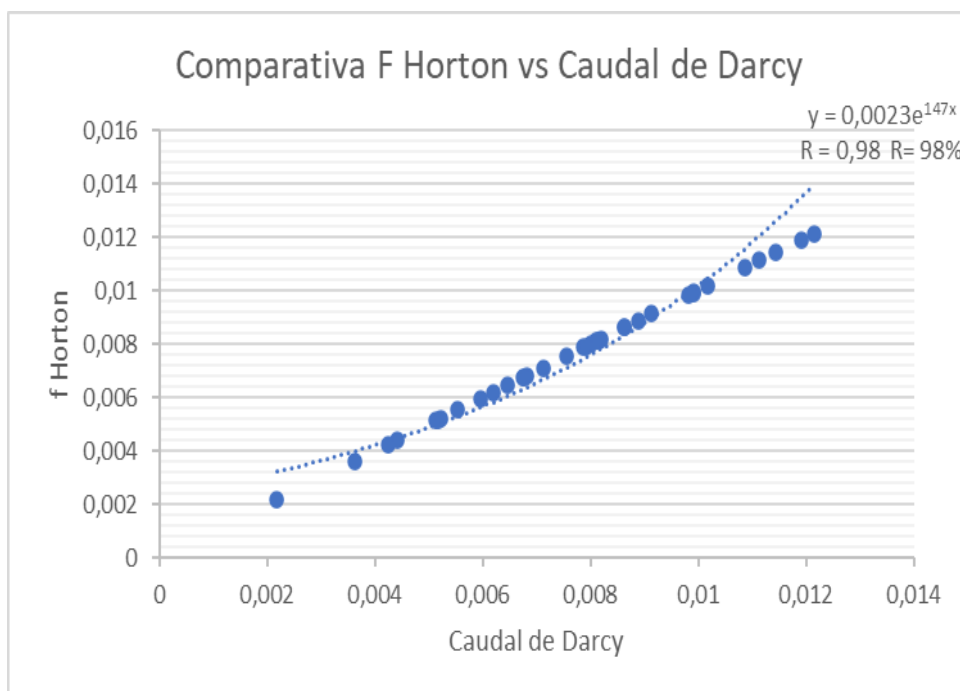
Tabla 31 Comparativa rugosidad “f” vs caudal de Darcy para el modelo teórico

Código	F Horton	Q darcy
1	0,069283172	0,007114654
2	0,068811845	0,007542649
3	0,068467595	0,007867447
4	0,068130983	0,00819539
5	0,068467595	0,011126251
6	0,068242353	0,011434953
7	0,067910696	0,011901622
8	0,074117546	0,005178586
9	0,073185612	0,005955409
10	0,072300436	0,006759688
11	0,071052996	0,008012962
12	0,069403272	0,009911639
13	0,075439439	0,005131541
14	0,074277673	0,006187354
15	0,073645507	0,006813769
16	0,072444866	0,008112501
17	0,071596044	0,009123535
18	0,071052996	0,009813834
19	0,070270545	0,010872134
20	0,069403272	0,012139229
21	0,075611485	0,008140762
22	0,075268955	0,008620663
23	0,079626924	0,003623168
24	0,078797545	0,004400726
25	0,078000459	0,005220836
26	0,076677766	0,006748087
27	0,075785113	0,007903668
28	0,075268955	0,008620663
29	0,075439439	0,008888089
30	0,07460221	0,01018495
31	0,081621799	0,002177467
32	0,079208076	0,004249409
33	0,078000459	0,005537533
34	0,077233811	0,006448773
35	0,075960345	0,008133694
36	0,074766658	0,009921771

Nota: Comparativa rugosidad “f” vs caudal de Darcy para el modelo teórico

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Figura 11. Comparativa gráfica caudal Darcy y rugosidad “f” Horton



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.16.5. Resultados del cálculo del caudal experimental y el caudal de Darcy

Tabla 32 Cálculo de caudal Experimental y el Caudal de Darcy

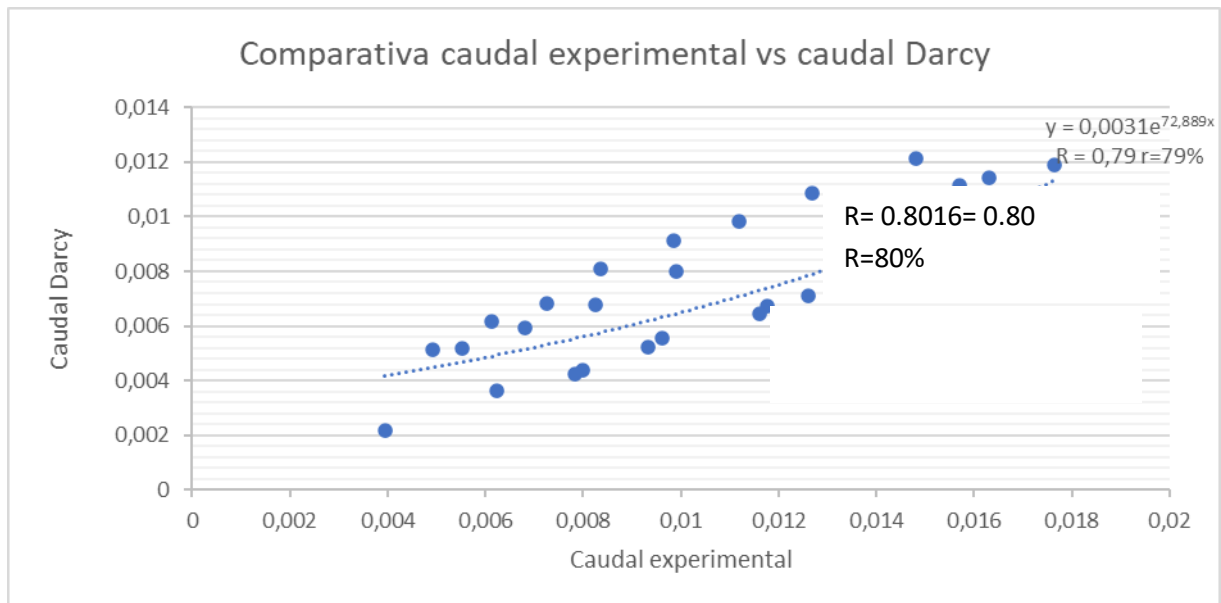
Código	Q exp	Q darcy	Porcentaje de aproximación
1	0,012611111	0,007114654	56%
2	0,013833333	0,007542649	55%
3	0,014722222	0,007867447	53%
4	0,015694444	0,00819539	52%
5	0,015694444	0,011126251	71%
6	0,016305556	0,011434953	70%
7	0,017638889	0,011901622	67%
8	0,005527778	0,005178586	94%
9	0,006805556	0,005955409	88%
10	0,00825	0,006759688	82%
11	0,009916667	0,008012962	81%
12	0,013472222	0,009911639	74%
13	0,004916667	0,005131541	104%
14	0,006138889	0,006187354	101%
15	0,00725	0,006813769	94%
16	0,008361111	0,008112501	97%
17	0,009861111	0,009123535	93%
18	0,011194444	0,009813834	88%
19	0,012694444	0,010872134	86%
20	0,014805556	0,012139229	82%
21	0,014805556	0,008140762	55%
22	0,01575	0,008620663	55%
23	0,006222222	0,003623168	58%
24	0,008	0,004400726	55%
25	0,009333333	0,005220836	56%
26	0,011777778	0,006748087	57%
27	0,013611111	0,007903668	58%
28	0,015777778	0,008620663	55%
29	0,015777778	0,008888089	56%
30	0,016944444	0,01018495	60%
31	0,003944444	0,002177467	55%
32	0,007833333	0,004249409	54%
33	0,009611111	0,005537533	58%
34	0,011611111	0,006448773	56%
35	0,013777778	0,008133694	59%
36	0,017111111	0,009921771	58%

Nota: Cálculo de caudal Experimental y el Caudal de Darcy

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.16.6. Comparativa entre el caudal experimental y el caudal de Darcy

Figura 12. Comparativa gráfica caudal experimental y caudal de Darcy



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

En Darcy el porcentaje de aproximación mínimo es de 52% y el porcentaje de aproximación máximo es del 104 %.

Entre el caudal experimental y el caudal de Darcy se demuestra una dispersión aleatoria, evidenciando que entre ambos caudales existe una relación que no marca una tendencia clara.

En base a este estudio, se puede concluir que tanto Darcy como Chezy es independiente al material que este revestido los canales, es decir, que estas son independientes a la rugosidad.

4.17. Tabla resumen comparación de caudal experimental, caudal de Manning, de Chezy, de Darcy

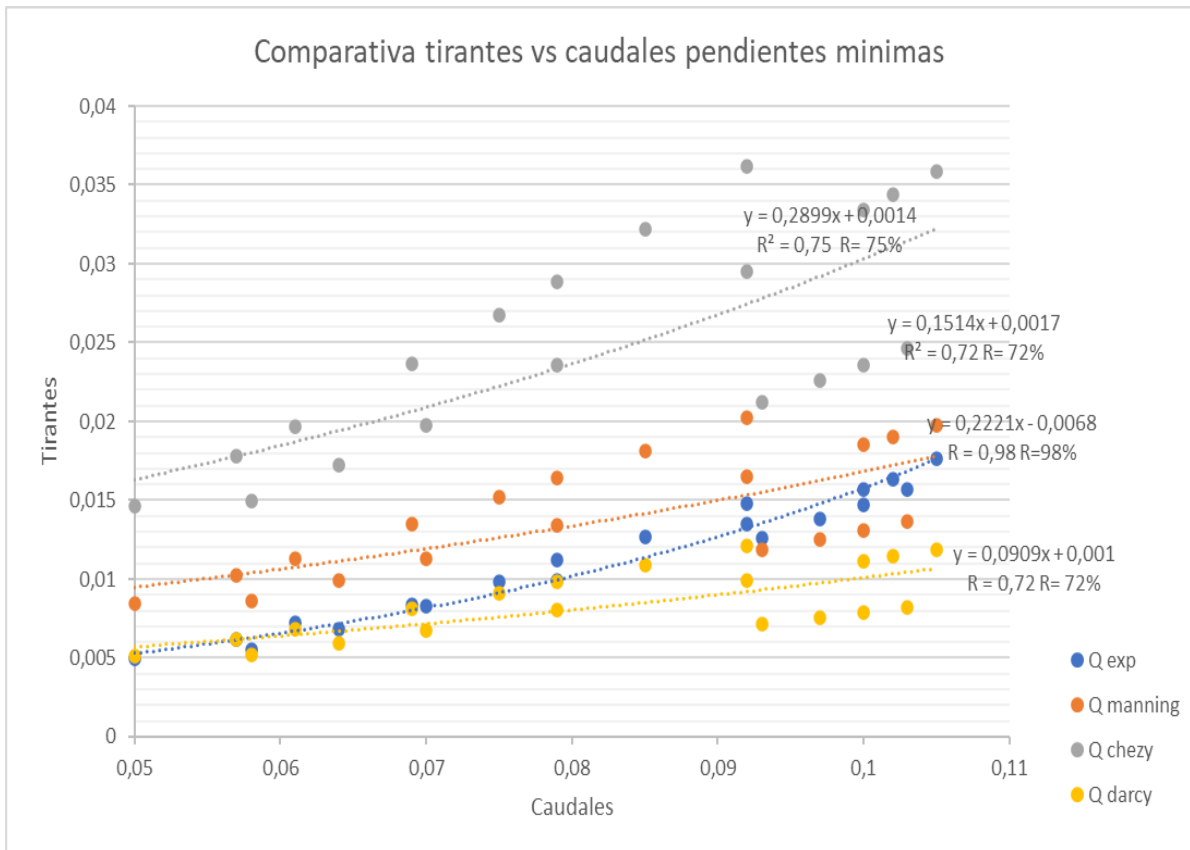
Tabla 33 Tabla resumen comparación de caudal experimental, de Manning, de Chezy y de Darcy

Código	TIRANTE	Q exp	Q manning	% aproximación Manning	Q chezy	% aproximación Chezy	Q Darcy	% aproximación Darcy
1	0.093	0,01261111	0,01185505	94,00%	0,02121627	168%	0,00711465	56%
2	0.097	0,01383333	0,01255561	90,76%	0,02257357	163%	0,00754265	55%
3	0.1	0,01472222	0,01308491	88,88%	0,02360824	160%	0,00786745	53%
4	0.103	0,01569444	0,01361728	86,76%	0,0246569	157%	0,00819539	52%
5	0.1	0,01569444	0,01850486	117,91%	0,03338709	213%	0,01112625	71%
6	0.102	0,01630556	0,01900632	116,56%	0,0343736	211%	0,01143495	70%
7	0.105	0,01763889	0,01976194	112,04%	0,03586961	203%	0,01190162	67%
8	0.058	0,00552778	0,00859962	155,57%	0,01491878	270%	0,00517859	94%
9	0.064	0,00680556	0,00991742	145,73%	0,01726629	254%	0,00595541	88%
10	0.07	0,00825	0,01127521	136,67%	0,01971926	239%	0,00675969	82%
11	0.079	0,00991667	0,01337573	134,88%	0,02358414	238%	0,00801296	81%
12	0.092	0,01347222	0,01651928	122,62%	0,0295302	219%	0,00991164	74%
13	0.05	0,00491667	0,00846956	172,26%	0,01465315	298%	0,00513154	104%
14	0.057	0,00613889	0,01026861	167,27%	0,01780561	290%	0,00618735	101%
15	0.061	0,00725	0,01133277	156,31%	0,01969263	272%	0,00681377	94%
16	0.069	0,00836111	0,01352898	161,81%	0,02364169	283%	0,0081125	97%
17	0.075	0,00986111	0,01522785	154,42%	0,02674821	271%	0,00912354	93%
18	0.079	0,01119444	0,01638185	146,34%	0,02888456	258%	0,00981383	88%
19	0.085	0,01269444	0,0181413	142,91%	0,03218286	254%	0,01087213	86%
20	0.092	0,01480556	0,0202319	136,65%	0,03616696	244%	0,01213923	82%
21	0.049	0,01480556	0,01342284	90,66%	0,02321963	157%	0,00814076	55%
22	0.051	0,01575	0,01424172	90,42%	0,02464414	156%	0,00862066	55%
23	0.028	0,00622222	0,00573234	92,13%	0,01007263	162%	0,00362317	58%
24	0.032	0,008	0,00704669	88,08%	0,01229778	154%	0,00440073	55%
25	0.036	0,00933333	0,00844016	90,43%	0,01466312	157%	0,00522084	56%
26	0.043	0,01177778	0,01104491	93,78%	0,01911382	162%	0,00674809	57%
27	0.048	0,01361111	0,01301811	95,64%	0,02251764	165%	0,00790367	58%
28	0.051	0,01577778	0,01424172	90,26%	0,02464414	156%	0,00862066	55%
29	0.05	0,01577778	0,0146697	92,98%	0,02537999	161%	0,00888809	56%
30	0.055	0,01694444	0,01688055	99,62%	0,02924573	173%	0,01018495	60%
31	0.019	0,00394444	0,00330681	83,83%	0,00597986	152%	0,00217747	55%
32	0.03	0,00783333	0,00676601	86,37%	0,01184446	151%	0,00424941	54%
33	0.036	0,00961111	0,00895214	93,14%	0,01555259	162%	0,00553753	58%
34	0.04	0,01161111	0,0105053	90,48%	0,01820068	157%	0,00644877	56%
35	0.047	0,01377778	0,01338197	97,13%	0,02314637	168%	0,00813369	59%
36	0.054	0,01711111	0,01643228	96,03%	0,02845866	166%	0,00992177	58%

Nota: Tabla resumen comparación de caudal experimental, de Manning, de Chezy y de Darcy

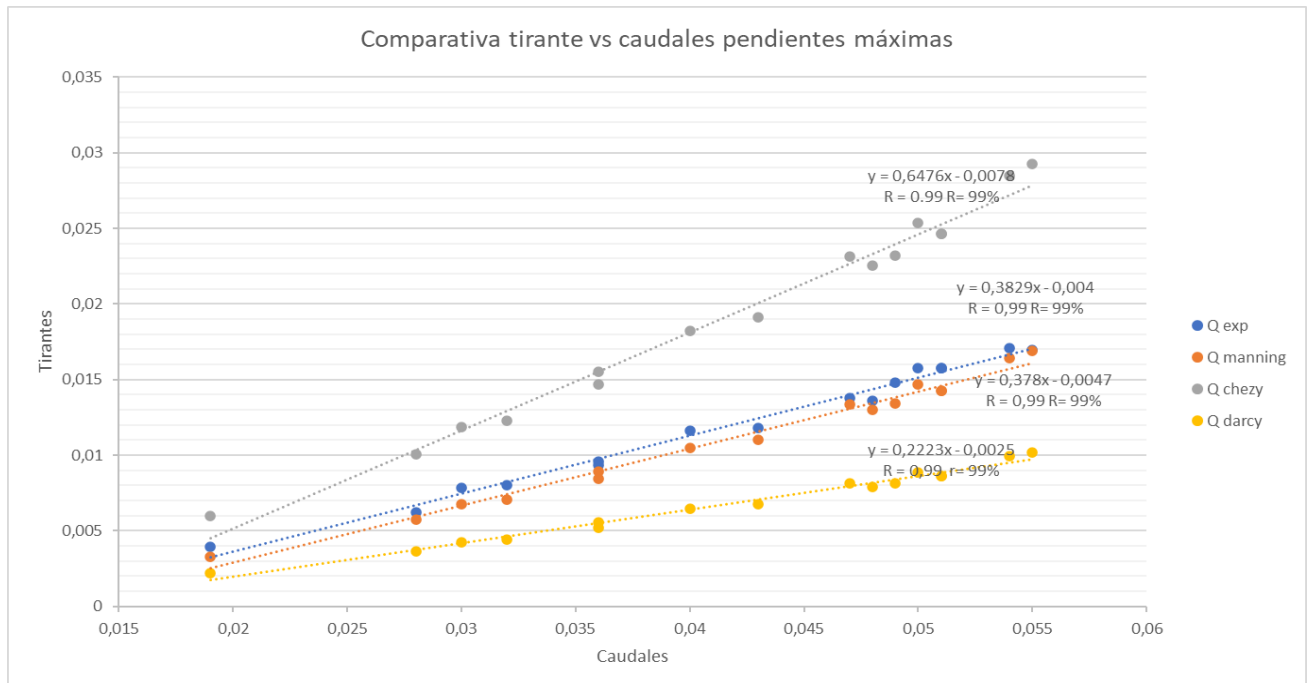
Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Figura 13. Comparativa gráfica caudales vs tirantes según las pendientes mínimas



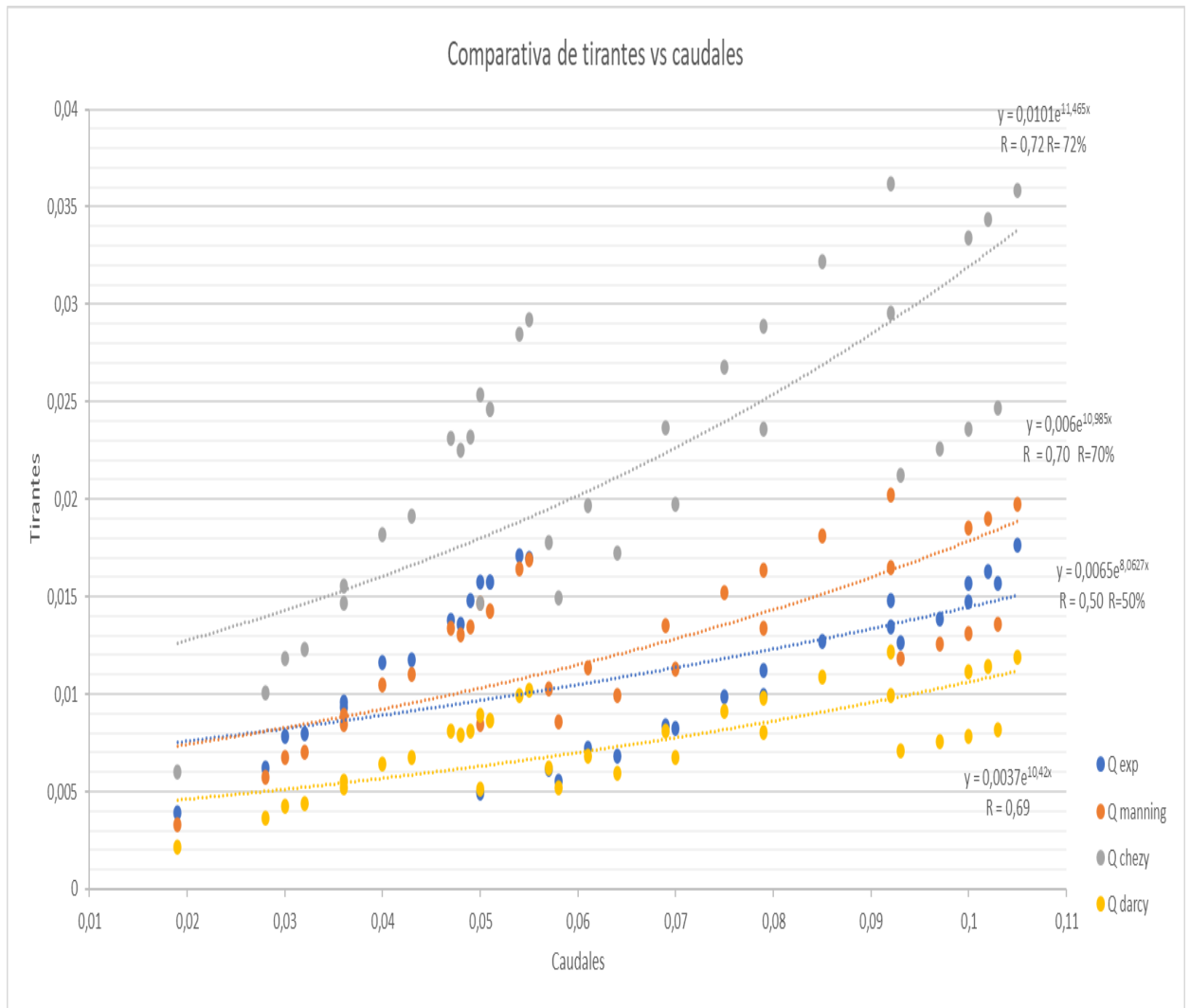
Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Figura 14. Comparativa gráfica caudales vs tirantes según las pendientes máximas



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Figura 15. Comparativa gráfica caudales vs tirantes



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

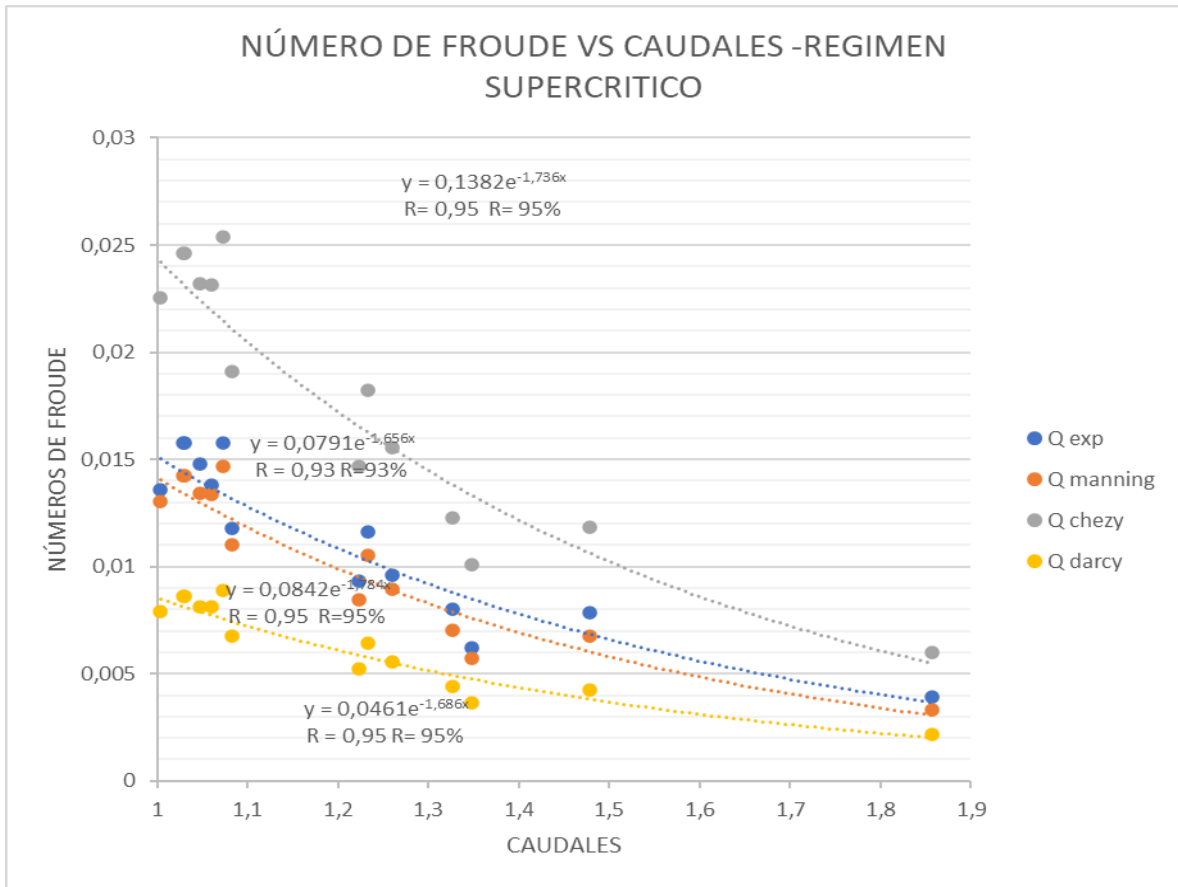
Tabla 34 Tabla resumen comparación de caudales vs número de Froude

Código	Q exp	Q manning	Q chezy	Q Darcy	Número de Froude	Régimen
1	0,01261111	0,01185505	0,02121627	0,00711465	0,24772349	Subcritico
2	0,01383333	0,01255561	0,02257357	0,00754265	0,24978314	Subcritico
3	0,01472222	0,01308491	0,02360823	0,00786745	0,2501227	Subcritico
4	0,01569444	0,01361728	0,0246569	0,00819539	0,251334	Subcritico
5	0,01569444	0,01850486	0,03338709	0,01112625	0,26664024	Subcritico
6	0,01630556	0,01900632	0,0343736	0,01143495	0,26626556	Subcritico
7	0,01763889	0,01976194	0,03586961	0,01190162	0,27181434	Subcritico
8	0,00552778	0,00859962	0,01491877	0,00517859	0,27917359	Subcritico
9	0,00680556	0,00991742	0,01726629	0,00595541	0,28228212	Subcritico
10	0,00825	0,01127521	0,01971926	0,00675969	0,28604714	Subcritico
11	0,00991667	0,01337572	0,02358414	0,00801296	0,26995494	Subcritico
12	0,01347222	0,01651928	0,0295302	0,00991164	0,27042281	Subcritico
13	0,00491667	0,00846956	0,01465315	0,00513154	0,33412618	Subcritico
14	0,00613889	0,01026861	0,01780561	0,00618735	0,32101092	Subcritico
15	0,00725	0,01133277	0,01969263	0,00681377	0,33102293	Subcritico
16	0,00836111	0,01352898	0,02364169	0,0081125	0,29836341	Subcritico
17	0,00986111	0,01522784	0,02674821	0,00912353	0,29784003	Subcritico
18	0,01119444	0,01638185	0,02888456	0,00981383	0,30473905	Subcritico
19	0,01269444	0,0181413	0,03218286	0,01087213	0,29850774	Subcritico
20	0,01480556	0,0202319	0,03616696	0,01213923	0,29718631	Subcritico
21	0,01480556	0,01342284	0,02321962	0,00814076	1,04764053	Subcritico
22	0,01575	0,01424172	0,02464414	0,00862066	1,02877392	Supercritico
23	0,00622222	0,00573234	0,01007263	0,00362317	1,34837036	Supercritico
24	0,008	0,00704669	0,01229777	0,00440073	1,32730207	Supercritico
25	0,00933333	0,00844016	0,01466312	0,00522084	1,22352125	Supercritico
26	0,01177778	0,01104491	0,01911381	0,00674809	1,08219665	Supercritico
27	0,01361111	0,01301811	0,02251764	0,00790367	1,00366978	Supercritico
28	0,01577778	0,01424172	0,02464414	0,00862066	1,03058834	Supercritico
29	0,01577778	0,0146697	0,02537999	0,00888809	1,07222411	Supercritico
30	0,01694444	0,01688055	0,02924573	0,01018495	0,95165974	Supercritico
31	0,00394444	0,00330681	0,00597986	0,00217747	1,85634368	Subcritico
32	0,00783333	0,00676601	0,01184445	0,00424941	1,47871283	Supercritico
33	0,00961111	0,00895214	0,01555259	0,00553753	1,25993558	Supercritico
34	0,01161111	0,0105053	0,01820068	0,00644877	1,23291615	Supercritico
35	0,01377778	0,01338197	0,02314637	0,00813369	1,05965185	Supercritico
36	0,01711111	0,01643228	0,02845866	0,00992177	0,99694324	Supercritico

Nota: Tabla resumen comparación de caudales vs número de Froude

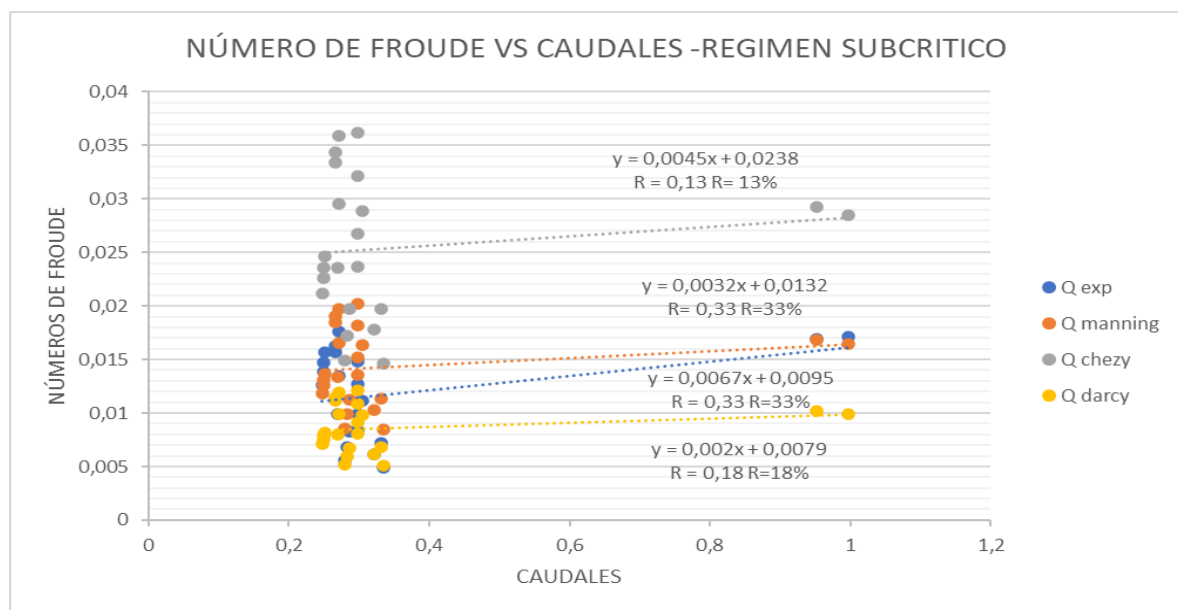
Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Figura 16. Comparativa gráfica caudales vs número de Froude según régimen supercrítico



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

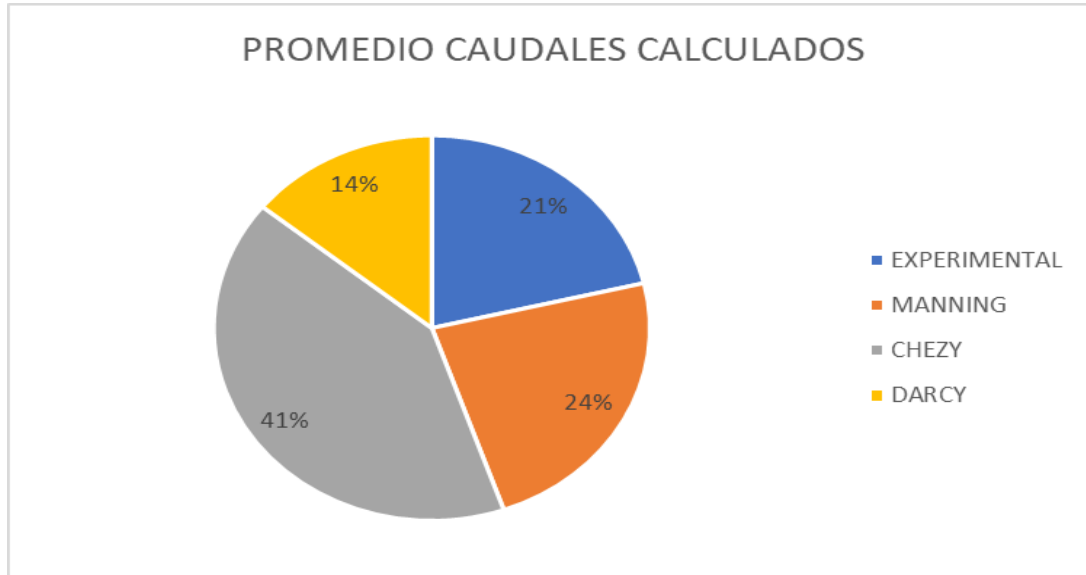
Figura 17. Comparativa gráfica caudales vs número de Froude según régimen subcrítico



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

4.17.1. Análisis del impacto técnico y económico

Figura 18. Promedio de los caudales calculados



Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

La evaluación del impacto técnico y económico del proyecto de investigación, resulta ser una herramienta fundamental para mejorar la precisión y eficacia del análisis del comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado, requiere de un detallado análisis de cada forma en función a las características del canal hidráulico.

El impacto técnico de realizar el análisis del comportamiento del flujo en base a la comparación del caudal experimental y los caudales de Manning, Chezy y Darcy en un en base a los sistemas de alcantarillado, puede mejorar la eficiencia y seguridad del sistema y prevenir posibles problemas en el futuro. Además de que permite la identificación de problemas de capacidad hidráulica debido a que la precisión de los resultados obtenidos puede verse afectado por diversos factores tales como la rugosidad del canal y la precisión del coeficiente de rugosidad utilizado.

El impacto económico de realizar la comparación del caudal experimental con los caudales de Chezy, Manning y Darcy en base a las rugosidades determinadas permite analizar el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado, lo cual puede resultar en ahorros significativos que permitan la optimización del diseño del canal, la reducción de costos operativos, costos de mantenimientos, además de poder identificar problemas de capacidad hidráulica para la mitigación de costos asociados a daños a la infraestructura

que se resumen en pérdidas económicas. Sin embargo, como desventaja se pudo identificar las limitaciones de las ecuaciones las cuales cada una de estas poseen limitantes de diseño.

Tabla 35 Promedio del cálculo del caudal experimental, caudal de Manning, caudal de Chezy y caudal de Darcy

CAUDAL EXPERIMENTAL	CAUDAL DE MANNING	CAUDAL DE CHEZY	CAUDAL DE DARCY
0,011599537	0,012770536	0,022485022	0,00772265

Nota: Tabla resumen comparación de caudales vs número de Froude Nota: Tabla resumen comparación de caudales vs número de Froude

Elaborado por: Salazar, Abrahan (2023)

Se pudo demostrar que, en Manning, el caudal de Manning depende de la rugosidad, por lo tanto, requiere un análisis detallado de las características que posea el canal las cuales dichos factores pueden ser: vegetación, el tipo de material con el que este revestido el canal, entre otros. En Chezy como en Darcy, son independientes a la rugosidad del material que se encuentre revestido en el canal.

4.18. Propuesta

Mediante la presentación de un artículo científico, en el cual se exprese una guía académica para el análisis hidráulico del flujo en canales abiertos el cual constara de la siguiente parte:

Introducción: Se detallará el objetivo general de la guía y una breve descripción de las teorías que corresponden al flujo en canales abiertos.

Fórmula de Manning: Se describirá la importancia de la utilización de la fórmula de Manning con su respectiva fórmula y sus derivados. Es de agregar, que la fórmula de Manning se debe especificar su puntual aplicación en el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos. Se ejemplificará la utilización de la fórmula para el cálculo de velocidades de agua en diferentes condiciones.

Fórmula de Chezy: Definición teórica y práctica de la fórmula de Chezy con sus respectivos componentes; se describirá la aplicación del cálculo de velocidades en canales abiertos con superficie libre. Se detallará un ejemplo práctico de cómo utilizar la fórmula de Chezy.

Fórmula de Darcy: Descripción de la fórmula de Darcy, y la demostración de la ecuación. Se detallará un ejemplo práctico de cómo utilizar la fórmula de Darcy para calcular la pérdida de carga en diferentes situaciones.

Comparación de los caudales: Se realizará la comparación de las ecuaciones de Manning, Chezy y Darcy por medio de gráficas.

Ejemplos de aplicación: Se detallará la aplicación de las ecuaciones ya mencionadas en situaciones experimentales, utilizando como ejemplificación el canal hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

Finalizado con una breve explicación sobre el impacto técnico y económico que conlleva realizar la comparación del caudal experimental con los caudales de Chezy, Manning y Darcy en base a las rugosidades determinadas, con la finalidad de analizar el comportamiento del flujo en sistemas de alcantarillado.

CONCLUSIONES

1. Se recopiló y se logró procesar los datos hidráulicos obtenidos por observación directa del canal de laboratorio de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte.
2. Calcular los caudales utilizando las fórmulas de Chezy, Darcy y Manning, en base a los coeficientes de rugosidad obtenidos a partir de los datos hidráulicos recolectados en el laboratorio, y comparar estos caudales con el caudal experimental, en el cual se llegó a la conclusión que en el Diseño de Manning dependen del material del revestimiento del canal; sin embargo, en los caudales de Chezy y Manning no depende del material que este recubierto el canal.
3. Se determinó que el análisis del comportamiento del flujo en base a las rugosidades obtenidas para el cálculo de los caudales experimentales, de Chezy, Manning y Darcy permiten mejorar la eficiencia y seguridad del sistema para prevenir posibles problemas de infraestructura que puedan afectar los sistemas de alcantarillado.
4. Se determinó que el análisis del comportamiento del flujo en base a las rugosidades obtenidas para el cálculo de los caudales experimentales, de Chezy, Manning y Darcy para su posterior comparación entre estas, demostró que en el impacto económico representan ser ventajosos debido a la reducción de costos operativos, costos de mantenimientos, e identificación de posibles daños futuros que se resumen en pérdidas económicas.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar el método de observación directa para la determinación de los datos hidráulicos del canal, el cual se debe recibir asesoría del tutor encargado del laboratorio.

Realizar una tabla de Excel organizada que permita gestionar de forma adecuada las fórmulas que nos permitan el cálculo de los caudales.

Al momento de realizar el estudio del comportamiento del flujo tomar en consideración que en Manning influye significativamente el material con el que se está trabajando, a diferencia de Chezy y Darcy que son independientes a la rugosidad.

Es necesario identificar las limitantes de cada ecuación tales como: Manning, Chezy y Darcy, dichas limitaciones inherentes pueden afectar la precisión de los resultados obtenidos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, j., Covinos, M., & Cáceres, M. (2020). *Formulación de los objetivos específicos desde el alcance correlacional en trabajos de investigación*. Obtenido de *Formulación de los objetivos específicos desde el alcance correlacional en trabajos de investigación*: <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/73/46>
- Avellanada, E. (2020). *Características Generales Del Flujo A Superficie Libre*. Obtenido de *Características Generales Del Flujo A Superficie Libre*: <https://idoc.pub/documents/idocpub-8x4e0ogww9n3>
- Baca, B. (2019). *ESTUDIO DE LA FUERZA ESPECÍFICA, ENERGÍA ESPECÍFICA Y FLUJO CRÍTICO EN CANALES ABIERTOS*. Obtenido de *ESTUDIO DE LA FUERZA ESPECÍFICA, ENERGÍA ESPECÍFICA Y FLUJO CRÍTICO EN CANALES ABIERTOS*: <https://core.ac.uk/download/pdf/326018539.pdf>
- Basile, P. (2019). http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/23806/Basile-PA_MFA_U5_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Obtenido de http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/23806/Basile-PA_MFA_U5_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y: http://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/23806/Basile-PA_MFA_U5_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Cadavid, J. H. (2020). *Hidráulica de canales: fundamentos. Universidad Eafit*. Obtenido de *Hidráulica de canales: fundamentos. Universidad Eafit*.: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=3gqME66cnhwC&oi=fnd&pg=PA2&dq=CALCULO+DE+FLUJO+EN+CANALES&ots=DhDKIRt2g0&sig=6ybJFZv5Yofc_VdYzS1uN8Q9DYI#v=onepage&q=CALCULO%20DE%20FLUJO%20EN%20CANALES&f=false
- Cadavir, J. (2020). *Hidráulica de canales: fundamentos. Universidad Eafit*. Obtenido de *Hidráulica de canales: fundamentos. Universidad Eafit*.: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=3gqME66cnhwC&oi=fnd&pg=PA2&dq=tipos+de+canales+transversales+hidraulica&ots=DhEBgSw4g0&sig=xcbISctP7vEY5P1vG61nDaqspTQ#v=onepage&q=tipos%20de%20canales%20transversales%20hidraulica&f=false>
- Calero, L., & Calero, M. (2018). Modelación del factor hidráulico de sección para diseñar canales regulares. *revista científica YACHANA*, 1.
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Estalin, Q., & Henry, S. (2023). “DISEÑO DE UN CANAL HIDRÁULICO DE PENDIENTE VARIABLE”. Obtenido de “DISEÑO DE UN CANAL

HIDRAÚLICO DE PENDIENTE VARIABLE”.:
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10345/1/PI-002426.pdf>

Estrada, M. (2021). *Análisis hidrodinámico del flujo uniforme a superficie libre*. Obtenido de Análisis hidrodinámico del flujo uniforme a superficie libre: http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/6945/1/MART%c3%8dN%20ESTRADA%20VACA_Tesis24.pdf

Física, L. p. (2020). *Ecuación de Darcy - Weisbach*. Obtenido de Ecuación de Darcy - Weisbach: <https://www.youtube.com/watch?v=gYdc7GIkvnw>

Gallardo Armijos, P. (2018). *Diseño de canales abiertos*. Alicante: Área de innovación y desarrollo, S.L.

Gallardo, P. (2018). *Diseño de canales abiertos*. https://play.google.com/books/reader?id=ERltDwAAQBAJ&pg=GBS.PA1&hl=es_419.

Gonzalez, Santiago, & Muñoz. (2019). *Estudio de rugosidad para diferentes materiales de fondo en canales rectangulares*. Obtenido de Estudio de rugosidad para diferentes materiales de fondo en canales rectangulares.: https://www.researchgate.net/profile/Cesar-Santiago/publication/338565849_Estudio_de_rugosidad_para_diferentes_materiales_de_fondo_en_canales_rectangulares_G2/links/5e1d0e8492851c8364cbc69b/Estudio-de-rugosidad-para-diferentes-materiales-de-fondo-en-canal

Gunt-Hamburg. (2023). *HM 162 Canal de ensayo 309x450mm*. Obtenido de HM 162 Canal de ensayo 309x450mm: <https://www.gunt.de/es/productos/canal-de-ensayo-309x450mm/070.16200/hm162/glct-1:pa-150:pr-675>

Gutierrez, L. (2021). “*Mejoramiento hidráulico de un canal de riego aplicando revestimiento de concreto, Cospán, Cajamarca, 2021*”. Obtenido de “Mejoramiento hidráulico de un canal de riego aplicando revestimiento de concreto, Cospán, Cajamarca, 2021”: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74456>

Jiménez García, F. A. (Noviembre de 2005). Modelo de diseño de sistemas urbanos de alcantarillado pluvial, con una aplicación en MS Excel. Costa Rica.

Maya, L. (2021). *CALCULO DE AREA HIDRAULICA, PERIMETRO MOJADO Y RADIO HIDRAULICO EN CANALES RECTANGULARES, TRAPEZOIDA*. Obtenido de CALCULO DE AREA HIDRAULICA, PERIMETRO MOJADO Y RADIO HIDRAULICO EN CANALES RECTANGULARES, TRAPEZOIDA: <https://www.youtube.com/watch?v=nQJ09116H9w>

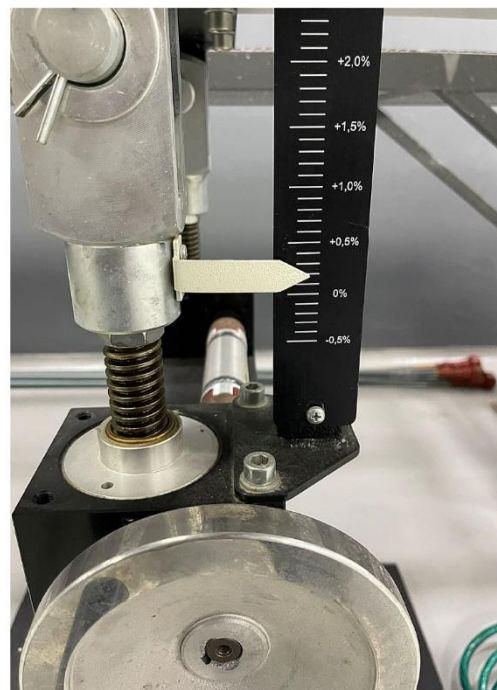
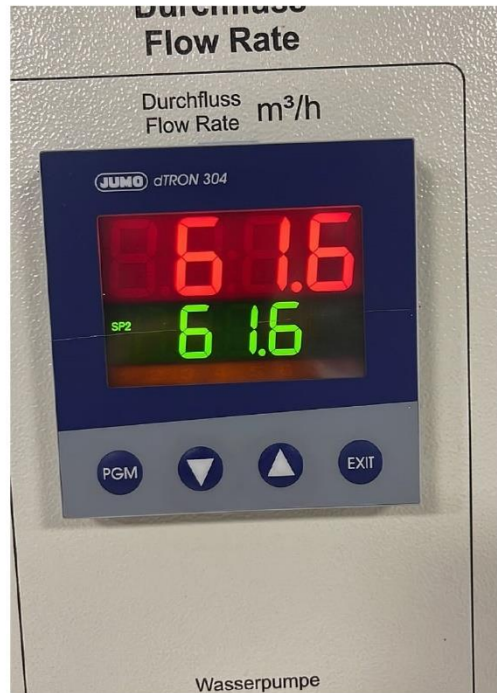
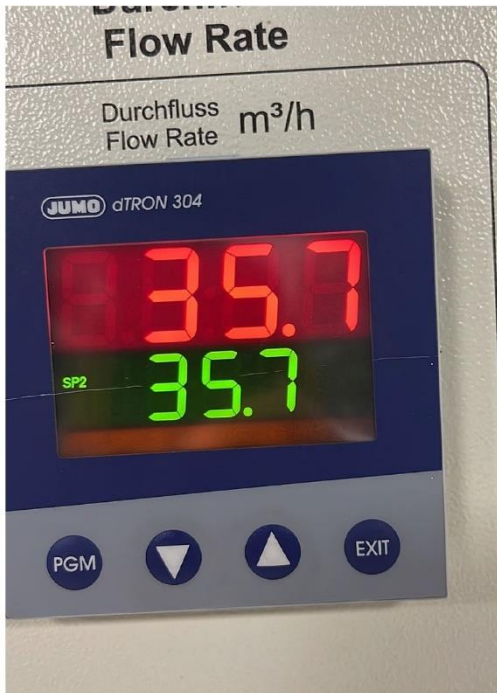
Navarro, L. (2022). *Canales trapezoidales* . Obtenido de Canales trapezoidales : <https://idoc.pub/documents/canales-trapezoidales-on2g618e1340>

- Pacco, C., & Rosas, J. (2022). *Evaluación de las secciones trapezoidal y triangular en el mejoramiento hidráulico de un canal rectangular del Gallito, Moquegua 2022*. Obtenido de Evaluación de las secciones trapezoidal y triangular en el mejoramiento hidráulico de un canal rectangular del Gallito, Moquegua 2022 : https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/90925/Pacco_LCD-Rosas_GJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Palomino, A. (2021). *Comportamiento hidráulico de flujos en canales de riego por cambios de rugosidad en zonas Altoandinas, Canal de Huajaqui, Anta, Cusco 2021*. Obtenido de Comportamiento hidráulico de flujos en canales de riego por cambios de rugosidad en zonas Altoandinas, Canal de Huajaqui, Anta, Cusco 2021 : https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/92874/Palomino_OA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pelaez, J. (2019). *ESTUDIO DE UN CANAL TRIANGULAR CON MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA, PAREDES Y LOSA DE HORMIGÓN, LONGITUD 700M DESTINADO PARA RIEGOUNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL*. Obtenido de ESTUDIO DE UN CANAL TRIANGULAR CON MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA, PAREDES Y LOSA DE HORMIGÓN, LONGITUD 700M DESTINADO PARA RIEGOUNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12667/1/E-10358_PELAEZ%20YANZA%20JORGE%20FERNANDO.pdf
- Pérez Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: Ecoec Ediciones.
- Rivadeneira, T., & Vásquez, J. (2023). *Modelación del alcantarillado ubicado entre los ríos Yanuncay, Tarqui y Av. de las Américas, Cuenca, Azuay*. Obtenido de Modelación del alcantarillado ubicado entre los ríos Yanuncay, Tarqui y Av. de las Américas, Cuenca, Azuay.: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13386>
- Rivas, J. (s.f.). <https://www.youtube.com/watch?v=074h68M5X58>. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=074h68M5X58>: <https://www.youtube.com/watch?v=074h68M5X58>
- Rivera, M. (2021). *PRACTICA 3 Determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning en un canal rectangular*. Obtenido de PRACTICA 3 Determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning en un canal rectangular: <https://www.youtube.com/watch?v=LV64gEV0hgw>
- Rodriguez, S. (2021). DOCUMENTO GUÍA SOBRE ADQUISICIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE PROYECTOS DE PARCELACIÓN URBANÍSTICA, CON ÉNFASIS EN EL DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO. *Universidad de Antioquia*, 8.

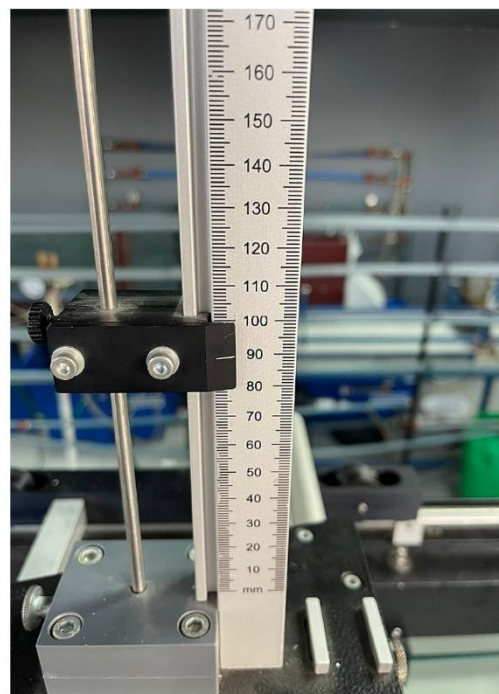
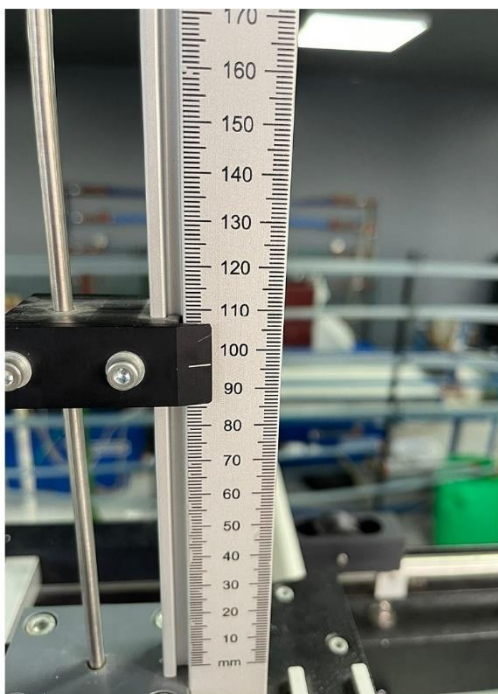
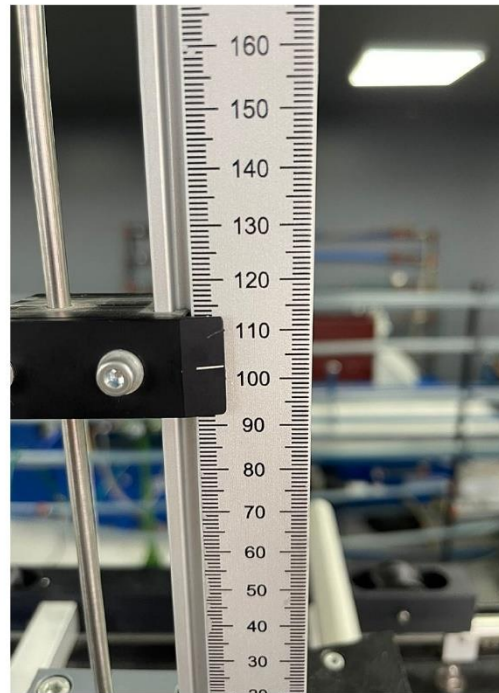
- Ruiz, P. R. (2008). *Hidráulica de canales*. Oaxaca.
- Sinche, D. (2018). “*Comportamiento hidráulico de flujos en canales abiertos para ubicar fallas - canal de San Lorenzo - Jauja, 2017*”. Obtenido de “Comportamiento hidráulico de flujos en canales abiertos para ubicar fallas - canal de San Lorenzo - Jauja, 2017: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5048>
- TE CHOW, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá: Mc-GRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.
- Tinoco, J. (2019). *Canales de seccion circularr* . Obtenido de Canales de seccion circularr : <https://idoc.pub/documents/idocpub-k6nqqo88znw>
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. (2014). *LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*. Obtenido de LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- INEN INEN 1108 Recurso agua potable. (2011). *INEN INEN 1108 agua potable requisitos*. Obtenido de INEN INEN 1108 agua potable requisitos: <https://isa.ec/wp-content/uploads/2019/04/NORMA-INEN-1108-2011-AGUA-POTABLE.pdf>

ANEXOS

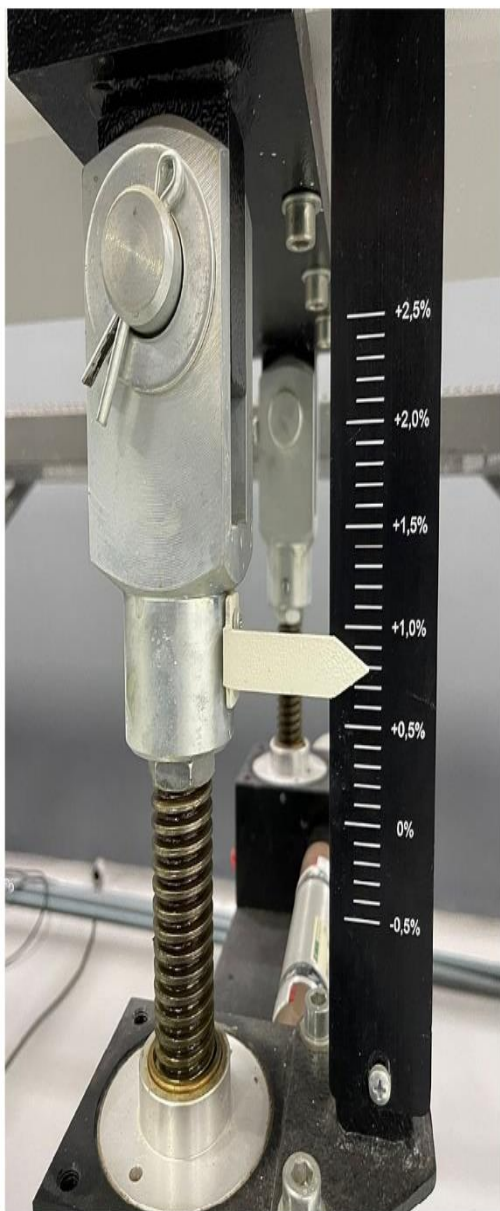
Anexo 1 Evidencia fotográfica ensayos en el laboratorio de Hidráulica recopilación de datos caudales



Anexo 2 recopilación de datos tirantes



Anexo 3 recopilación de datos pendientes



Anexo 4 Canal Hidráulico Universidad Laica Vicente Rocafuerte



Anexo 5 Canal Hidráulico Universidad Laica Vicente Rocafuerte-estabilización del caudal

