

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Evaluación comparativa del coeficiente de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven Te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022

Asesor:

Mg.Sc. Maldonado Mendívil, Ángel

Autor:

Ayvar Fuentes, Claudio Alfredo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay-Apurímac-Perú

2024



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

ACTA DE EXAMEN DE TITULACIÓN N°017-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| ➤ Dra. Rosa Marina VERA TEVES | PRESIDENTE |
| ➤ Ing. Edwin Reynaldo ESPINOZA ASTO | DICTAMINANTE |
| ➤ Ing. Holguer CAYO BACA | REPLICANTE |

y el (la) postulante al TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL,
Bachiller: AYVAR FUENTES, Claudio Alfredo con código de matrícula N°201010799-K.

Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución de consejo Universitario N°1870-2023-UTEA-CU, de fecha 03 de julio del 2023, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: “Evaluación comparativa del coeficiente de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven Te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022”, habiendo aprobado con la nota de quince (15).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 272.

Abancay, 24 de abril 2024.

Dra. Rosa Marina VERA TEVES
PRESIDENTE

Ing. Edwin Reynaldo ESPINOZA ASTO
DICTAMINANTE

Ing. Holguer CAYO BACA
REPLICANTE

Evaluación comparativa del coeficiente de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven Te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
5	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos Complementarios		
Datos del Autor		
Apellidos y Nombres	:	Ayvar Fuentes Claudio Alfredo
Tipo de Documento de Identidad	:	Dni
Numero de Documento de Identidad	:	7177473
URL ORCID	:	No aplica
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de Documento de Identidad	:	Dni
Numero de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la Investigación		
Facultad	:	De Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Febrero 2023 - Enero 2024
Fuente de Financiamiento	:	Auto Financiado
Porcentaje de Similitud	:	18%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme tener salud y vida.

A mis progenitores: **Agustina Americana Fuentes Rivas y Guillermo Ayvar Bernaola**, con profundo amor y gratitud por el gran esfuerzo que invirtieron en mi educación y darme la vida.

Alas personas que pusieron la confianza en mi persona.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme tener el conocimiento suficiente para perseverar.

Agradezco a mi asesor Ing. Ángel Maldonado Mendivil por su apoyo y orientación en la elaboración del presente estudio.

Agradezco a mi alma mater UTEA, a los ingenieros, maestros y Ph.D por compartir todo el conocimiento en las diferentes ramas de la ingeniería.

RESUMEN

El estudio tiene como objetivo principal determinar, evaluar y comparar los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven te Chow en el río Rontoccocha, ubicado en el distrito de Abancay, Provincia Abancay-Apurímac. La metodología empleada fue método cuantitativo, tipo aplicada, alcance descriptivo comparativo, diseño no experimental-transversal. Se recopiló información mediante mediciones en campo en diferentes puntos con ambas metodologías en el río Rontoccocha. Con la información obtenida se determinó, evaluó y comparó mediante pruebas estadísticas, coeficiente de variación, desviación estándar, error de la media aritmética, intervalos de confianza de los datos, errores relativos y absolutos. Por la metodología de Robert Manning no se obtuvieron resultados confiables debido a que presentó menor exactitud de coeficiente de rugosidad; mientras que la metodología de Ven te Chow se adecuó mejor con un coeficiente de rugosidad promedio de 0.056, dichos resultados por ambos métodos fueron comparados con estudios reconocidos como es la USGS-Servicio Geológico de Estados Unidos, el método Cowan y artículos científicos.

Palabras Clave: Manning, Velocidad, Ven te Chow, Altura de rugosidad, Coeficiente de Rugosidad, Correntómetro.

ABSTRACT

The main objective of the study is to determine, evaluate and compare the roughness coefficients using the methodology of Robert Manning and Ven te Chow in the Rontoccocha River, located in the district of Abancay, Abancay-Apurímac Province. The methodology used was a quantitative method, applied type, comparative descriptive scope, non-experimental-cross-sectional design. Information was collected through field measurements at different points with both methodologies in the Rontoccocha River. With the information obtained, the coefficient of variation, standard deviation, error of the arithmetic mean, confidence intervals of the data, relative and absolute errors were determined, evaluated and compared through statistical tests. Using Robert Manning's methodology, reliable results were not obtained because it presented lower accuracy of the roughness coefficient; While Ven te Chow's methodology was better suited with an average roughness coefficient of 0.056, these results for both methods were compared with recognized studies such as the USGS-United States Geological Survey, the Cowan method and scientific articles.

Keywords: Manning, Speed, Ven te Chow, Roughness height, Roughness coefficient, Correntometer.

ACRÓNIMOS

USGS	: Servicio Geológico de Estados Unidos.
OTT	: OTT Hydromet.
ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
k	: Altura de rugosidad.
n	: Coeficiente de Rugosidad.
ASTM	: Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

INDICE GENERAL

Portada	i
Acta de Sustentación	ii
Reporte de Similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Acrónimos	ix
Índice general	x
Índice de tablas	xvi
Indice de figuras	xix
Introducción	xxi
CAPITULO I:	22
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1. Realidad Problemática	22
1.2. Planteamiento del Problema	24
1.2.1. Formulación de problemas	24
1.2.2. Problema General	24

1.2.3. Problemas específicos	24
1.3. Justificación de la Investigación	24
1.4. Objetivos de la Investigación.....	25
1.4.1. Objetivo General	25
1.4.2. Objetivos Específicos	25
1.5. Delimitación de la investigación	26
1.5.1. Espacial.....	26
1.5.2. Temporal	26
1.5.3. Social.....	26
1.5.4 Conceptual	26
1.6. Viabilidad de la investigación	26
1.7. Limitaciones	27
Económicas.....	28
Tecnológicas	28
Conceptuales	28
CAPITULO II.....	29
MARCO TEORICO	29
2.1 Antecedentes de investigación.....	29
2.1.1. A nivel internacional	29
2.1.2. A nivel nacional	31

2.1.3 A nivel regional y local.....	33
2.2 Bases teóricas.....	34
2.2.1 Metodología de Robert Manning	34
2.2.2.1 Pendiente	36
2.2.2.2 Radio Hidráulico	36
2.2.2.3 Área Hidráulica.....	38
2.2.2.4 Caudal o Gasto	39
2.2.2 Metodología de Ven te Chow	39
2.2.2.1 Método de medición de las velocidades.....	39
2.2.2.1.1 Velocidad medidas a 0.20 y 0.80 de profundidad en la corriente	42
2.2.2.1.1.1 Aforos	43
2.2.2.1.1.1.1 Aforo con Correntómetro	43
2.2.2.1.2 Valor equivalente a la profundidad del agua	52
2.2.2.2 Método de medición de la rugosidad.....	52
2.2.2.2.1 Función que relaciona el radio hidráulico con la altura de rugosidad k.	54
2.2.2.2.2 Radio Hidráulico	56
2.2.2.2.3 Granulometría	56
2.2.3 Coeficiente de rugosidad.....	58
2.2.3.1 Error de medición humano	58
2.2.3.2 Tablas de Coeficiente de Rugosidad.....	58

2.2.2.3.2 Factores que afecta al coeficiente de rugosidad	62
2.3 Marco Conceptual	68
2.3.1 Tirante	68
2.3.2 Flujo Uniforme	68
2.3.3 Capa limite	68
2.3.4 Pendiente	69
2.3.5 Radio Hidráulico	69
2.3.6 Velocidad de la corriente	69
2.3.7 Velocidad 0.80y	69
2.3.8 Velocidad 0.20y	69
2.3.9 Pendiente	69
2.3.10 Rugosidad	69
2.3.11 Altura de rugosidad “k”	69
CAPITULO III	70
METODOLOGIA DE INVESTIGACION	70
3.1 Hipótesis.....	70
3.1.1. Hipótesis general.....	70
3.1.2. Hipótesis Especificas.....	70
3.2 Método	71
3.3 Tipo de investigación.....	71

3.4 Nivel o alcance de investigación	71
3.5 Diseño de investigación.....	71
3.6 Operacionalización de variables.....	71
3.7 Población, Muestra y Muestreo	74
3.8 Técnicas e Instrumentos	75
3.8.1 Técnicas e instrumentos para la investigación	75
3.8.1.1 Técnicas	75
3.8.1.2 Instrumentos.....	76
3.9 Consideraciones éticas	76
3.10 Procesamiento estadístico	77
3.10.1. Procedimiento utilizado	78
CAPITULO IV.....	82
RESULTADOS Y DISCUSION	82
4.1 RESULTADOS	82
4.1.1 Parámetros hidráulicos del río Rontoccocha	82
4.1.1.1 Ubicación de los puntos de estudio.....	82
4.1.1.2 Características Hidráulicos y Geométricos de las Secciones del río Rontoccocha.	84
4.1.2 Coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning	
4.1.2.1 Calculo del coeficiente de resistencia o rugosidad.....	85

4.1.2 Coeficientes de resistencia, mediante la metodología de Ven te Chow	87
4.1.2.1 Coeficiente de resistencia o rugosidad(velocidades)	87
4.1.2.1.1 Velocidades y relación $V_{0.20h}/V_{0.80h}$ de los puntos de medición.	87
4.1.2.1.1 Coeficiente de resistencia o rugosidad Ven te Chow(velocidades)	91
4.1.2.2 Coeficiente de rugosidad por altura de rugosidades	94
4.1.3 Evaluar y comparar los valores obtenidos entre las metodologías de estudio.	98
4.1.3.1 Evaluación de los valores obtenidos mediante ambas metodologías.	98
4.1.3.2 Comparación entre la metodología de Robert Manning y Ven te Chow .	100
4.2 Discusión de Resultados.....	109
4.3 Prueba de hipótesis.....	111
4.3.1 Prueba de hipótesis específica N° 01	111
4.3.2 Prueba de hipótesis específica N° 02	113
4.3.3 Prueba de hipótesis específica N° 03.....	114
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	121
ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tabla de anchos recomendados en aforo.....</i>	48
Tabla 2	<i>Recomendación para correntómetro según ANA.....</i>	50
Tabla 3	<i>Valores de Coeficiente de aspereza por Manning</i>	59
Tabla 4	<i>Valores de Coeficiente de Rugosidad propuesta por Ven te Chow.....</i>	60
Tabla 5	<i>Tabla de valores del coeficiente de aspereza mediante Cowan</i>	67
Tabla 6	<i>Operacionalización de Variables.....</i>	72
Tabla 7	<i>Instrumento, norma empleado</i>	76
Tabla 8	<i>Tabla para tabulación prueba de hipótesis</i>	80
Tabla 9	<i>Puntos de determinación aforo</i>	83
Tabla 10	<i>Pendientes en el Río Rontoccocha</i>	84
Tabla 11	<i>Tabla de Profundidades del Río Rontoccocha.....</i>	85
Tabla 12	<i>Área, Perímetro y Radio Hidráulico.....</i>	85
Tabla 13	<i>Tabla de Caudales de acuerdo a los Parámetros Hidráulicos</i>	86
Tabla 14	<i>Resultados por la metodología de Robert Manning</i>	86
Tabla 15	<i>Lecturas del PA-01 (Ancho de río=3.41m).....</i>	88
Tabla 16	<i>Lecturas del PA-02 (Ancho de río=3.30m).....</i>	88
Tabla 17	<i>Lecturas del PA-03 (Ancho de río=3.37m).....</i>	89
Tabla 18	<i>Lecturas del PA-04 (Ancho de río=4.10m).....</i>	89

Tabla 19	<i>Velocidades máximas, mínimas y media</i>	90
Tabla 20	<i>Relación de velocidad en diferentes condiciones</i>	90
Tabla 21	<i>Resultado de "n" por el método de velocidades PA-01.....</i>	91
Tabla 22	<i>Resultado de "n" por el método de velocidades PA-02.....</i>	91
Tabla 23	<i>Resultado de "n" por el método de velocidades PA-03.....</i>	92
Tabla 24	<i>Resultado de "n" por el método de velocidades PA-04.....</i>	92
Tabla 25	<i>Resumen de "n" por el método de velocidades PA-01,02,03 Y 04</i>	93
Tabla 26	<i>Resultados de altura de rugosidades.....</i>	95
Tabla 27	<i>Diámetros Efectivos de la corriente por punto medido.....</i>	97
Tabla 28	<i>Evaluación entre la metodología de Robert Manning y Ven te Chow ...</i>	98
Tabla 29	<i>Evaluación comparativa entre las dos metodologías de rugosidad ...</i>	101
Tabla 30	<i>Intervalo de confianza al 95% de las des.est. Met.Robert Manning...</i>	102
Tabla 31	<i>Intervalo de confianza al 95% de las des.est. Met. Ven te Chow.....</i>	103
Tabla 32	<i>Resumen de "n" por la Met. Robert Manning ,Ven te Chow y Cowan</i>	103
Tabla 33	<i>Cuadro de resumen de Error Absoluto entre ambas metodologías ...</i>	104
Tabla 34	<i>Cuadro de resumen de error relativo entre ambas metodologías</i>	106
Tabla 35	<i>Porcentaje de exactitud entre la met. Manning y Ven te Chow.....</i>	107
Tabla 36	<i>Prueba de normalidad Resultados .Met.Robert Manning.....</i>	111
Tabla 37	<i>Prueba de hipótesis específica N° 01</i>	111
Tabla 38	<i>Prueba de normalidad Resultados .Met. Ven te Chow.....</i>	113

Tabla 39 *Prueba de hipótesis específica N° 02* 113

Tabla 40 *Prueba de hipótesis específica N° 03* 114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Corte transversal de un cauce</i>	37
Figura 2 <i>Corte transversal de un cauce</i>	38
Figura 3 <i>Imagen ilustrativa de Correntómetro</i>	46
Figura 4 <i>Ancho del cauce</i>	48
Figura 5 <i>Relación entre $(R/k_{65})^{1/3}$ y k_{35}/RS</i>	54
Figura 6 <i>Función $\emptyset(R/k)$</i>	55
Figura 7 <i>Ejes de una partícula</i>	57
Figura 8 <i>Curva Granulométrica</i>	58
Figura 9 <i>Campana de Gauss</i>	81
Figura 10 <i>Valores de "n" según la Metodología Robert Manning</i>	87
Figura 11 <i>Valores de "n" según la Metodología Ven te Chow-Velocidades</i>	94
Figura 12 <i>Figura n vs k</i>	95
Figura 13 <i>$\emptyset(R/k)$ vs R/k</i>	96
Figura 14 <i>Evaluación entre met. Robert Manning y Ven te Chow</i>	100
Figura 15 <i>Comparación desv.est. de Robert Manning y la Met. de Ven te Chow</i>	101
Figura 16 <i>Comparación de errores absolutos en cada punto de aforo entre las met. Robert Manning y Ven te Chow</i>	105
Figura 17 <i>Comparación de errores relativos entre ambas metodologías</i>	106

Figura 18 *Resumen en exactitud entre la met. Robert Manning y Ven te Chow*

..... 107

INTRODUCCIÓN

Los coeficientes de rugosidad son cruciales en los modelos hidráulicos, y modelos de inundaciones ya que estas condiciones contribuyen a la resistencia del flujo en los ríos, dificultando su paso libre a lo largo del cauce, estos valores generan un diseño más eficiente y verdadero en las diferentes obras hidráulicas en ríos.

Fernández et al. (2017) afirman que hay numerosos elementos que influyen en el coeficiente de rugosidad que tienen un impacto directo en el cálculo del flujo que atraviesa en un curso de agua natural, por lo tanto, es crucial prestar atención y dedicar considerable tiempo a evaluar todos los factores mencionados anteriormente, esto conducirá a obtener resultados más precisos y comprender de manera más completa el comportamiento hidráulico del segmento que se está analizando.

Con el presente estudio se pretende determinar los valores del coeficiente de rugosidad y así mismo evaluar y comparar su exactitud entre las metodologías de Robert Manning y Ven te Chow , el propósito es simplificar el cálculo del coeficiente de rugosidad entre los métodos mencionados. Para lograr el presente estudio se determinó los valores mediante los dos métodos según las literaturas (medición velocidades, altura de rugosidad y Manning) para luego comparar sus valores y determinar la exactitud entre las dos metodologías en cada punto de medición en el río Rontoccocha, finalmente se acepta el método más adecuado de aplicación en función a los resultados comparados con las tablas de Manning, Ven te Chow, U.S.G.S y cowan.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Realidad Problemática

Los coeficientes de rugosidad de Manning es un parámetro crucial e indispensable en cualquier modelo hidráulico, estas condiciones contribuyen a crear obstáculos para el flujo sin restricciones de los ríos a lo largo de su lecho, por consiguiente, es crucial establecer este valor de manera precisa para lograr valores satisfactorios (Fernández et al. 2017, pág. 18).

“Al aplicar la ecuación de Manning la mayor dificultad es determinar el coeficiente de rugosidad de n , ya que no existe un método exacto para la selección del valor de n ” (Chow, 2004, pág. 98).

En los ríos del Perú y pertenecientes a la región de Apurímac, según información consultada, existe poca información acerca de los coeficientes de rugosidad, por lo que se toman valores demasiado generales recayendo en una débil estimación de los valores del coeficiente de rugosidad, en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac, por lo tanto, es necesario llevar a cabo estimaciones al

respecto del “ n ” con el propósito de optimizar los proyectos al momento de aplicar el “ n ” cuando se diseñan obras hidráulicas, modelamiento de inundaciones y gestión de recursos hídricos.

El área en estudio, que va desde la cabecera del río Rontoccocha aguas arriba hasta aguas abajo aymas alto, se caracteriza por tener ciertos tramos con vulnerabilidad a desbordamientos, riesgos de inundación y daño a viviendas cercanas al río debido a crecidas debido a inundaciones severas durante periodos de lluvias intensas, lo que implica tomar en cuenta este estudio para determinar adecuadamente los coeficientes de rugosidad y su aplicación en los diseños de las diferentes obras hidráulicas y modelamientos de inundaciones de ríos de la región Apurímac.

En los modelamientos de inundaciones, diseños hidráulicos e hidrológicos el correcto uso del coeficiente de rugosidad “ n ” nos permite entender el comportamiento de los caudales máximos, llanuras de inundación y otros parámetros en el río Rontoccocha; y la forma adecuada de determinar dicho valor es utilizando metodologías como Robert Manning, Ven te Chow y otros.

Debido a lo planteado es de suma importancia determinar, evaluar y comparar el coeficiente de rugosidad para tener resultados más verdaderos del valor de “ n ” en el río Rontoccocha -Abancay -Apurímac.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Formulación de problemas

1.2.2. Problema General

¿Cuál será la evaluación comparativa del coeficiente de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven te Chow en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022?

1.2.3. Problemas específicos

a) ¿De qué manera se podrá determinar los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022?

b) ¿De qué manera se podrá determinar los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Ven te Chow en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022?

c) ¿De qué manera se podrá evaluar y comparar los valores obtenidos mediante la metodología de Robert Manning y Ven te Chow en el Rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022?

1.3. Justificación de la Investigación

Se justifica teóricamente, porque se aplican las bases teóricas y principios fundamentales de la Metodología de Robert Manning, Metodología de Ven te Chow y el Coeficiente de Rugosidad al evaluar y comparar cuál de estas metodologías es

más confiable y práctico al momento de su aplicación en ríos, y también servirá como un engranaje enciclopédico.

Se justifica metodológicamente, para lograr el objetivo, se recurre al uso de técnicas de investigación, formatos de medición de caudales, formato de granulometría y procesamiento en software para calcular o determinar los valores de " n " por los métodos mencionados en la presente tesis. Con ello se pretende evaluar y comparar el coeficiente de rugosidad en el río Rontoccocha.

Justificación práctica, porque la que la metodología de Robert Manning y Ven te Chow son herramientas confiables para calcular los coeficientes de rugosidad en los ríos ya que gracias a su precisión aplicabilidad científica e ingeniería, sus usos proporcionan resultados confiables que son clave para un diseño eficiente de obras hidráulicas y su comprensión de la resistencia al flujo en cauces naturales.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar y comparar los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

1.4.2. Objetivos Específicos

a) Determinar los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

b) Determinar los coeficientes de rugosidad mediante metodología de Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

c) Evaluar y comparar los valores obtenidos mediante la metodología de Robert Manning y Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Espacial

El estudio comprende en la cuenca del río de Rontoccocha tramo aguas abajo atumpata y aguas arriba del Río del distrito de Abancay, Provincia de Abancay, departamento de Apurímac.

1.5.2. Temporal

Durante el segundo semestre académico del año 2023 y primer semestre del año 2024.

1.5.3. Social

Para la presente tesis no es posible delimitar socialmente debido a que no repercute de forma negativa en la población.

1.5.4 Conceptual

El presente estudio se determinará, evaluará y compara el coeficiente de rugosidad aplicando las bases teóricas en las variables: X1(metodología de Robert Manning), X2(Metodología de Ven te Chow) e Y(Coeficiente de rugosidad).

1.6. Viabilidad de la investigación

Es viable debido a que se tiene acceso al lugar de estudio y poder realizar las mediciones, análisis y recolección de muestras, también las fuentes primarias

que brindan información de las variables del presente estudio, así como se cuenta con suficientes bases teóricas. Libros, artículos científicos y tesis.

1.7. Limitaciones

Se realiza mediciones de caudal, pendiente, áreas hidráulicas con correntómetro y granulometría de muestras de río en tiempo donde se pueda observar y extraer material, entre octubre 2023 y enero 2024, en las lluvias intensas sería difícil realizar los procedimientos de aforo ya que no se cuenta con estructuras de aforo o vertederos de concreto.

Se utiliza un correntómetro OTT para llevar a cabo la medición de velocidades, es necesario realizar mediciones en épocas de máxima precipitaciones o con aforadores estacionarios donde se pueda estudiar la forma en que el coeficiente de rugosidad se comporta a lo largo del tiempo y así validar dicho caudal por lo que en la tesis se presenta el certificado de calibración para correntómetro OTT para su validez.

La investigación dirigida en diferentes naciones se ha completado en cursos de agua, arroyos, lagos, riachuelos y vías fluviales. Con pendientes muy suaves y fondos bien definidos, mientras el presente estudio se enfoca en un río de alta montaña tomando en cuenta las condiciones de un flujo uniforme para el río Rontoccocha, debido a eso las estaciones de aforo se distribuye en 04 puntos estratégicos de estudio por lo que la presente tesis es aplicable para ríos de alta montaña.

Económicas

El estudio de mecánica de suelos se realizó en la Universidad Tecnológica de los Andes, las mediciones en campo y transporte se realizaron con recursos por parte del investigador.

Tecnológicas

Los equipos tecnológicos como es correntómetro OTT se tuvo el apoyo de la Autoridad Nacional del Agua Apurímac y transporte por parte del investigador.

Conceptuales

Es decir, durante el proceso de investigación existen suficientes bases teóricas estudiados a nivel internacional, nacional y libros, Ya que también son artículos de investigación científica que están indexados, sobre el coeficiente de rugosidad.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.1. A nivel internacional

Fernandez et al. (2018) en su artículo científico titulado *Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales*. Planteo como objetivo la estimación de la n de Manning, utilizando diversos métodos descritos en cada una de ellas fue aplicada en una parte transversal del cauce Yanuncay en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Las estrategias utilizadas fueron Cowan, US Soil Preservation Administration (S.C.S.), Ven te Chow's strategy, adquiriendo los efectos posteriores de "n" , los resultados fueron para HEC-RAS de 0.042, según USGS la n estaría entre 0.051 y 0.073, según Chow la "n" estaría entre 0.042 y 0.043, según Cowan la "n" estaría con 0.042, según S.C.S la "n" estaría con 0.043 y demás métodos, concluyendo con un 90% de certeza sin fin nivel de importancia 10%, se obtuvo que el método de Cowan, S.C.S y método de Ven te Chow (Velocidades) serían los que se acercaría a un valor real, dado que el enfoque

adoptado en su investigación proporciona una aproximación fiable al valor crucial rugosidad y su rango de variabilidad.

Ricaurte y Ariza (2018) en su tesis de pregrado titulado *Estimación del coeficiente de Manning con el método de los dos puntos en el río negro (Cundinamarca)*. El objetivo fue decidir el beneficio del coeficiente de Manning con la técnica de velocidad de dos puntos en las estaciones limnigráficas Charco Largo, Guadero, Tobia y Villeta del Río Negro (Cundinamarca). La estrategia aplicada fue la técnica de velocidad de dos puntos utilizada para elaborar el coeficiente de dureza del Manning en el Río Negro (en Cundinamarca-Colombia). Concluyendo los resultados arrojados, para la estación Charco Largo $n=0.0325k^{0.1509}$, Tobia $n=0.0293k^{0.1194}$, Guadero $n=0.0344k^{0.1860}$, Villeta $n=0.036k^{0.1547}$.

Pastora (2010) en su tesis de maestría titulado *Evaluación de la Formula de Manning en el Río Ostua*. Planteo como el objetivo de este estudio fue evaluar la condición de Manning en el aseguramiento de caudales de los arroyos normales de la zona, a la vista de la información de medición de caudales en algunos arroyos regulares obtenidos con la fórmula de Manning. Los resultados obtenidos por la técnica de Manning mostraron que los valores de marca para los coeficientes de dureza "n" son 0.040 para la estación Las Cruces, que presenta atributos de lecho de material arenoso con piedras de bajas distancias a través, y 0.121 para la estación Las Lechuzas, que presenta calidades de lecho de material rugoso.

Ruberto (2003) en su artículo científico titulado *Estudio exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad en un río de llanura*. El objetivo es decidir

la capacidad de respuesta relativa a la inclinación impulsada por la presión en los resultados del coeficiente de aspereza "n" del Manning en un arroyo corriente de la Llanura Chaqueña, utilizando la estrategia para la situación del Manning. Se presumió que los beneficios de "n" de Manning pasan de 0.032 a 0.062 cuando la inclinación toma el valor de 0.00003 (o 3cm/km) y de 0.048 a 0.101 con inclinación equivalente a 0.00007 (o 7cm/km), para arroyo dirigido.

Osio (2000) en su artículo científico titulado *Cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de Manning en los grandes ríos de Venezuela*. Planteo como objetivo calcular el coeficiente de aspereza o rugosidad utilizando la ecuación de Manning con distribución de velocidades resultante de aforo realizadas mediante el Ministerio de Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en los ríos de Venezuela, la metodología empleada fue la ecuación para canales rugosos con distribución de velocidades logarítmicas. En el cual llega a la conclusión que las ecuaciones o modelos serán como $n=0.00336k^{1/6}$, donde k es: Diámetro de las partículas del río.

2.1.2. A nivel nacional

Chinchay (2020) en su tesis de pregrado titulado *Comparación de métodos Analíticos en el cálculo del coeficiente de rugosidad frente al de Manning, en la parte baja de cinco subcuencas del río santa, entre Recuay y Caraz, 2019*. El objetivo es analizar el coeficiente de desagrado del Manning obtenido a partir de la condición de Manning con las estrategias de estimación de velocidad, nivel de dureza y técnica Cowan en la parte baja de 5 subcuencas de la margen derecha de

la cuenca del canal St Nick Recuay y Caraz. La metodología empleada fue el método de Manning, método de las velocidades, altura de rugosidades y Cowan. Concluyendo para la metodología de Manning el resultado promedio es 0.0587 con C.V de 27.50% donde los resultados no se adecuaron para su zona de estudio mientras que para él La estrategia de velocidad tiene una normal de 0.0331 con un C.V de 12.49%, donde la técnica no es razonable para los cursos de agua de alta montaña, y finalmente, la estrategia Cowan tiene una normal de 0.0494 con un C.V de 20.92%, que es razonable para las quebradas de la región de Recuay y Caraz..

Burgos (2016) en su tesis de pregrado titulado *Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning mediante mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrométrico, en el río Chonta, Cajamarca*. El objetivo fue medir el coeficiente de rugosidad de Manning, a través de estimaciones de velocidad, profundidad y segmento transversal, utilizando un molinete hidrométrico, a lo largo de la vía fluvial Chonta, en el territorio de Cajamarca, localidad de Baños del Inca. La estrategia utilizada fue la condición de Monitoreo, condición para la estimación de velocidades y nivel de desagudo. Cerrando, las alzas del coeficiente de desagudo "n" normal es 0.0301, con una condición de evaluación $n=0.0438k^{1/6}$ y $n=0.2399k^2-0.0083k+0.0276$, k se compara con d_{30} con un coeficiente de aseguramiento 0.82, los coeficientes de desagudo se desplazan entre un valor más extremo de 0.2953 y un valor base de 0.0436m con un valor típico de 0.1182, no rastreando alzas moderadas de coeficientes de desagudo "n".

Rosales (2019) en su tesis de pregrado titulado *Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la granulometría en el río Santa,*

sector Recuay-Carhuaz, Ancash, Perú. Propongo como insesgado obtener un modelo para medir el coeficiente de aspereza "n", en una zona accidentada de la hidrovía San Nick en el ramal de Ancash, Perú, utilizando la técnica para estimación de velocidad, Manning y condición de Cowan. Finalizando, el modelo mejor ajustado en la evaluación del coeficiente de aspereza del Manning, siendo su articulación numérica con un coeficiente de aseguramiento $R^2=0.956$ para la estrategia para la condición del Manning; el coeficiente de aspereza del Manning razonable para la región de revisión es 0.042.

Chugnas y Mantari (2015) en su tesis de pregrado titulado *Determinación Experimental del Coeficiente de Rugosidad de Manning Superficies Granulares Mediante la Simulación de un Cauce Natural de Sección Rectangular*. Planteo como objetivo la determinación experimental del Coeficiente de Rugosidad de Manning en superficies granulares mediante la recreación de un cauce característico, utilizando la estrategia para la situación de Manning. Para finalizar, aplicando la ecuación de Manning, cualidades hídricas obtenidas, se determinó la estimación de la aspereza u rugosidad, obteniendo como valor normal $n=0,026$, estando dentro del alcance hipotético para corrientes con paredes y base de roca $n=0,023-0,033$, por lo tanto, para un arroyo de paisaje agreste el valor hipotético es $n=0,050-0,080$, adquiriendo para el trabajo de prueba 0,064.

2.1.3 A nivel regional y local

Rojas (2021) en su tesis de pregrado titulado *Comportamiento del flujo en canales abiertos por cambios de rugosidad – canal Sahuinto, Abancay, Apurímac,*

2021. Planteo como objetivo analizar la rugosidad del canal y verificar el comportamiento del flujo, el método utilizado es la ecuación de Manning para canales. Concluyendo los tramos presentan un valor máximo de sedimentos de 0.1923 m³, 138 desprendimientos de sello de juntas y 37 rupturas de borde, el caudal máximo de 0.269 m³/s y caudal mínimo de 0.140 m³/s y en cuanto a los valores de Coeficiente Rugosidad de Manning un valor mínimo 0.011 y un valor máximo de 0.058.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Metodología de Robert Manning

Villon (1995) nos dice que:

Es una formula aplicada en todo el mundo y se deriva de la incorporación de un coeficiente C de Chezy en la formula, de manera monómica, como se muestra:

Ecuación 1 : Ecuación Chezy

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

Sustituyendo la C de Chezy, se tiene:

$$v = \frac{1}{n} R^{1/6} \sqrt{RS}$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6} + \frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{4}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 2 : Ecuación de velocidad

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Donde:

V: Velocidad (ml/s).

R: Radio hidráulico, (ml).

S: pendiente, (ml/ ml).

n: coeficiente de aspereza o rugosidad.

Deduciendo en la siguiente ecuación:

Ecuación 3 : Ecuación de la metodología de Robert Manning

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s).

A: Area (m²).

R: Radio hidraulico (ml).

S: Pediente (ml/ ml).

2.2.2.1 Pendiente

Mayo (2010) dice que:

Es esencial obtener con suficiente precisión la pendiente para calcular el coeficiente de desagrado del curso de agua utilizando la ecuación de Manning. En el momento en que se toma una corriente uniforme, se piensa en la línea de desgracia de la cabeza y la inclinación de la superficie del agua. son iguales o paralelas. Varios autores utilizan este dato como estimación de la línea de pérdida de carga. Para la precisión de la medición de este dato se logra empleando un equialtimetro y otro aparato topográfico similar. A continuación, se presenta la formula a emplear:

Ecuación 4 : Ecuación de la Pendiente

$$I = Tg \alpha = \frac{H_m - h_m - H_{ap} + h_{ap}}{D} \quad (4)$$

- 1) Altura del equipo estacionado (H_{ap}).
- 2) Altura del agua en el punto de estación (h_{ap}).
- 3) Altura del agua con la mira (h_m).
- 4) Valores descritos en los hilos extremos (distancia entre el punto estación y mira).
- 5) Valor en hilo central (H_m para el desnivel).

2.2.2.2 Radio Hidráulico

Rocha (2007) nos dice que:

Proporción de la región de la sección transversal con respecto al borde mojado en una corriente o curso de agua.

Ecuación 5 : Radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P} \quad (5)$$

Donde:

R: Radio Hidráulico, (ml).

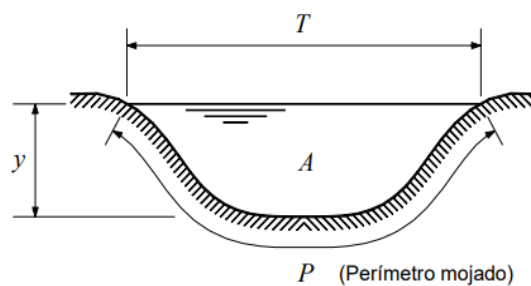
A: Área transversal, (m²).

P: Perímetro mojado, (ml).

En el caso de un canal, se debe considerar únicamente el perímetro mojado, se percibe en la Figura N° 1.

Figura 1

Corte transversal de un cauce



Nota: Adaptado de hidráulica de tuberías y canales (p, 10), por Arturo Rocha.

Donde :

y : Altura media, es la proporción del área hidráulica y el espejo de agua, o como se muestra en la siguiente formula:

Ecuación 6: Profundidad media

$$y = \frac{A}{T} \quad (6)$$

Donde:

A: Área hidráulica, (m²).

T: Tirante, (ml).

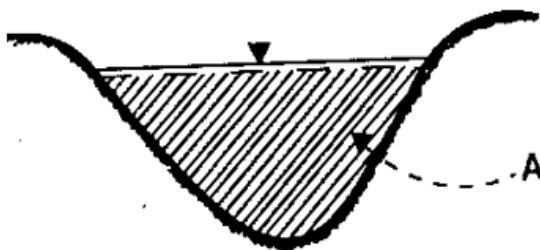
2.2.2.3 Área Hidráulica

Villon (1995) nos dice que:

Se refiere al área del líquido de una sección transversal típica.

Figura 2

Corte transversal de un cauce



Nota: Adaptado de Hidráulica de canales (p,19), por Máximo Villon, 1995, Tecnológica de Costa Rica

2.2.2.4 Caudal o Gasto

Rocha (2007) menciona que:

Caudal o gasto Q aborda la cantidad de volumen de líquido que atraviesa una pieza por cada unidad de tiempo.

Ecuación 7: Caudal o Gasto

$$Q = V * A \quad (7)$$

Donde:

Q : Caudal, (m^3/s).

V : Velocidad, (m/s).

A : Área del fluido, (m^2).

2.2.2 Metodología de Ven te Chow

2.2.2.1 Método de medición de las velocidades

Chow (1994) nos dice que:

Este método consiste en la aplicación a fluidos que presentan los lechos con sedimentos que tienen movimiento.

Haciendo mención al precepto logarítmico que se aplica con la dispersión de la velocidad, que viene dada por la condición adjunta:

Ecuación 8 : Referencia ley logarítmica de distribución de velocidades

$$v = 5.75V_f \text{Log} \frac{30y}{k} \quad (8)$$

Para superficies rugosas, se observa que la forma en que se distribuyen las velocidades está influenciada por la altura de la rugosidad, y suele estar relacionada entre el método de Manning con la siguiente ecuación:

Ecuación 9 : Manning con respecto a la altura de rugosidad

$$n = \phi \left(\frac{R}{k}\right) k^{1/6} \quad (9)$$

Siendo más específico, la rugosidad expresada mediante el coeficiente de rugosidad n es un aspecto crucial que incide significativamente en la distribución de velocidades. Al comprender esta distribución, es posible determinar el valor de n de Manning. Esta idea ha sido aplicada por Boyer y otros investigadores de como estimar el valor de n mediante el uso de la proporción de tenacidades en un conducto hidráulico.

Sea $v_{0.20}$, en otras palabras, a una longitud 0.20y entre el espejo de agua hasta el fondo del canal rugoso ancho, donde “y” es altura del agua. Donde la ecuación N° 08 puede expresarse como:

Ecuación 10: Velocidad a 0.20 profundidad

$$V_{0.20} = 5.75V_f \text{Log} \frac{24y}{k} \quad (10)$$

Entonces, sea $V_{0.80}$ Velocidad al 80%; entonces.

Ecuación 11: Velocidad a 0.80 profundidad

$$V_{0.80} = 5.75V_f \text{Log} \frac{6y}{k} \quad (11)$$

Realizando un cálculo eliminamos V_f entre las ecuaciones 9 y 10.

Ecuación 12: Igualdad de ecuaciones de V_f

$$\text{Log} \frac{y}{k} = \frac{0.778(x + 0.95)}{x - 1} \quad (12)$$

Si sustituimos "x" en la ecuación N° 12, $x = V_{0.20}/V_{0.80}$.

Ecuación 13: Velocidad con respecto a x

$$v = V_f(3.25 + 5.75 \log \frac{RV_f}{v}) \quad (13)$$

Ecuación (13) , con $R=y$, al simplificar.

Ecuación 14: Con respecto al radio hidráulico

$$\frac{V}{V_f} = \frac{1.78(x + 0.95)}{x - 1} \quad (14)$$

A partir de las ecuaciones $C = \frac{1.49}{n} R^{1/4}$.

Ecuación 15: Combinación con la ecuación de Chezy

$$\frac{V}{V_f} = \frac{C}{\sqrt{g}} \quad (15)$$

Ecuación (15), con $R=y$.

Ecuación 16: Combinación de chezy con ecuación 15

$$\frac{V}{V_f} = \frac{y^{1/4}}{3.81n} \quad (16)$$

Una vez que se iguala las ecuaciones N° (14) y (15) y determinarse para n.

Ecuación 17: Coeficiente de rugosidad por metodo velocidades

$$n = \frac{(x - 1)y^{1/4}}{6.78(x + 0.95)} \quad (17)$$

Cuando aplicamos esta ecuación a canales anchos con rugosidad, utilizando la ley logarítmica de distribución de velocidades, el valor obtenido para n representa la rugosidad del canal. Al aplicar esta ecuación a corrientes naturales, el valor de y puede considerarse como la altura promedio del conducto hidráulico.

2.2.2.1.1 Velocidad medidas a 0.20 y 0.80 de profundidad en la corriente

Mayo (2010) nos dice que:

Para tener resultados del coeficiente de aspereza o rugosidad medidas en mediante el 0.20 y 0.80 veces la profundidad de la sección ($V_{0.20}$ y $V_{0.80}$ respectivamente). Este enfoque se utiliza para obtener las velocidades en cada lugar de las áreas transversales. La fórmula que se indica en el párrafo se basa en la ley de distribución de velocidades en un conducto hidráulico. Se representa con $x = V_{0.20}/V_{0.80}$, Siendo "y" la profundidad media o el radio hidráulico.

2.2.2.1.1.1 Aforos

2.2.2.1.1.1.1 Aforo con Correntómetro

Villon (1995) afirma que:

Para la medición en los ríos, se utilizaron correntómetros o molinetes, que son dispositivos diseñados para calcular la velocidad en un curso de agua. Estos instrumentos emplean un equipo que detecta las velocidades en el flujo y envía señales a un interruptor para completar un circuito eléctrico después de varias vueltas, lo que se registra en un contador o contómetro mediante impulsos de sonido, luces, indicadores digitales, entre otros.

Existen diversas variantes de correntómetro. Algunos tienen un diseño de eje vertical sin hélice, utilizando pequeñas copas similares a las de un anemómetro como su componente móvil. Otros presentan un diseño de eje horizontal con una hélice como elemento móvil como el correntómetro OTT.

OTT (2019) nos dice que:

El equipo OTT MF pro con características de flujo magnético es fácil de usar y requiere poco mantenimiento para medir de manera rentable el flujo en canales al aire libre. Su capacidad para calcular automáticamente el flujo reduce significativamente el tiempo necesario en el campo. El sensor electromagnético del cabezal es prácticamente libre de mantenimiento y es adecuado para trabajar con velocidades de flujo bajas y altas concentraciones de materia en suspensión.

Ventajas

Realiza cálculos automáticos de velocidad que van regulados mediante la norma ANA, lo que ahorra mucho tiempo y evita posibles errores al transcribir manualmente los resultados de la medición.

No necesita mantenimiento prácticamente: no tiene partes mecánicas en movimiento.

Compacto en diseño: apto para mediciones en aguas poco profundas.

Se puede aplicar a partir de 0 m/s idóneo para cálculo de velocidades lentas.

Exactitud de medición sin alteraciones incluso cuando hay lechos o sedimentos en movimiento.

El equipo está incorporado mediante pantalla táctil de color visible en luz solar.

Ámbito de aplicación.

Medición en ríos abiertos, arroyos y canales de medición.

Medición en canales de aguas residuales con alta contaminación.

Medición en áreas con vegetación densa o flujos turbulentos.

Uso en calibración y control, ya sea con medidores continuos de corriente o en presas y canales.

Características del equipo MF pro Automático Usado

Medición de velocidad

- ✓ Cálculo por inducción magnética.

- ✓ Límites de medición de 0 a 6 m/s.
- ✓ Exactitud entre 0 a 3m/s con error de 2% del valor calculado o 0.015m/s.
- ✓ Tiene estabilidad a la hora de medir.

Medición en altura o profundidad

- ✓ Tiene un sensor de presión calibrado por punto.
- ✓ Límite de medida entre 0 a 3.05m.
- ✓ Exactitud con error de 2% del valor calculado o 0.015m.

Memoria

- ✓ Hasta 32 perfiles de cálculos de velocidad.

Temperatura

- ✓ Entre -20° C a 60°C
- ✓ USB, tipo mini-B, 5 polos

Modos de calculo

- ✓ Calcula la velocidad en tiempo real
- ✓ Dibuja el perfil de la corriente (masa de agua / conducto)

Longitudes de cable

- ✓ 12m, 30m, 2m y 6m.

Figura 3

Imagen ilustrativa de Correntómetro



Nota. Adaptado de (OTT MF pro - OTT HydroMet)

Formas de aforo

Villon (1995) nos indica lo siguiente:

- Cuando se realiza a pie, se refiere a situaciones donde el cuerpo de agua es de tamaño reducido, poco profundo y con un lecho resistente. En este caso, se pone una cinta de un lado a otro del curso de agua y se miden las velocidades en distintas profundidades, en puntos equidistantes a lo largo de la sección transversal.
- Se establece la sección transversal del curso de agua utilizando un cable extendido de un lado al otro, y se realiza el aforo desde un bote.
- En el caso de ríos pequeños, se utiliza una pasarela que se instala entre los puntales de una extensión, el aparato de control se coloca en esta pasarela para cuantificar las velocidades a partir de ahí.

Proceso para realizar el aforo

Villon (1995) nos dice lo siguiente:

Para comenzar una medición de aforo es necesario determinar el número de franjas dividiendo la longitud libre de agua entre el número de tramos, para eso:

- Determinar la anchura del río, que corresponde al ancho libre de agua, ver figura N° 04.
- Dividir el ancho de la sección ciertos tramos.

Ecuación 18: Ancho de cada tramo

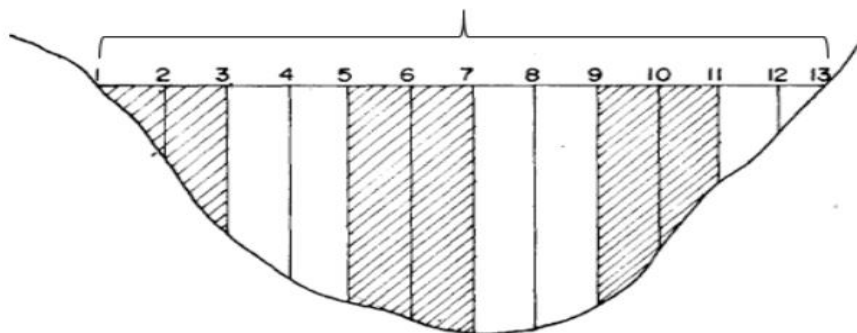
$$L = \frac{T_1}{n} \quad (18)$$

Donde:

L: Ancho del cauce por tramo, (ml).

T₁: Ancho total del cauce, (ml).

N: Número de tramos.

Figura 4*Ancho del cauce*

Nota: Adaptado de Hidráulica de canales (p, 121), por Máximo Villón, 1995, Tecnológica de Costa Rica

De acuerdo con el con el proyecto Hidrometeorológico Centroamericano nos recomienda una separación se visualiza en la tabla N° 01:

Tabla 1*Tabla de anchos recomendados en aforo*

Ancho mínimo (ml)	Longitud entre verticales (ml)
Menos de 2	0.20
2-3	0.30
3-4	0.40
4-8	0.50
8-15	1.00

15-25	2.00
25-35	3.00
35-45	4.00
45-80	5.00
80-160	10.00
160-350	20.00

Fuente: Adaptado de libro proyecto Hidrometeorológico Centroamericano.
Tomar medidas de la profundidad h en cada punto vertical, considerando que en los bordes del cauce la profundidad puede ser negativo o cero.

Luego de eso el área de cada segmento se calculará como un trapecio.

(ANA, 2016) nos dice también que:

El correntómetro, para determinar la velocidad media en un conducto hidráulico utilizando un correntómetro, es necesario determinar la velocidad en cada franja a lo largo del río. Para hacer esto, se instala una wincha métrica a lo largo de ancho del río. Luego, se procede a medir tanto la velocidad como la profundidad de manera regular a lo largo del ancho del río. La longitud de medida de velocidad está definida entre 0.1m para quebradas de 1m de ancho mientras que para ríos grandes 1m con un ancho de 10m o más. Para determinar la velocidad media puede requerir dos, tres o más mediciones en diferentes alturas del conducto

hidráulico. Las profundidades que se determinan la velocidad están en función del tirante del agua (y).

Tabla 2

Recomendación para correntómetro según ANA

Altura de agua (d)	Altura de lectura del equipo
Cm	Cm
<15	d/2
15<d<45	0.60d
>45	0.20d, 0.80 y 0.60d

Fuente: Resolución Jefatural N° 010-2016 ANA

La velocidad media se determina sumando varias mediciones en cada segmento por cada parte medible:

Ecuación 19: Velocidad media del correntómetro

$$V_{\text{media}} = (v_1 + v_2 + \dots + v_i) / i \quad (19)$$

Donde:

V_{media} : Velocidad media, (metro lineal/segundo).

$V_{1,2,3,\dots,i}$: Velocidad por segmento, (metro lineal/segundo).

i : Numero de mediciones en cada segmento.

El gasto se determina como:

Ecuación 20: Caudal de cada segmento

$$Q_x = A_x \cdot V_{\text{media}} \quad (20)$$

Donde:

Q: Caudal o Gasto, (m³/s).

A_x: Área del segmento, (m²).

V_{media}: Velocidad media en el flujo, (ml/s).

A_x: área en cada segmento:

Ecuación 21: Área en cada segmento

$$A_x = b_x \cdot h_x \quad (21)$$

Donde:

A: Área de cada segmento, (m²).

b_x: Ancho de cada segmento, (ml).

h_x: Altura de cada segmento, (ml).

El caudal total se determina con la ecuación siguiente:

Ecuación 22: Caudal resultante en la sección

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_x \quad (22)$$

Donde:

Q_{total} : Caudal Total, (m^3/s).

$Q_{1,2,3\dots x}$: Caudal por tramo, (m^3/s).

Así mismo, hay distintos modelos de correntómetros, siendo los más comunes los que tienen hélice, los cuales varían de tamaño. La elección del tamaño del correntómetro depende de la magnitud del caudal; a mayor caudal o velocidad, se requiere un correntómetro de mayor tamaño.

2.2.2.1.2 Valor equivalente a la profundidad del agua

Chow (1994) afirma que:

De acuerdo a la ecuación (06), En aplicaciones prácticas en ríos reales, se puede considerar que el valor de “y” representa la profundidad promedio de agua.

2.2.2.2 Método de medición de la rugosidad

Chow (1994) menciona que:

En este método se presenta como:

Ecuación 23: Altura de rugosidad

$$\phi\left(\frac{R}{k}\right) = \frac{(R/k)^{1/4}}{21.9 \log(12.2R/k)} \quad (23)$$

En la función $\phi(R/k)$ se acepta. Posteriormente, luego se determinar “n” de Manning empleando la ecuación N° (24) conocido la medida de altura de rugosidad.

Ecuación 24: Coeficiente de aspereza con la altura de rugosidad

$$n = \phi\left(\frac{R}{k}\right)k^{1/6} \quad (24)$$

Este método puede extenderse a los arroyos que contienen lechos con posos móviles. Según Einstein y Barbarroja, el intervalo R impulsado por el agua para tales corrientes comprende dos secciones: el barrido R' impulsado por la presión debido a la dureza de la superficie, y el intervalo R' impulsado por la presión debido al malestar provocado por el lecho de posos móviles. En el caso de la dureza superficial, el nivel de desagradado viene dado por K_{65} en pies, que es el tamaño de grano para el que el 65% del material es más grueso, tal y como se obtiene de un pliegue típico de examen mecánico. Este pliegue está preparado a partir de pruebas del material tomadas en el borde mojado dentro de la parte recogida de la corriente. El nivel de dureza para el residuo en movimiento se aborda mediante el tamaño K_{65} en pies, que es el tamaño para el que el 35% es más grueso. Este tamaño se toma de una curva de examen mecánico obtenida de pruebas recogidas dentro del alcance del arroyo. Siguiendo esta idea, Doland y Chow mostraron que la capacidad de $\phi(R/k)$ para los impactos consolidados de desagradado superficial y desarrollo de sedimentos.

Ecuación 25: Ecuación según Doland y Chow

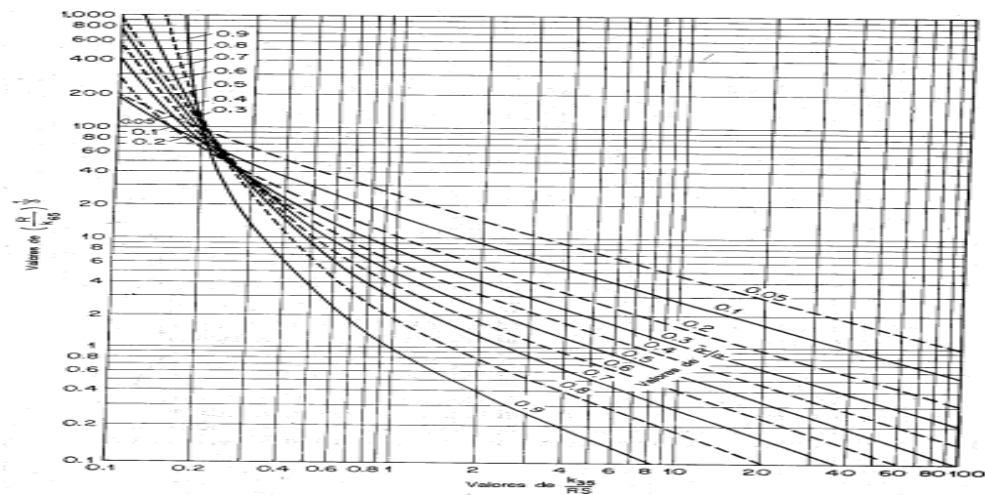
$$\phi\left(\frac{R}{k}\right) = \frac{0.0342}{(R'/R)^{2/3}} \quad (25)$$

Donde el valor de R'/R depende del radio hidráulico R, de la pendiente S y de los tamaños de grano k_{65} y k_{35} . Al calcular los valores de $(R/k_{65})^{1/3}$ y k_{35}/RS ,

puede obtenerse el valor de R'/R a partir de las curvas semiempíricas que se muestra.

Figura 5

Relación entre $(R/k_{65})^{1/3}$ y k_{35}/RS



Nota: Adaptado de Hidráulica de canales abiertos (p, 205), por Ven te Chow, 1994, Mc Graw.

2.2.2.2.1 Función que relaciona el radio hidráulico con la altura de rugosidad

k.

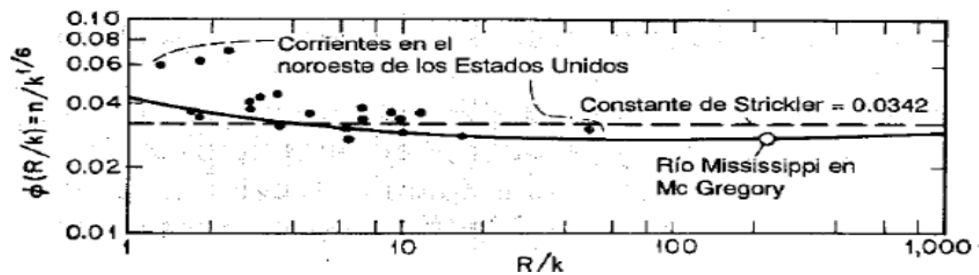
Chow (1994) indica que:

La gráfica de esta ecuación muestra que la variación en $\phi(R/k)$ es pequeña para un amplio rango R/k . Es posible suponer que una aproximación $\phi(R/k)$ es constante e igual a un valor típico. Strickler utilizó las observaciones reales realizadas en Suiza para crear una ecuación que, al compararla con la ecuación (25), da un valor promedio (esta constante se ha convertido a unidades pie-lb-s) de $\phi(R/k) = 0.0342$.

El nivel de dureza utilizado por Strickler es el del tamaño medio del tamiz del material. En la figura 06 también se muestra, a efectos de correlación, la información obtenida de algunos arroyos del noroeste de EE.UU. y de la vía fluvial del Misisipi.

Figura 6

Función $\phi(R/k)$



Nota: Adaptado de Hidráulica de canales abiertos (p, 206), por Ven te Chow, 1994, Mc Graw.

El n de Manning varía con la potencia $1/6$ de la altura de rugosidad, si se supone que $\phi(R/k)$ es constante, según la ecuación (24). En otras palabras, una diferencia en la petición de 1.00 en la proporción recta del nivel de asperidad causará una diferencia en la petición de tres en n . Entonces, en ese punto, como proporción del u asperidad del canal, el nivel de la rugosidad es más sencillo. En conclusión, los errores que involucran en el cálculo de la altura de rugosidad mediante la ecuación N° 24 es pequeño.

Bakhmeteff y Feodoroff han comparado la ecuación de Manning con la ecuación de Prandtl-von Kármán (en una forma que corresponde a la ecuación (24)), la ecuación de GK y la ecuación de Bazin. Sus hallazgos demuestran que la

ecuación de Manning, representada como una ecuación (01), es la más adecuada para todas las ecuaciones en cuestión.

2.2.2.2.2 Radio Hidráulico

Chow (1994) dice que:

Es la relación de área hidráulica al perímetro mojado.

Ecuación26 : Radio Hidráulico

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (26)$$

Donde:

R= Radio Hidráulico, (m).

A= Área transversal, (m²).

P= Perímetro mojado, (m).

2.2.2.2.3 Granulometría

Martin (2004) especifica que:

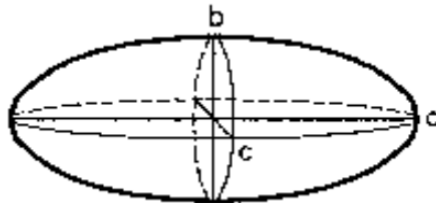
El método más exhaustivo se conoce como muestreo volumétrico, el cual implica la extracción de un volumen específico del material subsuperficial del cauce. Esto significa primero remover la capa superficial para luego extraer el espesor equivalente o representativo de tamaño partículas de la corriente. La muestra extraída posteriormente debe ser el más representativo del río, tomando el criterio el 1% en peso de toda la muestra, o incluso un 0.1% en peso para una mayor

precisión. Por ejemplo, si $D_{\text{máx}} = 10\text{cm}$, estos criterios resultan en unos 100 y 1000kg respectivamente.

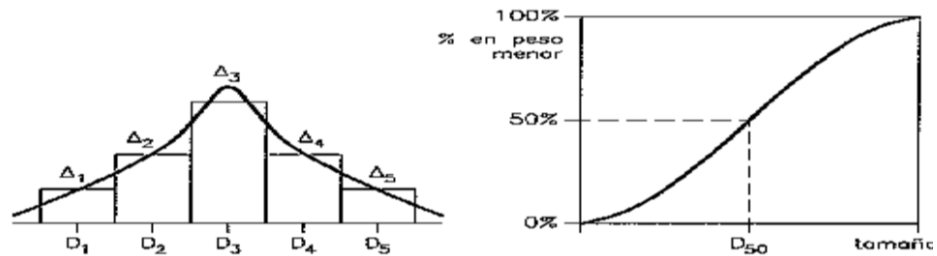
Los ríos con lechos pueden ser de dos tipos: granulares o cohesivos. Para el caso de los lechos granulares, están compuestos por partículas sueltas de diversos tamaños. El atributo más relevante en este contexto es el tamaño de las partículas, el cual representa el volumen que ocupan. El tamaño se refiere a la dimensión del segundo eje (eje b, según se muestra en la Figura N° 07) de un elipsoide que se asemeja a la partícula. Es importante notar que la dimensión b es crítica para determinar si una partícula puede pasar a través de un tamiz o si es retenida por este.

Figura 7

Ejes de una partícula



Nota: Adaptado de Ingeniería de ríos (p, 55), Martín Vide, 2004, Ediciones UPC, S.L

Figura 8*Curva Granulométrica*

Nota: Adaptado de Ingeniería de ríos (p, 55), Martín Vide, 2004, Ediciones UPC, S.L

2.2.3 Coeficiente de rugosidad

Chadwick (2021) señala que:

La variabilidad del coeficiente de rugosidad en sistemas hidráulicos se refiere a la diversidad de valores que puede presentar el coeficiente de aspereza o rugosidad “ n ” en diferentes tramos de una corriente, conducto o estructura hidráulica. (p 144).

2.2.3.1 Error de medición humano

Fernández (2018) menciona que:

Es crucial realizar una estimación precisa del coeficiente de Manning “ n ”, ya que cualquier error en este parámetro resultaría en errores similares en velocidad y caudal del agua. Esto representaría un riesgo significativo en los diseños de obras hidráulicas y modelo inundaciones.

2.2.3.2 Tablas de Coeficiente de Rugosidad

Chow (1994) señala que:

Las tablas contienen una lista de valores del coeficiente de rugosidad de Manning "n", se muestran los valores de coeficiente de aspereza o rugosidad mínimo, normal y máximo. Solo se recomiendan valores normales para canales artificiales bien mantenidos. Los valores resaltados en negrita suelen recomendarse para el diseño. Se recomienda aumentar los valores mostrados en función de la situación esperada o de acuerdo al mantenimiento en canales. Para determinar rápidamente el valor "n" necesario para un problema específico, estas tablas son muy útiles.

Tabla 3

Valores de Coeficiente de aspereza por Manning

Corrientes y canales	Condición del canal			
	perfecto	bueno	medio	Malo
Canal de tierra alineado y uniforme	0.017	0.020	0.023	0.025
Canal en roca liso y uniforme	0.025	0.030	0.033	0.035
Canal en roca con saliente y sinuoso	0.035	0.040	0.045	
Canal lento y sinuoso	0.023	0.025	0.028	0.030
Canal de tierra degradado	0.025	0.028	0.030	0.033
Canal de lecho de piedras con borde de tierra	0.025	0.030	0.035	0.040
Canal plantillado con tierra y taludes asperosos	0.028	0.030	0.033	0.035
Canales naturales (Corrientes)				
1. Corrientes sin charcos profundos, limpio, borde recto y lleno	0.025	0.028	0.030	0.033

2. igual al 1 con poca proporción de piedra y hierba	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Corrientes sinuosos con escollos, limpio y algunos charcos	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Parecido al 3 con poca profundidad, menos eficiencia en pendiente y sección	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Parecido al 3 corriente con poca piedra y hierba	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Parecido al 4 corriente con sección pedregosa	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Corrientes lentas con hierba y charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Corrientes en forma de playa con yerba	0.075	0.100	0.125	0.150

Fuente: Adaptado Hidráulica de Canales (p, 73), Máximo Villon, Tecnológica de Costa Rica.

Tabla 4

Valores de Coeficiente de Rugosidad propuesta por Ven te Chow

Descripción	Valor Mínimo	Valor Normal	Valor Máximo
C. Canal Excavado			
a. Canal de tierra con condición uniforme y recto			
1. Canal recién ejecutado y limpio	0.016	0.018	0.020
2. Canal expuesto a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Canal en condición uniforme, limpio y con gravas	0.022	0.025	0.030
4. Canal con presencia poca de maleza y pasto corto	0.022	0.027	0.033
b. Canal de tierra lento y serpenteante			
1. Canal limpio sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Canal con malezas y pasto	0.025	0.030	0.033
3. Canal con plantas acuáticas, malezas o densas	0.030	0.035	0.040

4. Canal de fondo de tierra con bordes de piedra	0.025	0.030	0.035
5. Canal con bancas de malezas y pedregoso	0.025	0.035	0.040
6. Canal limpio con fondo de cantos rodados	0.030	0.040	0.050
c. Canal excavado con herramientas como pala o dragado			
1. Canal sin vegetación	0.025	0.035	0.040
2. Canal con matorral ligero en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Canal en roca			
1. Canal uniforme y liso	0.025	0.035	0.040
2. Canal irregular y afilado	0.035	0.040	0.050
e. Canal con maleza sin mantener y sin cortar			
1. Canal con malezas densas altas con profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Canal limpio y matorral en los costados	0.040	0.050	0.080
3. Canal con máximo flujo	0.045	0.070	0.110
4. Canal con matorral denso y alto	0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales o ríos			
D.1 Corrientes menores (ancho de la superficie con nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Corrientes limpia, recta con máximo nivel sin montículo	0.025	0.030	0.033
2. Igual al 1 con proporción de piedra y maleza	0.030	0.035	0.040
3. Corriente limpio sin pozos y con bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al 3 con piedras y matorrales	0.035	0.045	0.050
5. Igual al 4 con pendiente sección menos eficiente	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4 con más proporción de piedra	0.045	0.050	0.060
7. Corrientes lentas con maleza y pozo profundo	0.050	0.070	0.080
8. Corrientes con maleza, pozo profundo con muchos árboles y matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
b. Corrientes montañosas sin vegetación, árboles y matorrales con bancas sumergidas			
1. Corriente con fondo de grava de cantos rodados y alguna proporción de roca	0.030	0.040	0.050
2. Corriente con fondo de cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D.2 Terrenos llanos o planicies de inundación			
a. Corrientes con pastizales sin matorrales			
1. Corriente con pasto corto	0.025	0.030	0.035

2. Corriente con pasto alto	0.030	0.035	0.050
b Corriente en áreas cultivables			
1. Corriente sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Corriente con cultivo de línea de maduros	0.025	0.035	0.045
3. Corriente con campos de cultivo maduro	0.030	0.040	0.050
c. Corriente en matorrales			
1. Corriente con matorrales con proporción mayor de maleza y dispersos	0.035	0.050	0.070
2. Corrientes con pocos matorrales y arboles de invierno	0.035	0.050	0.060
3. Corriente con pocos matorrales y arboles de verano	0.040	0.060	0.080
4. Corrientes con matorrales medios densos de invierno	0.045	0.070	0.110
5. Corriente con matorrales medios densos de verano	0.070	0.100	0.160
d. Corrientes en arboles			
1. Corrientes rectos de verano con sauces densos	0.110	0.150	0.200
2. Corriente con troncos sin retoño, pero limpios	0.030	0.040	0.050
3. Igual al 2 con mayor proporción de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Corriente con matorrales, troncos, árboles y niveles del agua por debajo de ramas	0.080	0.100	0.120
5. igual al 4 con creciente superior de las ramas caídas	0.100	0.120	0.160
D.3 Corrientes mayores de ancho > 100 pies. El valor del coeficiente de aspereza es menor con respecto a las descripciones similares debido a la menor resistencia a la aspereza en las bancas			
a. Corrientes con área regular sin matorrales ni cantos	0.025	0.060
b. Corrientes con sección irregular y mayor aspereza	0.036	0.100

Fuente: Adaptado Hidráulica de Canales Abiertos (p, 110), Ven te Chow, Mc Graw Hill.

2.2.2.3.2 Factores que afecta al coeficiente de rugosidad

Chow (1994) nos señala:

Es de esperar que los diseñadores consideren que un canal tiene un único coeficiente de dureza "n" para todas las circunstancias. Por regla general, el valor de n es un factor profundo y depende de varios elementos. Para elegir el valor adecuado de n en función de los distintos planos, resulta muy útil disponer de información esencial sobre los siguientes factores. Los factores que influyen en el coeficiente de rugosidad tanto en canales naturales o artificiales se mencionan más adelante; por lo tanto, la discusión de un factor específico puede repetirse al tratar otro.

A. Rugosidad Superficial. Se refiere a los tamaños de las partículas que conforman el perímetro mojado de un canal, lo cual influye en la resistencia del flujo. A menudo se cree erróneamente que este factor es el único determinante del coeficiente de rugosidad. En términos generales, los granos más finos están asociados con un coeficiente de rugosidad "n" relativamente bajo, mientras que los granos más gruesos tienden a producir un "n" más alto.

En ríos con lechos formados por materiales finos como arena, arcilla, marga o limo, la resistencia al flujo es considerablemente menor que en ríos con lechos de materiales gruesos como gravas o cantos rodados. En lechos finos, el coeficiente de rugosidad "n" tiende a ser bajo y no se afecta significativamente por cambios del nivel de flujo. Por otro lado, en lechos de gravas y cantos rodados, el "n" suele ser alto, especialmente en niveles bajos o altos. Los cantos rodados grandes suelen acumularse en el fondo del río, lo que aumenta la rugosidad en el fondo del canal y, por ende, el valor de "n" en niveles bajos.

En niveles altos, parte de la energía de flujo se emplea para desplazar los cantos rodados aguas abajo, lo que también aumenta el valor de "n".

- B. Vegetación. La vegetación es una especie de desagradable superficial que fundamentalmente disminuye el límite del canal y retrasa.
- C. Irregularidad del canal. Las anomalías en un directo pueden recordar variedades para el borde mojado, la forma y el tamaño del segmento transversal a lo largo del canal, así como otras, por ejemplo, bajíos, marejadas, bordes, hoyos y colinas en el lecho. Además de aumentar la rugosidad superficial, estas irregularidades aumentan el coeficiente de rugosidad del canal. Aunque los cambios uniformes y graduales en la sección transversal generalmente no tienen un impacto significativo en el valor de "n", los cambios bruscos o en secciones grandes y pequeñas requieren un valor de "n" más alto, que puede ser 0.005 o más. Este efecto también se produce por cambios que hacen que el flujo se mueva de un lado al otro del canal.
- D. Alineamiento del canal. Los valores de "n" tienden a ser relativamente bajos en curvas suaves con radios grandes, mientras que los valores de "n" aumentan en curvas bruscas con meandros severos. El valor de "n" puede aumentar en 0.001 por cada 20 grados de curvatura en 100 pies de canal, según los estudios en canaletas de laboratorio realizados por Scobey. Aunque es poco probable que la curvatura aumente el valor de "n" en más de 0.002 a 0.003, no se debe ignorar su efecto, ya que puede causar la acumulación de material flotante, lo que aumenta la rugosidad de manera indirecta. El aumento de la rugosidad en

canales sin revestimiento que transportan agua a baja velocidad es generalmente insignificante.

- E. Sedimentación y socavación. En general, la sedimentación puede hacer que un canal muy irregular sea más uniforme y reducir el valor de "n", mientras que la socavación puede hacer que el valor de "n" aumente. Sin embargo, el tipo de material depositado tendrá el mayor impacto de la sedimentación. Los depósitos no uniformes, por ejemplo, los bancos de arena o las marejadas, provocan anomalías y rugosidad en el canal. La cantidad y uniformidad de la socavación en el perímetro mojado dependerán del tipo de material utilizado. Por ejemplo, una cama de arena y gravilla tendría una erosión más uniforme que una cama de arcilla.
- F. Obstrucción. El valor de "n" debe aumentar debido a la presencia de obstáculos como troncos, muelles y diseños similares. La cantidad de este aumento varía según el tipo de obstáculo, que incluye su forma, tamaño, cantidad y distribución en el canal.
- G. Tamaño y forma del canal. No se ha llegado a ningún extremo autorizado sobre la importancia del tamaño y la forma del canal en el efecto del coeficiente de desagrado "n". Dependiendo de las condiciones particulares del canal, el valor "n" puede aumentar o disminuir como resultado de un aumento del radio hidráulico.
- H. Nivel y caudal. En la mayoría de los casos, a medida que aumenta el nivel del agua y el caudal en el canal, el coeficiente de rugosidad "n" tiende a disminuir. Las irregularidades en el fondo del canal se hacen más evidentes y tienen un

mayor impacto cuando el agua es poco profunda. Sin embargo, si las orillas son rugosas o cubiertas de pasto, el valor de "n" puede ser mayor en niveles altos.

- I. Cambio estacional. El valor de "n" puede aumentar durante la temporada de crecimiento debido al avance de plantas marinas, pastos, malezas, sauces y árboles en la vía fluvial o en sus orillas, mientras que puede disminuir durante la temporada inactiva. Otros aspectos del canal pueden verse afectados por este cambio estacional.
- J. Material en suspensión y carga de lecho. Independientemente de si las partículas en suspensión y la carga de la cama están en movimiento o no, absorberán energía y reducirán la altura del agua, lo que aumentará la rugosidad percibida del canal.

Es necesario examinar y evaluar cada uno de los factores mencionados en relación con las condiciones particulares del canal, el flujo actual, el nivel de mantenimiento y otros factores pertinentes. Estos componentes brindan una base para determinar el valor "n" adecuado para una situación específica.

A partir del reconocimiento de algunos factores de la etapa inicial que influyen en el coeficiente de aspereza, Cowan creó una técnica para medir el valor de n al percibir algunos factores importantes que afectan el coeficiente de asperidad. Este método permite encontrar el valor de "n" por.

Ecuación 27: Ecuación de Cowan

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad (27)$$

Cuando n_0 es un valor fundamental de n para un directo recto, uniforme y liso en los materiales regulares incluidos, n_1 es un valor que debe agregarse a n_0 para abordar el impacto de las rugosidades superficiales, n_2 vale la pena considerar variedades en forma y tamaño de las secciones transversales del canal, n_3 es un valor para tener en cuenta las obstrucciones, n_4 es un valor para tener en cuenta la vegetación y La Tabla N° 05 puede contener los valores n_0 a n_4 y m_5 adecuados según las condiciones proporcionadas.

Tabla 5

Tabla de valores del coeficiente de aspereza mediante Cowan

Descripción		Valores	
	Canal de tierra		0.020
	Canal en corte de roca		0.025
Material	Canal con grava fina	n_0	0.024
	Canal con grava gruesa		0.028
	Suave		0.000
Grado de irregularidad	Menor	n_1	0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
	Gradual		0.000
Variaciones de la sección transversal	Ocasionalmente alternante	n_2	0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000

	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
	Baja		0.005-0.010
Vegetación	Media	n4	0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
Grado de los efectos por meandros	Menor		1.000
	Apreciable	m5	1.150
	Severo		1.300

Fuente: Adaptado Hidráulica de Canales Abiertos, Ven te Chow, Mc Graw Hill.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Tirante

Es la profundidad desde la base de la corriente o canal hasta alcanzar el nivel de agua superior, o la proporción entre el espejo de agua y área hidráulica.

2.3.2 Flujo Uniforme

Es aquel conducto o canal que mantiene sus áreas, radios hidráulicos y velocidades constantes con el tiempo, o si las variaciones son mínimas y no tienen un impacto significativo en sus valores, manteniéndose invariable con el tiempo.

2.3.3 Capa limite

Es la frontera donde el flujo laminar se convierte en turbulento en un punto específico de la sección del canal.

2.3.4 Pendiente

Inclinación de un determinado conducto hidráulico con respecto a la altura y longitud.

2.3.5 Radio Hidráulico

Es la proporción entre el perímetro mojado de un canal o sección y su área transversal.

2.3.6 Velocidad de la corriente

Es aquella velocidad del flujo en momento dado.

2.3.7 Velocidad 0.80y

La velocidad se mide a una distancia de 0,8 y de la superficie del canal.

2.3.8 Velocidad 0.20y

La velocidad se mide a 0.20y de la superficie del canal.

2.3.9 Pendiente

Es la pendiente que presenta un conducto hidráulico en particular.

2.3.10 Rugosidad

Es la oposición al flujo del agua producido por las paredes y la cama de un canal.

2.3.11 Altura de rugosidad “k”

Viene a ser el diámetro o longitud de las partículas en el lecho de un río.

CAPITULO III

METODOLOGIA DE INVESTIGACION

3.1 Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El cálculo de los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning es menos recomendable en comparación a la metodología de Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

3.1.2. Hipótesis Específicas

a) Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Robert Manning demuestran menor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

b) Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Ven te Chow demuestran mayor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

c) Existe suficiente evidencia estadística para determinar que no existe diferencia significativa en los resultados de coeficiente de rugosidad determinados mediante la metodología de Robert Manning en comparación con la metodología de Ven te Chow, al demostrarse mayor exactitud de la metodología de Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

3.2 Método

La investigación será cuantitativa.

3.3 Tipo de investigación

Aplicada.

3.4 Nivel o alcance de investigación

El nivel de investigación será descriptivo comparativo, debido a que se busca describir el estado y/o comportamiento de una serie de variables.

3.5 Diseño de investigación

La tesis es no experimental transversal debido a que se recopiló datos en un solo momento sin alterar las variables.

3.6 Operacionalización de variables

Variable X1: Metodología Robert Manning.

Variable X2: Metodología Ven te Chow.

Variable Y: Coeficiente de rugosidad.

Tabla 6

Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Tipo	Instrumento
Variable X1: Metodología de Robert Manning	Es una de las formas de expresar la cantidad de resistencia al movimiento del agua en cauces naturales o artificiales (Chow, 1994)	Dimensión 1: Metodología Robert Manning	1.1 Pendiente 1.2 Radio Hidráulico 1.3 Área Hidráulica 1.4 Caudal o Gasto	metros/metros metros lineales metros cuadrados metros cúbicos	Formato de medición de caudales, área y velocidades mediante Correntómetro Norma 010-2016-ANA
	Consiste en extenderse a corrientes que contienen lechos con sedimentos en movimiento (Chow, 1994)	Dimensión 1: Método de medición de la velocidad	1.1 Velocidad medidas a 0.20 y 0.80 de profundidad en la corriente 1.2 Valor equivalente a la profundidad de agua	metros lineales metros lineales	
Variable X2: Metodología de Ven te Chow	Este método da la ecuación con un valor de n para un canal rugoso ancho con la ley de distribución logarítmica de velocidades (Chow, 1994)	Dimensión 2: Método de medición de la rugosidad	1.1 Función que relaciona el radio hidráulico con la altura relativa de rugosidad k.	constante	

Variable Y: Coeficiente de Rugosidad	La variabilidad del coeficiente de rugosidad en sistemas hidraulicos se refiere a la diversidad de valores que puede presentar el coeficiente de rugosidad “ <i>n</i> ” en diferentes tramos de un rio, conducto o estructura hidráulica (Chadwick, 2021)	Dimensión 1: Error de medición humano Dimensión 2: Tablas de coeficiente de rugosidad y factores que afecta el "n"	1.2 Radio Hidráulico	metros lineales	Formato de Granulometria Norma ASTM D-422
			1.3 Granulometría	D30,D50,D84,D90	
			Media, Desviación Estándar y Error Promedio de la Media Aritmética	Coeficiente	Hojas de cálculo y Gráficos de Desviación Estándar

Fuente: Elaboración Propia

3.7 Población, Muestra y Muestreo

Población: Después de elegir se exponen como la unidad de pruebas/investigación, las restricciones de la población a contemplar y se resumirán los descubrimientos. La disposición de todos los casos que cumplen con detalles específicos caracterizados se conoce como la población. (Lepkowski, 2008).

Para desarrollar esta investigación, la población del río Rontoccocha se consideró la longitud total del río tomando en cuenta las áreas más vulnerables, su fácil acceso y su medición.

Muestra:

La tesis se realizó por el método probabilístico, “cada uno de los componentes de la población tiene la probabilidad de ser elegidos” (Hernandez et al., 2014, p.175).

El río Rontoccocha cuenta con longitud de 160.00km de longitud del en la parte baja atumpata, existe riesgo de inundación aledañas a las viviendas existentes.

La cantidad de puntos de aforos se determinó mediante una muestra finita de la siguiente forma:

Se realizó una aproximación mediante el cálculo para una muestra finita dando el valor de $N=7,160.00$ metros de río Rontoccocha con $Z=1.96$ con una confiabilidad de $P=50\%$ y un $Q=(1-p)$ y un 50% de que no ocurra el evento y un error de 5.00% dando como resultado un tamaño de muestra de $n=364.65ml$

lineales representativos de medición para el río Rontoccocha, es así que de acuerdo a la accesibilidad y facilidad de medición se escogió 04 puntos de aforo que sean representativos al río Rontoccocha.

Muestreo:

El muestreo es probabilístico, se realizó la toma de datos en una sola medición.

3.8 Técnicas e Instrumentos

3.8.1 Técnicas e instrumentos para la investigación

Cada uno de los componentes de la población El surtido depende de instrumentos normalizados. Es uniforme para todos los casos. La información se obtiene por percepción, estimación y documentación. Se utilizan instrumentos que han demostrado ser sustanciales y sólidos en exámenes anteriores o se crean otros nuevos con miras a redactar auditorías y se prueban y modifican. Las preguntas, cosas o sugerencias utilizadas son explícitas con posibles resultados de reacción o categorías predeterminadas que es probable que se seleccionen. (Hernandez et al., 2014, p.12).

3.8.1.1 Técnicas

Observación: Se recopiló información mediante la metodología de Robert Manning y Ven te Chow. Ambos métodos utilizaron la observación directa.

Pruebas estandarizadas: Se dio uso la norma de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), resolución Jefatural N° 010-2016-ANA que fueron aplicados en cada

uno de los puntos de aforo y para el ensayo de granulometría se usó la norma ASTM D-422.

3.8.1.2 Instrumentos

“Activo que el científico utiliza para registrar datos o información sobre los factores que son de máxima prioridad” (Hernandez et al., 2014, p.199).

Instrumentos empleados y norma, se detalla a continuación:

Tabla 7

Instrumento, norma empleada

Ensayo ejecutado	Instrumento usado	Norma aplicado
Granulometría (D30, D50, D84, D90)	Formato granulometría	ASTM D-422
Método Correntómetro	Formato de medición de Caudales	Res.Jef. N° 010-2016-ANA

Nota: Elaboración Propia

3.9 Consideraciones éticas

El Código de Ética del Colegio de Ingenieros (2018), que establece los estándares que deben seguir los ingenieros con responsabilidad social, también se aplicará en los investigadores de la carrera de ingeniería civil.

La universidad Tecnológica de los Andes establece los principios éticos para la tesis en su código de ética, los cuales son los siguientes:

- El respeto a la dignidad humana.
- Búsqueda de la verdad y conocimiento.
- Ética, honestidad y responsabilidad en nuestras acciones.

- Igualdad y equidad en el trato y la justicia.
- Compromiso con la excelencia y la calidad en todo lo que hacemos.
- Ofrecimiento de un servicio de alta calidad.
- Liderazgo en el ámbito académico y tecnológico.
- Fomento de la innovación y la creatividad.
- Conciencia ambiental y responsabilidad hacia el entorno.
- Trabajo colaborativo y en equipo.
- Desarrollo continuo a través de la capacitación.
- Comunicación clara y efectiva.
- Promoción y difusión de la cultura.
- Respeto a la diversidad y la tolerancia.
- Compromiso con el progreso y desarrollo de nuestra comunidad y país.

Todas las referencias a otros autores han sido citadas correctamente en este documento de exploración; posteriormente, cualquier dato proveniente de composiciones o fuentes avanzadas no se presenta como mi creación.

3.10 Procesamiento estadístico

Las pruebas de especulación, también llamadas pruebas de importancia, tienen la motivación central detrás de evaluar articulaciones o suposiciones sobre las ventajas fácticas de la población, conocidas como límites. Formar la especulación de manera adecuada y legítima es fundamental, ya que estas pueden

ser sometidas análisis estadísticos con el objetivo de ser aceptadas o rechazadas. (Martínez, 2012, p. 324-325).

Para la tesis, se contempló hipótesis nulas e hipótesis alternas de lo que se desea probar donde a continuación se muestra las diferencias.

Hipótesis nula [$\mu_x = \mu_y$]: “es aquella a través de la cual se realiza una certificación sobre un límite que se verificará con el resultado muestral” (Martínez, 2012, p.328).

Hipótesis alterna [$\mu_x > \mu_y$], [$\mu_x < \mu_y$], [$\mu_x \neq \mu_y$], : el uno varía de la H_0 , o al menos, ofrece una opción que expresa que la hipótesis nula falsa. La hipótesis alterna expresa que el límite puede ser más alto (prueba unilateral a la derecha), más bajo (prueba unilateral a la izquierda) o equivalente (prueba recíproca) según la proposición hecha en la teoría de hipótesis. (Martínez, 2012, p.328).

La validación de la hipótesis nula se llevó a cabo utilizando pruebas estadísticas paramétricas, específicamente mediante la prueba t de Student aplicada a dos medias muestrales.

3.10.1. Procedimiento utilizado

Martínez (2012), nos indica que el muestreo es el procedimiento para la prueba de hipótesis, donde se muestra:

- Formular la hipótesis.
- Nivel de significancia.
- Varianza.

- Técnica y prueba estadística.
- Valores críticos y regiones de aceptación o rechazo.
- Toma de decisión.

a) Planteamiento de la hipótesis

Para el planteamiento de la hipótesis se considera una prueba de dos colas, mediante la hipótesis siguiente: El cálculo de los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning es menos recomendable en comparación a la metodología de Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

b) Nivel de significación o significancia

Utilizando una significancia del 5.00 % en cualquier investigación, que se representa por alfa igual a 0.05, significa el error o probabilidad.

c) Estadístico

Para diferenciar entre dos medias muestrales, considero la distribución "t" de Student. La fórmula se utilizó para calcular el estadístico:

Ecuación 28: T Student Calculado

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}} \quad (28)$$

Ecuación 29: Desviación Estándar

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (29)$$

Donde:

t_c : t student determinado.

\bar{x} : Promedio de la muestra 1 (Rugosidad por la metodología de Robert Manning).

y : Promedio de la muestra 2 (Rugosidad por la metodología de Ven te Chow).

n_1 : Muestra 1 (Rugosidad por metodología de Robert Manning).

n_2 : Muestra 2 (Rugosidad por la metodología de Ven te Chow).

s^2 : Desviación.

d) Determinación de la región crítica

La prueba es bilateral, de dos colas, porque no se conocía los valores específicos que se estaban evaluando por la metodología de Robert Manning es superior positivamente o negativamente a los valores por la metodología de Ven te Chow. El nivel de significación asumido fue del 2.5% a ambas colas con un valor $\alpha=0.025$. se muestra:

Tabla 8

Tabla para tabulación prueba de hipótesis

		$\alpha/2$												
		0.0005	0.001	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.2	0.25	0.3	0.4	0.45	0.475
Grados de libertad	1	636.61	318.3	63.65	31.82	12.70	6.31	3.07	1.37	1	0.72	0.32	0.158	0.079
	2	31.599	22.327	9.925	6.965	4.303	2.92	1.886	1.061	0.816	0.617	0.289	0.142	0.071
	3	12.924	10.215	5.841	4.541	3.182	2.353	1.638	0.978	0.765	0.584	0.277	0.137	0.068
	4	8.61	7.173	4.604	3.747	2.776	2.132	1.533	0.941	0.741	0.569	0.271	0.134	0.067
	5	6.869	5.893	4.032	3.365	2.571	2.015	1.476	0.92	0.727	0.559	0.267	0.132	0.066
	6	5.959	5.208	3.707	3.143	2.447	1.943	1.44	0.906	0.718	0.553	0.265	0.131	0.065
	7	5.408	4.785	3.499	2.998	2.365	1.895	1.415	0.896	0.711	0.549	0.263	0.13	0.065
	8	5.041	4.501	3.355	2.896	2.306	1.86	1.397	0.889	0.706	0.546	0.262	0.13	0.065
	9	4.781	4.297	3.25	2.821	2.262	1.833	1.383	0.883	0.703	0.543	0.261	0.129	0.064
	10	4.587	4.144	3.169	2.764	2.228	1.812	1.372	0.879	0.7	0.542	0.26	0.129	0.064
	11	4.437	4.025	3.106	2.718	2.201	1.796	1.363	0.876	0.697	0.54	0.26	0.129	0.064

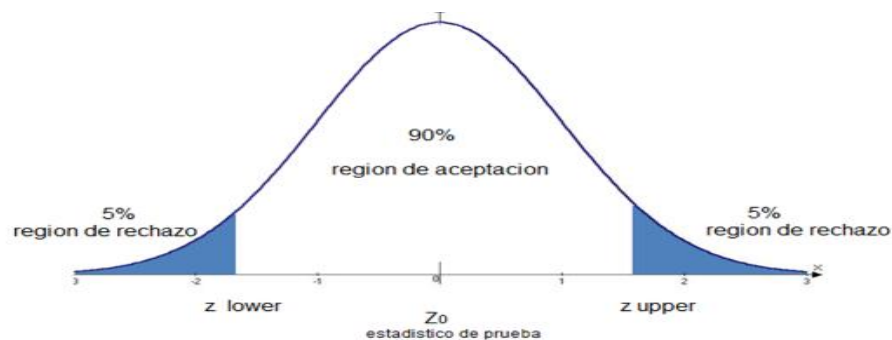
12	4.318	3.93	3.055	2.681	2.179	1.782	1.356	0.873	0.695	0.539	0.259	0.128	0.064
13	4.221	3.852	3.012	2.65	2.16	1.771	1.35	0.87	0.694	0.538	0.259	0.128	0.064
14	4.14	3.787	2.997	2.624	2.145	1.761	1.345	0.868	0.692	0.537	0.258	0.128	0.064
15	4.073	3.733	2.947	2.602	2.131	1.753	1.341	0.866	0.691	0.536	0.258	0.128	0.064
16	4.015	3.686	2.921	2.583	2.12	1.746	1.337	0.865	0.69	0.535	0.258	0.128	0.064
17	3.965	3.646	2.898	2.567	2.11	1.74	1.333	0.863	0.689	0.534	0.257	0.128	0.064
18	3.922	3.61	2.878	2.552	2.101	1.734	1.33	0.862	0.688	0.534	0.257	0.127	0.064
19	3.883	3.579	2.861	2.539	2.093	1.729	1.328	0.861	0.688	0.533	0.257	0.127	0.064
20	3.85	3.552	2.845	2.528	2.086	1.725	1.325	0.86	0.687	0.533	0.257	0.127	0.063

Nota: Valores para el cálculo de la región crítica en una distribución "t".
Fuente: Martínez (2012).

e) Prueba bilateral

Figura 9

Campana de Gauss



Nota: Grafico de zonas de aceptación o rechazo para "t" prueba bilateral con significancia de 5.00%.

Fuente: Martínez (2012)

e) Regla de decisión

Una vez tabulado y calculado se realiza la aceptación o rechazo de acuerdo a la campana de gauss de acuerdo al p valor si es mayor o menor que la significancia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Parámetros hidráulicos del río Rontoccocha

4.1.1.1 Ubicación de los puntos de estudio.

Se han establecido 04 puntos en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac, según las zonas vulnerables, los peligros naturales y la facilidad de medir los parámetros hidráulicos. Los puntos se detallan a continuación.

Los puntos provienen de una muestra de 364.65ml representativos determinado mediante una muestra finita, es así que se determinó en total una nivelación de 390.00 ml, esta longitud se ubicó de acuerdo a la accesibilidad y a cada 2km y a lo largo del río Rontoccocha.

Tabla 9*Ubicación de puntos de estudio*

PUNTOS EN EL RIO RONTOCOCHA				
PUNTOS EN EL RIO	PROGRESIVA	WGS-84 ZONA 18-S		ALTURA (msnm)
		ESTE	NORTE	
PA-01	0+200	732218.251	8490021.093	2612.000
PA-02	2+200	733291.688	8488707.656	2967.000
PA-03	4+200	734849.476	8487584.567	3432.000
PA-04	7+070	737013.000	8486046.000	3895.000

Nota: Elaboración Propia.

a. PA-01: Punto de Aforo 01

Se ubica en atumpata aguas abajo, inicia en la progresiva 00+200.00 km, este tramo está expuesta a desbordamientos debido al crecimiento del caudal del río Rontoccocha en épocas de Máximas Precipitaciones, se consideró esta progresiva debido a la fácil accesibilidad, medición y presencia de un flujo casi uniforme.

b. PA-02: Punto de Aforo 02

Ubicado en el sector atumpata, en el río Rontoccocha aguas arriba progresiva 02+200.00 km, se consideró esta progresiva debido a la fácil accesibilidad, medición y presencia de un flujo casi uniforme.

c. PA-03: Punto de Aforo 03

Se ubica en el río Rontoccocha aguas arriba progresiva 04+200.00 km, se consideró esta progresiva debido a la fácil accesibilidad, medición y presencia de un flujo casi uniforme

d. PA-04: Punto de Aforo 04

Se ubica en el río Rontoccocha aguas arriba progresiva 07+070.00 km, se consideró esta progresiva debido a la fácil accesibilidad, medición y presencia de un flujo casi uniforme.

4.1.1.2 Características Hidráulicos y Geométricos de las Secciones del río Rontoccocha.

Se determina mediante la ecuación (04), Ecuación (05) , Ecuación (07) para obtener los parámetros hidráulicos del Río Rontoccocha y el caudal proveniente del equipo correntómetro, en el cuadro N° 10 se muestra la pendiente por punto de aforo, el PA-01 se realizó la nivelación de una distancia de 110 ml con un desnivel de 7.06 ml obteniendo -0.06418m/m , para el PA-02 se realizó la nivelación de una longitud de 90 ml con un desnivel de 4.16ml obteniendo -0.04622m/m , para el PA-03 se realizó la nivelación de una longitud de 110ml con desnivel de 4.45ml obteniendo -0.04050m/m y por último el PA-04 una longitud de 80ml con un desnivel de aguas arriba a aguas abajo 3.652ml obteniendo -0.04565m/m o -4.56% , es así que se tuvo una nivelación total de 390 ml superior a la muestra calculada que es representativo de río Rontoccocha.

Tabla 10

Pendientes en el Río Rontoccocha

Puntos de Aforo	Pendiente del Río (S) (ml/ml)
(Punto-01)	-0.06418
(Punto-02)	-0.04622
(Punto-03)	-0.04045
(Punto-04)	-0.04565
Pendiente Máxima	-0.06418
Pendiente Mínima	-0.04045

Pendiente Promedio	-0.04913
---------------------------	-----------------

Nota: Elaboración Propia.

En la tabla N° 10 se visualiza la inclinación promedio del río Rontoccocha de -0.04913 m/m o -4.913% una pendiente mínima de -0.04045m/m o -4.05% y por último una pendiente máxima -0.06418m/m o -6.418% en un total de 390.ml de longitud de nivelación representativa del río Rontoccocha.

Tabla 11

Tabla de Profundidades del Río Rontoccocha.

Puntos de Aforo	Profundidad Máxima (ml)	Profundidad Mínima (ml)	Profundidad Media (ml)
PA-01	0.58	0.22	0.44
PA-02	0.42	0.26	0.38
PA-03	0.44	0.27	0.39
PA-04	0.42	0.27	0.33

Nota: Elaboración Propia.

Tabla 12

Área, Perímetro y Radio Hidráulico

Puntos	A (m²)	P(ml)	R(ml)
(PA-01)	1.44	4.11	0.350
(PA-02)	1.19	3.83	0.311
(PA-03)	1.28	3.94	0.325
(PA-04)	1.328	4.58	0.290

Nota: Elaboración Propia.

4.1.2 Coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning

4.1.2.1 Calculo del coeficiente de resistencia o rugosidad

Los resultados de coeficiente de rugosidad calculado mediante la metodología de Robert Manning se observan en la tabla N° 14.

Los coeficientes de rugosidad por la metodología de Robert Manning se utilizó la ecuación N° 03, los ítems 4.1.1.1 Ubicación de los Puntos de Aforo, 4.1.1.2 Características Hidráulicos y Geométricos de las Secciones del río Rontoccocha, el resultado del gasto se consideró realizando el producto del área de franjas con la velocidad promedio por punto de aforo proveniente del equipo correntómetro.

Tabla 13

Caudales de acuerdo a los Parámetros Hidráulicos

Punto de Aforo	A (m²)	P (ml)	Radio hidráulico (ml)	Inclinación (ml/ml)	Gasto (m³/s)
PA-01	1.44	4.11	0.350	0.0642	1.62700
PA-02	1.21	3.91	0.309	0.0462	1.56000
PA-03	1.27	3.89	0.328	0.0405	1.80000
PA-04	1.33	4.58	0.289	0.0457	2.04000

Nota: Elaboración Propia.

Tabla 14

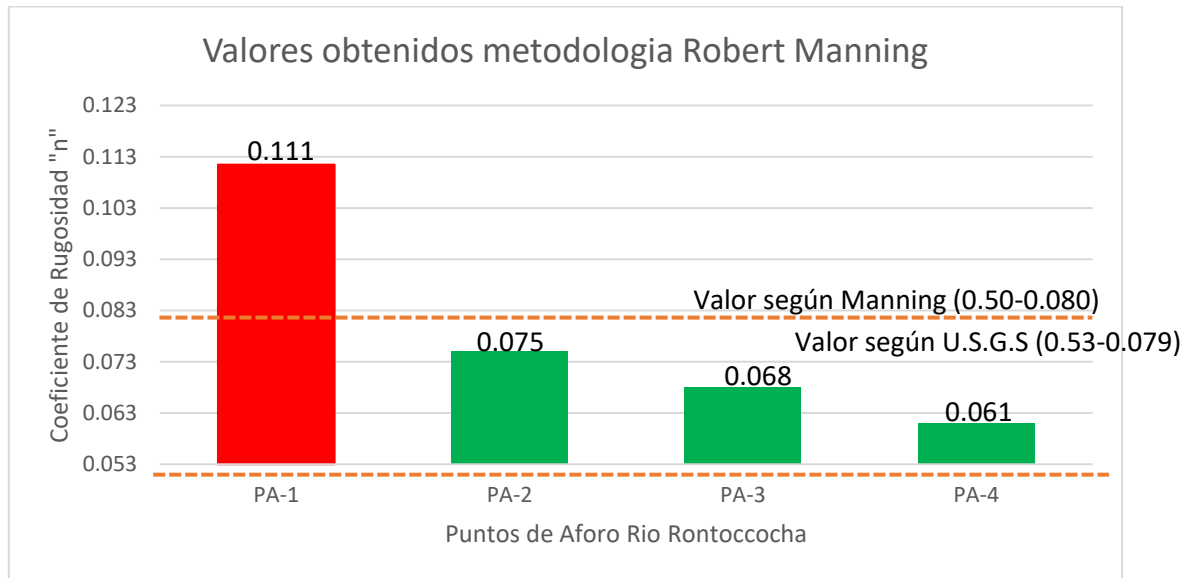
Resultados por la metodología de Robert Manning

Coeficiente de rugosidad por la metodología de Robert Manning	
Puntos	n
(PA-01)	0.111
(PA-02)	0.075
(PA-03)	0.068
(PA-04)	0.061

Nota: Elaboración Propia.

Figura 10

Valores de “n” según la Metodología Robert Manning



Nota: Elaboración Propia.

Según la figura N° 10 los valores obtenidos para el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac por la metodología de Robert Manning tienen un valor fuera del rango para el punto de Aforo N° 01 comparados con las tablas de Robert Manning y los rangos mínimos y máximos según U.S.G.S “Roughness Characteristics of Natural Channels”.

4.1.2 Coeficientes de resistencia, mediante la metodología de Ven te Chow

4.1.2.1 Coeficiente de resistencia o rugosidad(velocidades)

4.1.2.1.1 Velocidades y relación $V_{0.20h}/V_{0.80h}$ de los puntos de medición.

Los siguientes resultados que muestran son velocidades al 20% del tirante y 80% del tirante medida desde el nivel superior del agua, estos resultados fueron medidos a en cada punto del río, así mismo las tablas contienen las relaciones

“ $X=V_{0.20}/V_{0.80}$ ”. Para el cálculo de los coeficientes se usó la ecuación $X=V_{0.20h}/V_{0.80h}$, esto indica la relación entre esos dos resultados como “X” y será mayor a la unidad.

Se muestran las tablas N°15, 16, 17, 18, 19 y 20 que muestran los datos de los tirantes, Velocidad al 80% del tirante, Velocidad al 20% del tirante, Velocidades Mínimas, Velocidades Máximas, Velocidades promedio y ancho del río.

Tabla 15

Lecturas del PA-01 (Ancho de río=3.41m)

N° de lectura Correntómetro	h (m)	V _{0.80h} (m/s)	V _{0.20h} (m/s)	X
-	-	-	-	-
1	0.16	0.351	1.030	2.934
2	0.29	0.899	1.000	1.112
3	0.37	0.555	1.350	2.432
4	0.44	0.625	1.230	1.968
5	0.60	0.340	1.120	3.294
6	0.55	0.340	1.050	3.088
7	0.50	0.555	1.290	2.324
-	-	-	-	-
Promedio		0.524	1.153	2.300

Nota: Elaboración Propia, donde h: Tirante del Agua, V_{0.20h}: Velocidad a 0.20h, V_{0.80h}: Velocidad a 0.80h, X: V_{0.20h}/V_{0.80h}.

Tabla 16

Lecturas del PA-02 (Ancho de río=3.30m)

N° de lectura Correntómetro	h (m)	V _{0.80h} (m/s)	V _{0.20h} (m/s)	X
--------------------------------	----------	-----------------------------	-----------------------------	---

-	-	-	-	-
1	0.18	0.340	1.180	3.471
2	0.29	0.550	1.300	2.364
3	0.37	0.390	1.140	2.923
4	0.39	0.485	1.200	2.474
5	0.42	0.365	1.210	3.315
6	0.42	0.475	1.210	2.547
7	0.40	0.490	1.150	2.347
-	-	-	-	-
	Promedio	0.442	1.199	2.777

Nota: Elaboración Propia, donde h: Tirante del Agua, $V_{0.20h}$: Velocidad a 0.20h, $V_{0.80h}$: Velocidad a 0.80h, X: $V_{0.20h}/V_{0.80h}$.

Tabla 17

Lecturas del PA-03 (Ancho de río=3.37m)

N° de lectura Correntómetro	h (m)	$V_{0.80h}$ (m/s)	$V_{0.20h}$ (m/s)	X
-	-	-	-	-
1	0.16	0.325	1.290	3.969
2	0.33	0.400	1.270	3.175
3	0.43	0.450	1.260	2.800
4	0.44	0.330	1.200	3.636
5	0.42	0.540	1.400	2.593
6	0.41	0.488	1.250	2.561
7	0.40	0.399	1.450	3.634
8	0.30	0.399	1.385	3.475
-	-	-	-	-
	Promedio	0.416	1.313	3.230

Nota: Elaboración Propia, donde Tirante del Agua, $V_{0.20h}$: Velocidad a 0.20h, $V_{0.80h}$: Velocidad a 0.80h, X: $V_{0.20h}/V_{0.80h}$.

Tabla 18

Lecturas del PA-04 (Ancho de río=4.10m)

N° de lectura Correntómetro	h (m)	$V_{0.80h}$ (m/s)	$V_{0.20h}$ (m/s)	X
-	-	-	-	-
1	0.19	0.680	1.850	2.721

2	0.30	0.438	1.690	3.858
3	0.31	0.550	1.800	3.273
4	0.26	0.477	1.650	3.459
5	0.29	0.583	1.700	2.916
6	0.33	0.650	1.740	2.677
7	0.44	0.655	1.750	2.672
8	0.36	0.520	1.710	3.288
9	0.31	0.682	1.840	2.698
10	0.25	0.555	1.710	3.081
-	-	-	-	-
Promedio		0.579	1.744	3.064

Nota: Elaboración Propia, donde Tirante del Agua, $V_{0.20h}$: Velocidad a 0.20h, $V_{0.80h}$: Velocidad a 0.80h, X: $V_{0.20h}/V_{0.80h}$.

Tabla 19

Velocidades máximas, mínimas y media

Puntos de Aforo	$V_{0.80h}$			$V_{0.20h}$		
	Velocidad Máxima (m/s)	Velocidad Mínima(m/s)	Velocidad Media (m/s)	Velocidad Máxima (m/s)	Velocidad Mínima (m/s)	Velocidad Media (m/s)
PA-01	0.899	0.340	0.534	1.300	1.000	1.130
PA-02	0.650	0.340	0.467	1.210	1.120	1.170
PA-03	0.540	0.325	0.467	1.300	1.220	1.270
PA-04	0.682	0.438	0.576	1.750	1.120	1.710

Nota: Elaboración Propia.

Tabla 20

Relación de velocidad en diferentes condiciones

Puntos de Aforo	$V_{0.20h}/V_{0.80h}$ máx.	$V_{0.20h}/V_{0.80h}$ min	$V_{0.20h}/V_{0.80h}$ media
PA-01	3.29	1.11	2.30
PA-02	3.471	1.769	2.616
PA-03	3.969	2.407	3.097
PA-04	3.858	2.551	3.022

Nota: Elaboración Propia.

4.1.2.1.1 Coeficiente de resistencia o rugosidad Ven te Chow(velocidades)

Se muestra los resultados resumidos de los coeficientes de rugosidad obtenidos para los puntos de medición en el río Rontoccocha utilizando el método de velocidades se muestran a continuación en la Tabla N° 25. Para obtener los coeficientes de rugosidad, Se aplico la ecuación N° 17. Los resultados necesarios son las relaciones de velocidad "X" que se muestran en las Tablas N° 21,22,23 y 24.

Tabla 21

Resultado de "n" por el método de velocidades PA-01

PA-01	h (m)	V _{0.80h} m/s	V _{0.20h} m/s	x	n
-	-	-	-	-	-
1	0.16	0.351	1.030	2.934	0.046
2	0.26	0.899	1.000	1.112	0.006
3	0.37	0.555	1.350	2.432	0.049
4	0.44	0.625	1.230	1.968	0.040
5	0.60	0.340	1.120	3.294	0.070
6	0.55	0.340	1.050	3.088	0.066
7	0.50	0.555	1.290	2.324	0.050
-	-	-	-	-	-
				Promedio	0.054
				Des. Est	0.0118
				Coef.Varia.	22.05%

Nota: Elaboración Propia, donde h: Altura de base al nivel de agua, V_{0.20h}: Velocidad a 0.20h, V_{0.80h}: Velocidad a 0.80h, X:V_{0.20h}/V_{0.80h}, n:Coeficiente de Rugosidad.

Tabla 22

Resultado de "n" por el método de velocidades PA-02

AFORO N°	h (m)	V _{0.80h} m/s	V _{0.20h} m/s	x	n
----------	----------	---------------------------	---------------------------	---	---

-	-	-	-	-	-
1	0.18	0.340	1.180	3.471	0.054
2	0.29	0.550	1.300	2.364	0.045
3	0.37	0.390	1.140	2.923	0.057
4	0.39	0.485	1.200	2.474	0.050
5	0.42	0.365	1.210	3.315	0.064
6	0.42	0.475	1.210	2.547	0.053
7	0.40	0.490	1.150	2.347	0.048
				Promedio	0.053
				Des. Est	0.0065
				Coef.Varia.	12.29%

Nota: Elaboración Propia, donde h: Altura de base al nivel de agua, $V_{0.20h}$: Velocidad a 0.20h, $V_{0.80h}$: Velocidad a 0.80h, $X:V_{0.20h}/V_{0.80h}$, n:Coeficiente de Rugosidad.

Tabla 23

Resultado de "n" por el método de velocidades PA-03

AFORO N°	h (m)	$V_{0.80h}$ m/s	$V_{0.20h}$ m/s	x	n
-	-	-	-	-	-
1	0.16	0.325	1.290	3.969	0.056
2	0.33	0.400	1.270	3.175	0.059
3	0.43	0.450	1.260	2.800	0.057
4	0.44	0.330	1.200	3.636	0.069
5	0.42	0.540	1.400	2.593	0.053
6	0.41	0.488	1.250	2.561	0.052
7	0.40	0.399	1.450	3.634	0.067
8	0.30	0.441	1.385	3.141	0.057
				Promedio	0.059
				Des. Est	0.0061
				Coef.Varia.	10.31%

Nota: Elaboración Propia, donde h: Altura de base al nivel de agua, $V_{0.20h}$: Velocidad a 0.20h, $V_{0.80h}$: Velocidad a 0.80h, $X:V_{0.20h}/V_{0.80h}$, n:Coeficiente de Rugosidad .

Tabla 24

Resultado de "n" por el método de velocidades PA-04

AFORO N°	h (m)	V _{0.80h} m/s	V _{0.20h} m/s	x	n
-	-	-	-	-	-
1	0.19	0.680	1.850	2.721	0.046
2	0.30	0.438	1.690	3.858	0.065
3	0.31	0.550	1.800	3.273	0.059
4	0.26	0.477	1.650	3.459	0.059
5	0.29	0.583	1.700	2.916	0.054
6	0.33	0.650	1.740	2.677	0.052
7	0.44	0.655	1.750	2.672	0.055
8	0.36	0.520	1.710	3.288	0.062
9	0.31	0.682	1.840	2.698	0.051
10	0.25	0.555	1.710	3.081	0.054
				Promedio	0.056
				Des. Est	0.0056
				Coef.Varia.	10.15%

Nota: Elaboración Propia, donde h: Altura de base al nivel de agua, V_{0.20h}: Velocidad a 0.20h, V_{0.80h}: Velocidad a 0.80h, X: V_{0.20h}/V_{0.80h}, n: Coeficiente de Rugosidad .

Tabla 25

Resumen de "n" por el método de velocidades PA-01,02,03 Y 04

Coeficiente de rugosidad por la metodología de Velocidades	
Puntos	n
(PA-01)	0.054
(PA-02)	0.053
(PA-03)	0.059
(PA-04)	0.056

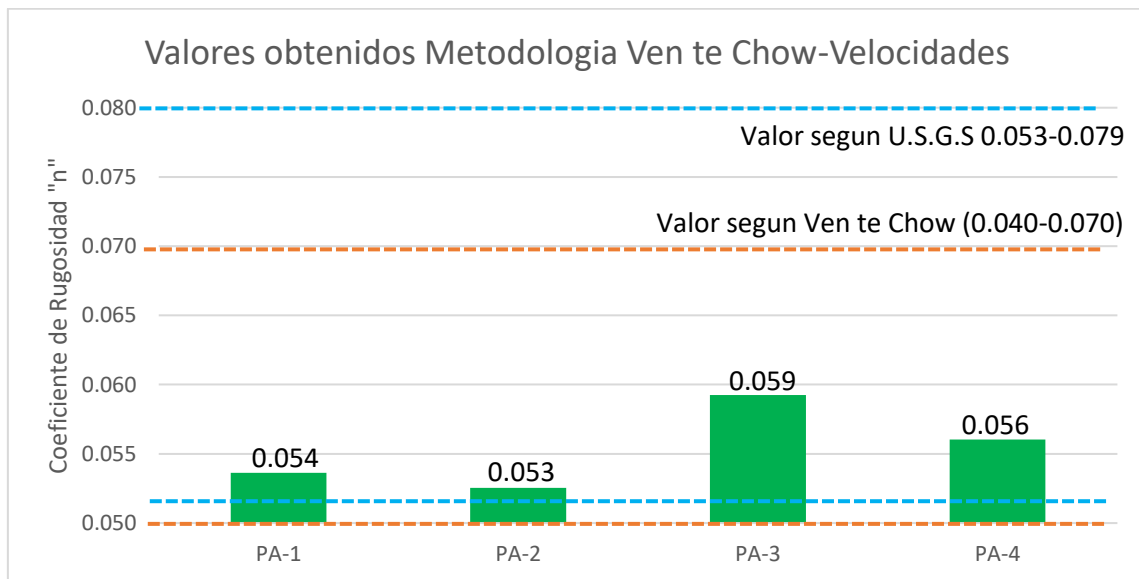
Nota: Elaboración Propia.

Se muestra la tabla N° 25 donde tenemos los promedios de cada estación de aforo donde el coeficiente de rugosidad mínimo es 0.053 y el máximo un

coeficiente de 0.059, los resultados para cada estación de aforo se resumen de las tablas N° 21,22,23 y la tabla N° 24.

Figura 11

Valores de "n" según la Metodología Ven te Chow-Velocidades



Nota: Elaboración Propia.

Según la figura N° 12 se puede interpretar, la metodología Ven te Chow-Velocidades, los valores obtenidos para el río Rontoccocha se encuentran dentro del rango propuestas en las tablas de Ven te Chow y U.S.G.S "Roughness Characteristics of Natural Channels".

4.1.2.2 Coeficiente de rugosidad por altura de rugosidades

Para poder determinar el coeficiente de resistencia, aspereza o rugosidad se utilizaron la Tabla N° 25, Ecuaciones 24, Ecuaciones 25, Ecuaciones 26 y Figura 05.

Los resultados de altura (k), que se aprecia en la Tabla N° 26, se obtuvieron de acuerdo con las ecuaciones proporcionadas en el marco teórico. Se realizó un análisis con gráfico entre la variable rugosidad “n” calculado con el método de velocidad versus la altura de rugosidad donde se podrá demostrar su correlación entre ambas variables, que se representan en las figuras número 12 y 13.

Tabla 26

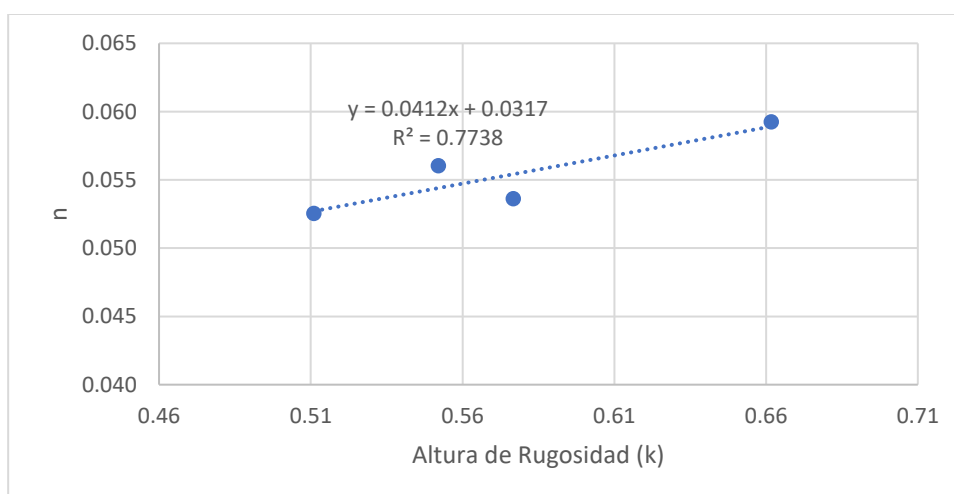
Resultados de altura de rugosidades

Puntos	n	Des. Est. de n	Radio Hidráulico (m)	Altura rugosidad k(m)	R/k	Ø(R/k)	R'/R
(PA-01)	0.054	0.0099	0.35	0.58	0.61	0.058	0.45
(PA-02)	0.053	0.0075	0.31	0.51	0.61	0.052	0.53
(PA-03)	0.059	0.0067	0.32	0.66	0.49	0.046	0.65
(PA-04)	0.056	0.0050	0.29	0.55	0.53	0.040	0.78
Promedio=	0.056					0.047	

Nota: Elaboración Propia.

Figura 12

Figura n vs k

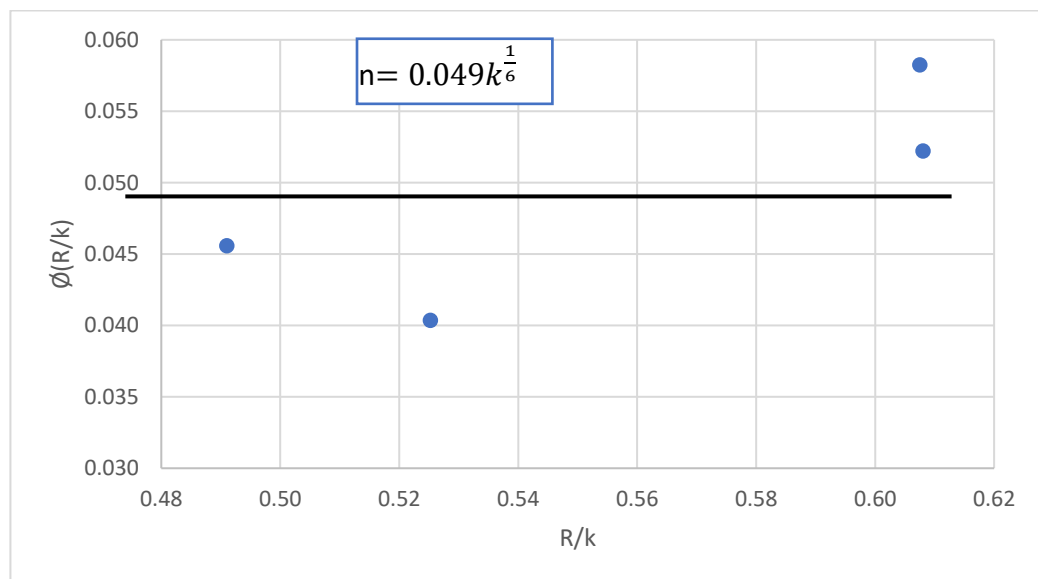


Nota: Elaboración Propia, donde n: Coeficiente de Rugosidad, k: Altura de Rugosidad.

De acuerdo a los resultados y la figura mostrada se deduce que están correlacionados con un coeficiente de determinación $R^2=0.7738$. Esto indica que la altura de rugosidad puede explicar aproximadamente el 77,38% de la variabilidad del coeficiente de rugosidad, mientras que el 22,62% restante se debe a errores y otras variables que no se incluyeron en el análisis. Además, el coeficiente de correlación R de 87,96% muestra una fuerte correlación fuerte entre ambos parámetros n y k.

Figura 13

$\emptyset(R/k)$ vs R/k



Nota: Elaboración Propia, donde $\emptyset(R/k)$: Función que relaciona radio hidráulico y k, R/k : Relación Radio Hidráulico y altura k

La variación de $\emptyset(R/k)$ es mínima en un amplio rango de valores de R/k , y puede ser aproximada por el valor medio de esos valores, que es igual a 0.032 para los ríos Mississippi y 0.049 para el río Rontococha para la evaluación y comparación.

Para eso tomamos la tabla N° 26. Donde se puede calcular "n" en función de la altura (k) utilizando la combinación de la Figura N°03 en el marco teórico y la ecuación N°26.

$$n = 0.049k^{\frac{1}{6}}$$

Tabla 27

Diámetros Efectivos de la corriente por punto medido

Punto (10	30	50	84	90
(PA-01)	9.31	39.08	48.28	67.07	70.49
(PA-02)	10.64	27.98	41.37	63.67	68.37
(PA-03)	10.17	28.47	35.72	73.84	83.88
(PA-04)	1.54	9.61	26.58	39.83	46.50
PROMEDIO	7.92	26.29	37.99	61.10	67.31
DESV.EST.	4.29	12.24	9.18	14.80	15.48
C.V	54.14%	46.56%	24.16%	24.22%	23.00%

Nota: Elaboración Propia.

La tabla N° 27 muestra los diámetros efectivos para cada punto de aforo D_{30} , D_{50} , D_{84} y D_{90} .

Según el análisis, el diámetro D_{90} es el más representativo del río Rontoccocha, desviación estándar de 15.48 , coeficiente de variación de 23.00%. Esto da como resultado la ecuación que muestra donde el coeficiente de rugosidad se calculará utilizando el D_{90} en cualquier punto del río.

$$n = 0.049k_{90}^{\frac{1}{6}}$$

4.1.3 Evaluar y comparar los valores obtenidos entre las metodologías de estudio.

4.1.3.1 Evaluación de los valores obtenidos mediante ambas metodologías.

Los resultados de la metodología de Robert Manning y la metodología de Ven te Chow, que se muestran en la Tabla N° 28, serán evaluados en la presente sección.

Para realizar evaluación tomamos los resultados de las tablas N° 14 y la tabla N° 25.

Tabla 28

Evaluación entre la metodología de Robert Manning y Ven te Chow

Punto de Aforo	Metodología Robert Manning(n)	Metodología Ven te Chow
	Velocidades(n)	
(PA-01)	0.111	0.054
(PA-02)	0.075	0.053
(PA-03)	0.076	0.059
(PA-04)	0.061	0.056
Promedio	0.081	0.056
DESV.EST.	0.02153	0.00298

Nota: Elaboración Propia.

Para optar el n_{promedio} de los puntos de aforo se tomó en cuenta dos métodos de estimación de coeficiente de rugosidad como (medición por la Metodología de Robert Manning, Medición por la metodología de Ven te Chow a la vez que este se divide en dos métodos, medición por velocidades y altura de rugosidades).

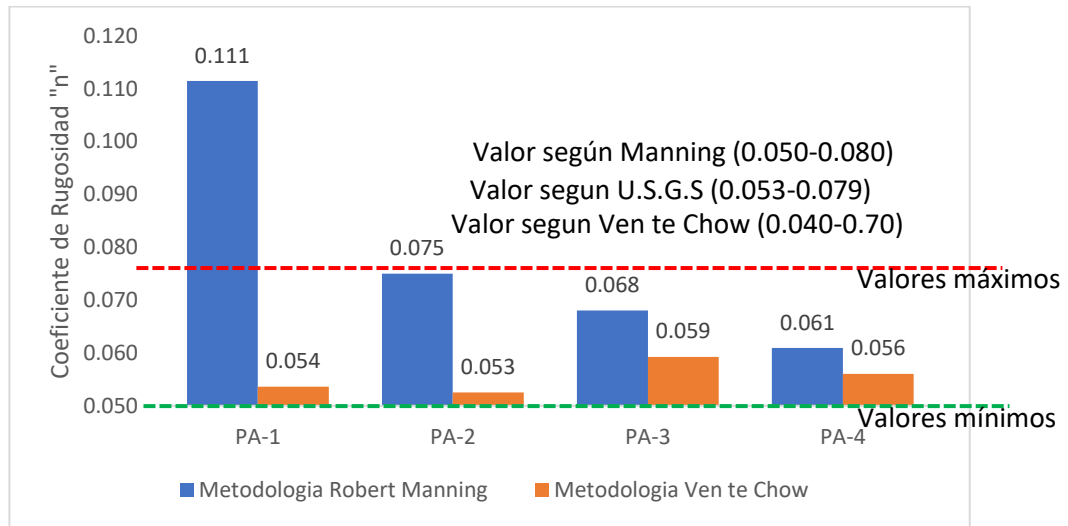
De acuerdo a la Tabla N° 28 se aprecia los resultados por la metodología de Robert Manning un valor fuera del rango por el cual se tomó en cuenta el promedio los puntos de aforo 02,03 y 04 dando como resultado un $n_{\text{promedió}}=0.071$, desviación estándar de 0.0215, coeficiente de variación de 30.46%, esto se interpreta que el grado de asociación entre sus valores es muy disperso por lo tanto no es aplicable a ríos de alta montaña por la metodología de Robert Manning.

Para la metodología de Ven te Chow que se caracterizado por dos métodos, para el primer método de velocidades se obtuvo un valor $n_{\text{promedió}}=0.056$, desviación estándar de 0.0030, coeficiente de variación 5.38%, esto se puede interpretar que su grado asociación entre sus valores es menor con respecto al metodología de Robert Manning por lo que es aplicable para el Rio Rontoccocha.

Para el método de altura de rugosidades no es posible comparar ya que la metodología de altura de rugosidad resulta una ecuación que se podría aplicarse de acuerdo al diámetro efectivo D_{90} en cualquier punto del rio Rontoccocha.

Figura 14

Evaluación entre met. Robert Manning y Ven te Chow



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N° 14 se visualiza la evaluación de los valores obtenidos para las metodologías de Robert Manning y Ven te Chow en el Rio Rontoccocha , donde el primer método Manning no es aplicable al rio en estudio por arrojar valores fuera de los rangos permitidos mientras que el segundo método Ven te Chow se adecua de mejor y es aplicable al rio Rontoccocha por dar resultados más certeros dentro los rangos mínimos y máximos permitidos de acuerdo a las tablas propuestas por Manning, Ven te Chow y U.S.G.S.

4.1.3.2 Comparación entre la metodología de Robert Manning y Ven te Chow

Se realizará la comparación entre la metodología de Robert Manning y Ven te Chow y una tercera metodología que viene a ser Cowan, dicho método se eligió por su confiabilidad de estimación del coeficiente de rugosidad y tomar mejores parámetros de cálculo de "n" en ríos, mediante los resultados descritos en la tabla

N° 28 calculamos las desviaciones estándar, errores absolutos, errores relativos y grado de exactitud entre ambas metodologías.

Tabla 29

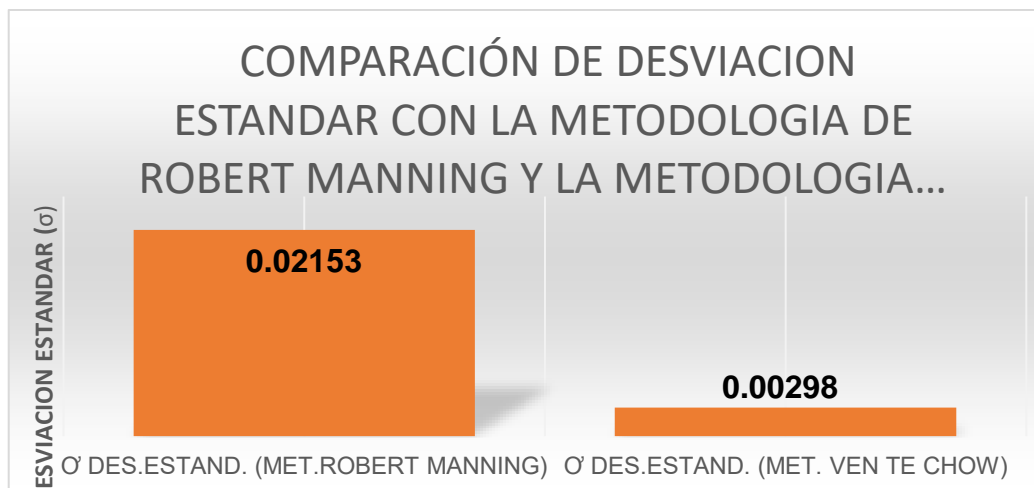
Evaluación comparativa entre las dos metodologías del coeficiente de rugosidad

Punto	Metodología Robert Manning	Metodología Ven te Chow
PA-01	0.111	0.054
PA-02	0.075	0.053
PA-03	0.076	0.059
PA-04	0.061	0.056
Promedio	0.081	0.056
DESV.EST.	0.02153	0.00298

Nota: Elaboración Propia.

Figura 15

Comparación desv.est. de Robert Manning y la Met. de Ven te Chow



Nota: Elaboración Propia.

Según la figura N° 15 se visualiza la desviación estándar por cada metodología, donde la Metodología de Robert Manning arroja mayor valor con respecto a la metodología de Ven te Chow.

Donde se interpreta, la metodología de Robert Manning sus resultados de coeficiente de rugosidad determinados están más dispersos alrededor del valor promedio. Esto indica que hay mayor variabilidad en los datos medidos.

Mientras que la Metodología de Ven te Chow sus resultados de coeficiente de rugosidad determinados están más cerca del valor promedio. Esto indica que hay menor variabilidad en los datos donde se puede decir que hay mayor consistencia en los datos medidos.

Tabla 30

Intervalo de confianza al 95% de las des.est. Met.Robert Manning

MET. ROBERT MANNING	
DESV. ESTANDAR	0.0213
MEDIA	0.0215
ALFA	0.05
N (MUESTRA)	4
INT CONFIANZA (95%)	0.0209
DESDE	0.0006
HASTA	0.0424
	75.00%
	3

Nota: Elaboración Propia.

Se presentan los resultados tras calcular el intervalo de confianza al 95% para todos los resultados de coeficiente de resistencia o rugosidad obtenidos mediante la metodología de Robert Manning. Esto se realiza para verificar si las

Según la tabla N° 32 para poder comparar las metodologías de estudio se realizó entre un tercer método que vendría ser Cowan, este método según Fernández de Córdova (2018) su grado de confiabilidad es precisa y también mencionar que dicho método toma criterios como la vegetación, irregularidad, tipo de terreno, meandros, sinuosidad, dicho esto nos apoyamos con este método y calculamos el grado de exactitud para las metodologías en estudio.

Tabla 33

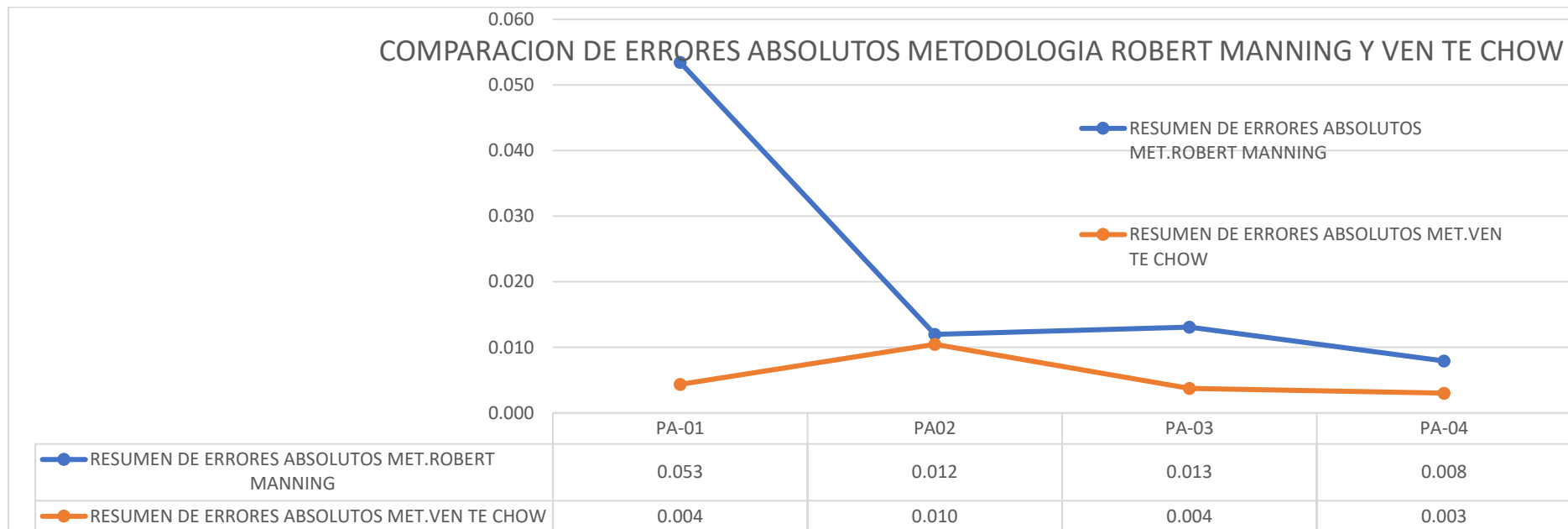
Cuadro de resumen de Error Absoluto entre ambas metodologías

PUNTOS DE AFORO	ERRORES ABSOLUTOS MANNING	ERRORES ABSOLUTOS CHOW
PA-01	0.053	0.004
PA02	0.012	0.010
PA-03	0.013	0.004
PA-04	0.008	0.003

Nota: Elaboración Propia.

Figura 16

Comparación de errores absolutos en cada punto de aforo entre las Met. Robert Manning y Ven te Chow



Nota: Elaboración Propia.

- Análisis

Según la figura N° 16 los resultados obtenidos de errores absolutos del coeficiente de rugosidad por ambas metodologías, la metodología de Ven te Chow presenta menor variabilidad de "n".

Tabla 34

Cuadro de resumen de error relativo entre ambas metodologías

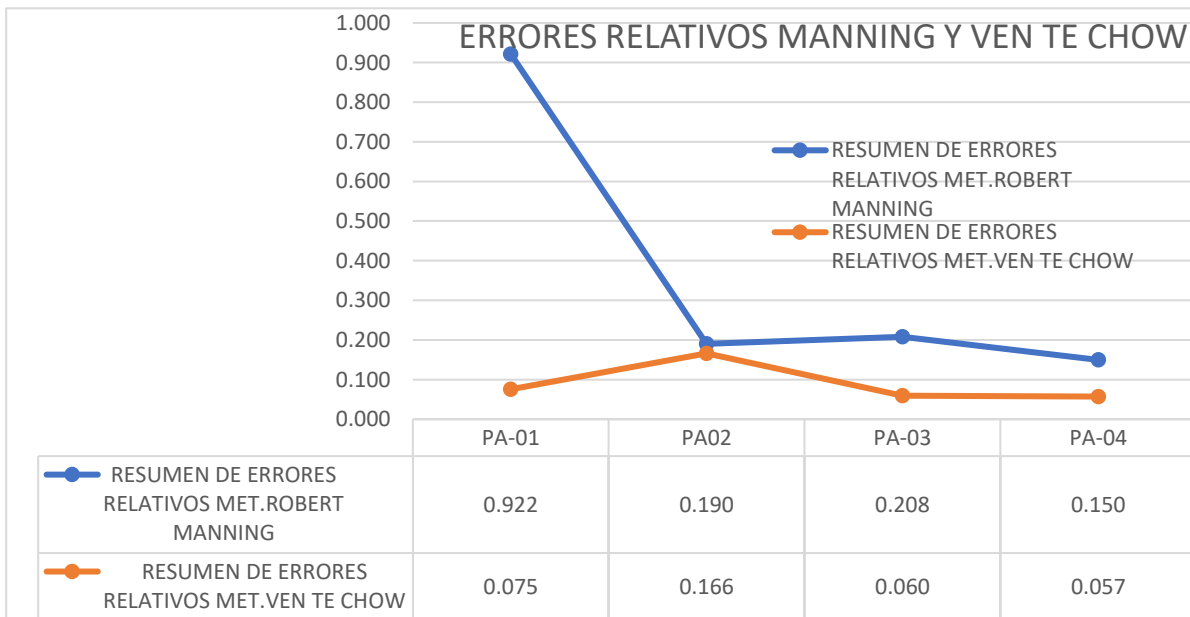
PUNTOS DE AFORO	RESUMEN DE ERRORES RELATIVOS MET.ROBERT MANNING	RESUMEN DE ERRORES RELATIVOS MET.VEN TE CHOW
PA-01	0.922	0.075
PA02	0.190	0.166
PA-03	0.208	0.060
PA-04	0.150	0.057

Nota: Elaboración Propia.

Figura 17

Comparación de errores relativos entre ambas metodologías

Nota: Elaboración Propia



- **Análisis**

Según la figura N° 17 los resultados obtenidos de errores relativos del coeficiente de rugosidad por ambas metodologías, la metodología de Ven te Chow presenta menor variabilidad de valores de “n”.

Tabla 35

Porcentaje de exactitud entre la Met. de Robert Manning y Ven te Chow

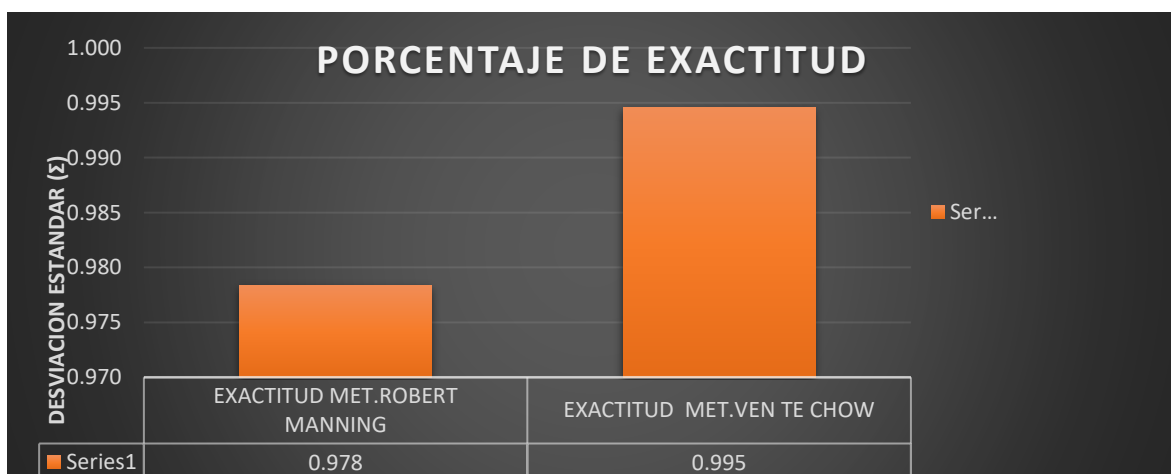
PUNTOS	EXACTITUD	EXACTITUD
	MET.ROBERT MANNING	MET.VEN TE CHOW
(PA-01)	0.947	0.996
(PA-02)	0.988	0.990
(PA-03)	0.987	0.996
(PA-04)	0.992	0.997
PROMEDIO	0.978	0.995

Nota: Elaboración Propia

Se muestra la tabla N° 35 el resumen de exactitud entre ambas metodologías donde se deduce y concluye que ambos métodos tienen un grado de precisión y exactitud superior al 90% de confiabilidad, donde se deduce que ambas metodologías se podrían aplicar de acuerdo al tipo condición del canal o corriente donde la metodología de Ven te Chow demuestra mayor precisión y exactitud al momento de calcular los coeficientes de rugosidad para el río Rontoccocha.

Figura 18

Resumen en exactitud entre la Met. Robert Manning y Ven te Chow



Nota: Elaboración Propia

Se muestra la figura N° 18 de comparación de exactitud para determinar el coeficiente de rugosidad entre las metodologías de Robert Manning y Ven te Chow, demostrando que existe suficiente evidencia estadística para determinar que no existe diferencia significativa en los resultados de coeficiente de rugosidad determinados mediante la metodología de Robert Manning en comparación con la metodología de Ven te Chow, al demostrarse mayor exactitud para determinar el coeficiente de rugosidad mediante la metodología de Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022, pero que en cuestión de exactitud y precisión la metodología de Ven te Chow logro arrojar datos más certeros y precisos.

4.2 Discusión de Resultados

Menciona Burgos (2016), que el valor promedio del coeficiente de rugosidad de Manning para el río Chonta es de 0.1182, mientras que para el río Rontoccocha el resultado por la metodología de Robert Manning el valor promedio es de 0.071 y un valor muy alto para PA-01 de 0.111. Chinchay (2020) en su tesis utilizó la ecuación de Manning donde obtuvo un valor promedio de n de 0.0587. De esta manera se deduce que los resultados para la metodología de Robert Manning difieren significativamente respecto a los valores obtenidos por Chinchay Antequera y Burgos. La tabla N° 03 muestra los valores de coeficiente de rugosidad por la metodología de Robert Manning para corrientes naturales, donde los valores obtenidos difieren significativamente con respecto a la tabla N° 03 corrientes en terreno rocoso de montaña y de charcos profundos 0.050 – 0.080, mientras que los valores obtenidos del mismo comparando con la U.S.G.S valores recomendados de 0.053 a 0.079 de acuerdo U.S.G.S. Barnes (1967) difieren de igual forma en sus valores obtenidos mediante la metodología de Robert Manning porque lo que se deduce que la presente metodología no se recomienda para ríos de alta montaña Rontoccocha donde sus valores como la pendiente, Área hidráulica, Radio hidráulico y caudal no sean uniformes y constantes a lo largo de su longitud de estudio.

Para el río Rontoccocha el coeficiente de rugosidad por el método de velocidades se obtuvo un $n_{\min}=0.053$, $n_{\max}=0.059$ y $n_{\text{promedio}}=0.056$ donde dichos valores para corrientes naturales se encuentran dentro del rango establecido de 0.053-0.079 de acuerdo **U.S.G.S** (Barnes, 1967). Para corrientes montañosas con

características similares al río Rontoccocha, mientras que los valores de acuerdo a la tabla Ven te Chow 0.050-0.080 los valores obtenidos mediante la metodología Ven te Chow se encuentran dentro de los parámetros mínimo y máximo. Chinchay (2019) obtuvo un valor promedio de 0.0331 con características corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales. Así mismo Rosales (2019) obtuvo un valor promedio de 0.036 con corrientes montañosas con fondo, grava, piedras y pocos cantos rodados mientras que para la presente tesis se obtuvo un coeficiente de rugosidad promedio 0.056 de acuerdo a la tabla N° 04 Fondo: cantos rodados con rocas grandes valor entre mínimo 0.040 medio 0.050 y un máximo 0.070 encontrándose dentro del rango con características similares al río Rontoccocha.

Los resultados para la estimación del coeficiente de rugosidad por el método de altura de rugosidad para el río Rontoccocha está dado por la ecuación: $n = 0.049k^{\frac{1}{6}}$ que viene ser mayor que la ecuación $n = 0.0336k^{\frac{1}{6}}$ obtenido en los grandes ríos de Venezuela (Osio, 2000). Y a la par con la ecuación $n = 0.044k^{\frac{1}{6}}$ obtenido en el río chonta (Burgos, 2016). Razón por la cual la presente ecuación planteada es recomendable para la zona de estudio, sin embargo, las ecuaciones mostradas difieren de acuerdo a las características topográficas llanas o accidentadas (grandes ríos de Venezuela) y altas montañas (Cajamarca).

Con respecto a, Fernandez, (2018) al comparar entre varias metodologías de medición del coeficiente de rugosidad como es Cowan, S.C.S, Ven te Chow, HEC RAS, U.S.G.S, Jarret, Meyer-Peter y Muller, Limerinos y fotografías del libro

de Hidraulica de Canales abiertos, concluyo que las metodologias apropiados de estimacion del coeficiente de rugosidad en la estacion Barabon del rio Yanuncay fueron el metodo de Cowan, S.C.S y Ven te Chow(Velocidades), mientras que para la presente tesis al evaluar y comparar el coeficiente de rugosidad mediante la metodologia de Robert Manning y Ven te chow, la metodologia de Ven te Chow arrojó resultados mas exactos en el rio Rontoccocha.

4.3 Prueba de hipótesis

4.3.1 Prueba de hipótesis especifica N° 01

Tabla 36

Prueba de normalidad Resultados. Met. Robert Manning

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	P-valor.
Rugosidad Manning	,338	4	.	,877	4	,324

Nota: Elaboración Propia

Se muestra la Tabla N° 36 el P-valor es mayor que el alfa 5.00% por lo tanto se demuestra que los resultados de coeficiente de rugosidad por la metodología de Robert Manning presentan distribución normal. De acuerdo a lo mostrado se validará con una prueba estadística de t Student de una muestra.

Tabla 37

Prueba de hipótesis especifica N° 01

Descripción	Resultados del coeficiente de rugosidad con la metodología de Robert Manning	
Planteamiento de Hipótesis Especifica N° 01	Hipótesis nula [$\mu_x < \mu_y$] Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Robert Manning demuestran menor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022. Hipótesis alterna $\mu_x > \mu_y$] Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Robert Manning demuestran mayor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.	
Nivel de significación	0.05	
"t" tabulado	=-2.35	
Región Crítica	< $-\infty$; -2.35]	
"t" calculado	-2.35	- 2.029
Condición	"t" calculado se encuentra en zona de aceptación.	
Decisión: Como el P-valor =0.067 >0.05	Se rechaza hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula= Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Robert Manning demuestran menor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.	

Nota: Elaboración propia.

La tabla N° 37 presenta un análisis de prueba de hipótesis al 95% de confiabilidad donde al determinar los coeficientes de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning, se observa que el p-valor es mayor lo que significa rechazar la hipótesis alterna y aceptar que existe resultados obtenidos mediante la metodología de Robert Manning demuestran menor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad, lo que significa que la metodología de Robert Manning presenta menor exactitud.

4.3.2 Prueba de hipótesis específica N° 02

Tabla 38

Prueba de normalidad Resultados .Met. Ven te Chow

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	P-valor
Rugosidad ven te Chow	,219	4	.	,947	4	,700

Nota: Elaboración Propia

Se muestra la tabla N° 38 el P-valor es mayor que el alfa 5.00% por lo tanto se demuestra que los resultados de coeficientes de rugosidad por la metodología de Ven te Chow presentan distribución normal. De acuerdo a lo mostrado se validará con una prueba estadística de t Student de una muestra

Tabla 39

Prueba de hipótesis específica N° 02

Descripción	Resultados del coeficiente de rugosidad con la metodología de Ven te Chow
Planteamiento de Hipótesis Específica N° 02	Hipótesis nula [$\mu_x < \mu_y$] Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Ven te Chow demuestran menor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022. Hipótesis alterna $\mu_x > \mu_y$] Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Ven te Chow demuestran mayor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.
Nivel de significación	0.05
"t" tabulado	=-2.35
Región Crítica	[+2.35; $+\infty >$

"t" calculado	2.35	2.53
Condición	"t" calculado se encuentra en zona de rechazo	
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna = Existe resultados obtenidos mediante la metodología de Ven te Chow	
Como el P-valor =0.043< 0.05	demuestran mayor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.	

Nota: Elaboración propia

La tabla N° 39 presenta un análisis de prueba de hipótesis al 95% de confiabilidad donde al determinar los coeficientes de aspereza o rugosidad mediante la metodología de Ven te Chow , se observa que el p-valor es menor por lo tanto se rechazara la hipótesis nula y aceptar que existe resultados obtenidos mediante la metodología de Ven te Chow demuestran mayor exactitud en la determinación de los coeficientes de rugosidad, lo que significa que la metodología de Ven te Chow presenta mayor exactitud.

4.3.3 Prueba de hipótesis específica N° 03

De acuerdo a las tablas N° 36 y 38 los resultados de coeficiente de rugosidad por ambas metodologías presentan una distribución normal, para la hipótesis específica N° 03 se usará un t Student para muestras independientes.

Tabla 40

Prueba de hipótesis específica N° 03

Descripción	Comparar entre la metodología de Robert Manning y Ven te Chow
Planteamiento de Hipótesis Especifica N° 03	Hipótesis nula [$\mu_x = \mu_y$] Existe suficiente evidencia estadística para determinar que no existe diferencia significativa en los resultados de coeficiente de rugosidad determinados mediante la metodología de Robert Manning en comparación con la metodología de Ven te Chow, al demostrarse mayor exactitud de la metodología de Ven te Chow en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

	Hipótesis alterna $\mu_x \neq \mu_y$] Existe suficiente evidencia estadística para determinar que existe diferencia significativa en los resultados de coeficiente de rugosidad determinados mediante la metodología de Robert Manning en comparación con la metodología de Ven te Chow, al demostrarse mayor exactitud de la metodología de Ven te Chow en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.			
Nivel de significación	0.05/2			
"t" tabulado	=-3.18			
Región Crítica	< $-\infty$; -3.18] [+3.18; $+\infty$ >			
"t" calculado	-3.18	- 2.33	+2.33	+3.18
Condición	"t calculado" se encuentra dentro de la zona de aceptación			
Decisión	Se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula = Existe suficiente evidencia estadística para determinar que no existe diferencia significativa en los resultados de coeficiente de rugosidad determinados mediante la metodología de Robert Manning en comparación con la metodología de Ven te Chow, al demostrarse mayor exactitud de la metodología de Ven te Chow en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.			
Como el P-valor =0.097 >0.05				

Nota: Elaboración propia

Se muestra en la tabla N° 40 un análisis de prueba de hipótesis al 95% de confiabilidad donde al determinar los coeficientes de resistencia o rugosidad mediante la metodología Robert Manning y Ven te Chow , se observa que el p-valor es superior lo que se deduce que se rechaza la hipótesis alterna y aceptar que existe suficiente evidencia estadística para determinar que no existe diferencia significativa en los resultados de coeficiente de rugosidad determinados mediante la metodología de Robert Manning en comparación con la metodología de Ven te Chow, al demostrarse mayor exactitud de la metodología de Ven te Chow en el rio Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022, esto indica que ambas metodologías no defieren significativamente al determinar el coeficiente de rugosidad pero que la metodología de Ven te Chow es más precisa en comparación con la metodología

de Robert Manning al determinarse el coeficiente de rugosidad en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022.

CONCLUSIONES

Del Objetivo General. Se realizó una evaluación y comparación para determinar el coeficiente de rugosidad entre dos métodos. Por lo que se concluye, al determinar el coeficiente de resistencia o rugosidad mediante la metodología de Robert Manning es menos recomendable en comparación a la metodología de Ven te Chow en el río Rontoccocha-Abancay-Apurímac 2022, donde se pudo evidenciar que ambas metodologías no difieren significativamente en sus valores al determinar el coeficiente de rugosidad pero que la metodología de Ven te chow fue más exacto con respecto a la metodología de Robert Manning al momento de determinar los coeficientes de rugosidad en el río Rontoccocha.

Del objetivo Especifico N° 01. Se determino los coeficientes de rugosidad por la metodología de Robert Manning , los resultados obtenidos arrojan valores no confiables, siendo para el PA-01 un valor de 0.111 ,sin considerar el primer punto de aforo se obtuvo un promedio de 0.071 con un C.V 30.46% concluyendo que este método no es aplicable para ríos de alta montaña por presentar mayor variabilidad, donde los valores obtenidos se encuentran fuera de los rangos mínimos y máximos propuestos por diferentes autores reconocidos como U.S.G.S, tablas de Ven te Chow y Manning, cabe aclarar que en canales de riegos la metodología de Robert Manning es más exacta por considerar diferentes parámetros para este tipo de obras.

Del objetivo Especifico N° 02. Se concluye, para la metodología de Ven te Chow los resultados de coeficiente de resistencia o rugosidad mediante el método de ven te Chow(velocidad) arroja un valor promedio de 0.056 con un C.V de 5.38% , esta metodología se adecuada de mejor forma al rio Rontoccocha de alta montaña por arrojar valores sin mucha dispersión, coeficiente de variación y menor variabilidad , estar dentro los rangos según tablas propuestas por Manning, ven te Chow y U.S.G.S.

Para el segundo método de la altura de rugosidad se obtuvo una ecuación igual a $0.049k^{1/6}$ que se podrá aplicar en cualquier punto del rio Rontoccocha identificando su $D_{máx}$ equivalente al D_{90} , concluyendo que el método de la altura “k” es aplicable para las corrientes del rio Rontoccocha por considerar la granulometría del lecho de rio.

Del objetivo Especifico N° 03. Se determino la evaluación y comparación de los valores resultantes mediante las metodologías de Robert Manning y ven te Chow, donde de acuerdo a la prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 03 ambas metodologías no difieren significativamente en sus resultados pero que en cuestiones de exactitud y variabilidad, la metodología de Ven te Chow demostró menor variabilidad arrojando resultados más exactos para el rio Rontoccocha con 99.50 % de exactitud, mientras que la metodología de Robert Manning arrojó un 97.80% de exactitud, determinando así mediante la metodología de Ven te Chow un coeficiente de rugosidad de $n=0.056$ para el rio Rontoccocha.

RECOMENDACIONES

- **Para el objetivo General.**

Se recomienda utilizar la metodología de Ven te Chow cuando se calcule o determine el coeficiente de resistencia o rugosidad en ríos de alta montaña similar al río Rontoccocha.

- **Para el objetivo Especifico N° 01**

Se recomienda utilizar la metodología de Robert Manning en obras de canales de irrigación donde los parámetros hidráulicos ya estén definidos, mientras que para los ríos de alta montaña no es tan recomendable el método mencionado por no considerar ciertos parámetros como el tipo de granulometría en los ríos.

- **Para el objetivo Especifico N° 02**

Se recomienda utilizar la metodología de Ven te Chow al momento de calcular el coeficiente de resistencia o rugosidad en los ríos de alta montaña similares al río Rontoccocha.

- **Para el objetivo Especifico N° 03**

Se recomienda utilizar ambas metodologías al momento de calcular el coeficiente de resistencia o rugosidad de acuerdo a las condiciones del flujo ya sea en canales de concreto para el primer método Manning y ven te chow para ríos similares al río Rontoccocha, de acuerdo a la presente tesis la metodología de Ven te Chow presenta mayor exactitud y menor variabilidad en el instante de realizar cálculos del coeficiente de rugosidad para el río Rontoccocha.

- Se recomienda realizar las mediciones del coeficiente de rugosidad en diferentes tiempos para así ver el comportamiento del coeficiente de rugosidad a lo largo del tiempo.
- Se recomienda realizar más investigaciones acerca del coeficiente de rugosidad en ríos en diferentes condiciones topográficas, tiempo, etc.
- Se recomienda realizar más cálculos del coeficiente de rugosidad en los ríos de la región Apurímac y así determinar los modelos de inundaciones exactos en función al coeficiente de rugosidad.
- Se recomienda realizar una zonificación de coeficientes de rugosidad en los ríos de Apurímac para así poder tener mayor criterio al momento de diseñar obras de defensas ribereñas, modelamientos de inundaciones, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alonso, L. R. (setiembre de 2005). Resistencia al flujo de rios de montaña.
Desarrollo de ecuaciones de prediccion. Universitat de Lleida.
- ANA, A. N. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hidricos Superficiales. RESOLUCION JEFATURAL N° 010-2016-ANA.
- Burgos, F. N. (2016). Estimacion del coeficiente de rugosidad de Manning mediante mediciones de velocidad y profundidad, empleando un molinete hidrometrico, en el rio Chonta, Cajamarca, 2016. (*Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca*). Cajamarca: Repositorio Institucional. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1507>
- Chadwick, M. B. (2021). *Hidraulics in Civil And Environmental Engeneering.* España: CRC Press.
- Chichay, A. E. (2019). Comparacion de metodos analiticos en el calculo del coeficiente de rugosidad frente al de Manning, en la parte baja de cinco subcuencas del rio Santa, entre Recuay y Caraz, 2019. Recuay, Huaraz, Peru.
- Chinchay, A. E. V. (2020). Comparacion de Metodos Analiticos en el Calculo del Coeficiente de Rugosidad frente al de Manning, en la parte baja de cinco Subcuencas del Rio Santa, entre Recuay y Caraz. Recuay, Caraz:

Repositorio UNASAM. Recuperado de

<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5294>

Chow, V. T. (1994). *Hidraulica de Canales Abiertos*.

Colegio de Ingenieros del Perú. (2018). *Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú*. Lima: CIP.

Fernandez de Cordova, C. L. (2018). Influencia del metodo de estimacion en el coeficiente de Manning para cauces naturales. La habana, Cuba: *Revista Scielo*, XXXIX, 17-31. Recuperado de. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100002

Fernandez, M. R. (2018). Influencia del metodo de estimacion en el coeficiente de Manning en cauces naturales. *Ingenieria Hidraulica y Ambiental*.

Gracia, S. J., & Maza, A. J. (2012). Morfologia de los Rios. Investigador Instituto de Ingenieria UNAM.

Barnes, H. H. J. (1967). *Roughness Characteristics of Natural Channels(USGS)*. Washington: U.S GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 1849.

Luis, A. H. (2017). Guía Práctica para Aforar en Canales y Cauces Naturales, Utilizando Instrumentacion Basica y de Bajo Costo. *Trabajo previo a la Obtención del Titulo de Tecnólogo en Agua y Saneamiento Ambiental*. Escuela Politecnica Nacional, Quito.

- Martin, J. (2004). *Ingenieria de Rios*. Barcelona. 301 P: Ediciones de la Universitat Politecnica de Catalunya.
- Martinez, B. C. (2012). *Estadistica y muestreo*. Bogota, Cundinamarca: Imagen editorial Impresores.
- Mayo, R. M. (2010). *Determinacion de Regimenes de Caudales Ecologicos Minimos. Adaptacion del Metodo IFIM-PHABSIM y sus aplicaciones a los rios Españoles*. España: Departamento de Ingenieria Forestal, Escuela Tecnica Superior de Ingenieria de Montes. Recuperado de <https://oa.upm.es/667/>
- Osio, Y. M. V. (2000). *Calculo del coeficiente de rugosidad "n" de Manning en los grandes rios de Venezuela*. Venezuela: *Revista INGENIERIA UC*, 7(2).
Recuperado de. Obtenido de <https://www.redalyc.org/resumen.oa?id=70770202>
- Pastora, F. D. (2010). *Evaluación de la formula de Manning en el rio Ostua. (Tesis de Maestria, Universidad de San Carlos de Guatemala)*. San Carlos, Ciudad de Guatemala, Guatemala: Repositorio Institucional USAC.
Recupertado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0398_MT.pdf
- Ricaurte, Y. (2018). *Estimación del coeficiente de Manning con el metodo de los dos puntos en el rio Negro (Cundinamarca). (Tesis de Pregado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas)*. Cundinamarca, Bogotá, Colombia: Trabajos de grado. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/13336>

- Rocha, a. F. (2007). *Hidraulica de Tuberias y Canales*.
- Rojas, C. R. (2021). *Comportamiento del flujo en canales abiertos por cambios de rugosidad-canal Sahuinto, Abancay, Apurimac, 2021*. Lima, Lima, Lima: Repositorio UCV. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83130>
- Rosales, J. C. (2019). *Modelo de estimación del coeficiente de Rugosidad de Manning en funcion de la Granulometria en el rio Santa, Sector Recuay - Carhuaz - Ancash, 2019*. Recuay, Carhuaz, Ancash: Repositorio Institucional. Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4227>
- Ruberto, A. R. (2003). *Estudio exploratorio de la sensibilidad del coeficiente de rugosidad en un rio de llanura*. Departamento de Hidraulica-Facultad de Ingenieria-UNNE, 4. Recuperado de <https://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/eduvirtual/Cuencas/maestria/docs/seminv/Lec>
- Siampieri & Hernandez (2014). *Metodologia de la investigacion*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.
- Villon, B. M. (2002). *Calculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza.
- Villon, B. M. (1995). *Hidraulica de Canales*. Costa Rica: Editorial Tecnologica de Costa Rica.

Villon, B. M. (s.f.). *Curso de Especialización Gestion de Cuencas Hidrograficas - Calculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes