



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN RELACIÓN  
A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN  
NUÑO A, PROVINCIA DE MELGAR**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA - PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN RELACIÓN  
A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN  
NUÑO A, PROVINCIA DE MELGAR**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

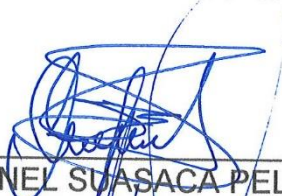
**INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

  
: \_\_\_\_\_  
Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

**PRIMER MIEMBRO**

  
: \_\_\_\_\_  
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

**SEGUNDO MIEMBRO**

  
: \_\_\_\_\_  
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**ASESOR DE TESIS**

  
: \_\_\_\_\_  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1379-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 28 de octubre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU - 10086 presentado por el (la) Bachiller: **LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- \* **1er Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- \* **2do Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**ARTICULO SEGUNDO.** - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES.**

**ARTICULO TERCERO.** - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.** de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : lunes 03 de noviembre del 2025
- \* **HORA** : 14:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 406 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc:  
Archivo  
Investigación



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1929-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 30 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 14837 por el señor (a): LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES quien solicita REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis), el PROVEIDO - N° 1484 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 349 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO A, PROVINCIA DE MELGAR, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 349 - 2024 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO A, PROVINCIA DE MELGAR, Correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS), para la REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN, presentado por el señor (a): LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO A, PROVINCIA DE MELGAR correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como ASESOR DE INVESTIGACIÓN al (a) la), Dr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA DECANO CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Efraín Parillo Sosa DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc. Archivo interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1333-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 22 de octubre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU-13370, presentado el señor (a) **LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 1037 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 340-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 340-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HÍDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. WILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"  
Dr. Efraín Pardo Sosa  
DIRECTOR  
CIUDAD DE INVESTIGACIÓNcc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



# 15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

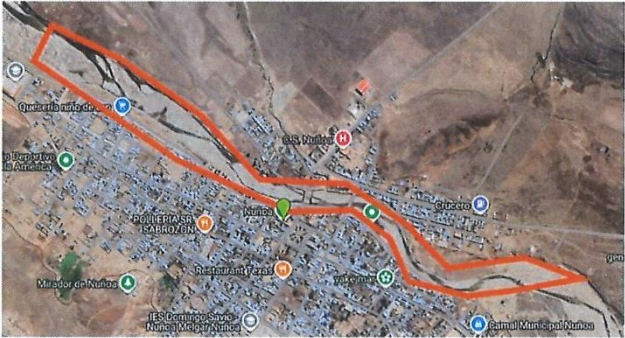
Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



### Metadatos complementarios

<b>Título de la Tesis</b>	
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70868919
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0003-4972-347X">https://orcid.org/0009-0003-4972-347X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876

<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de la construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p><b>País:</b> Perú  <b>Departamento:</b> Puno  <b>Provincia:</b> Melgar  <b>Distrito:</b> Nuñoa  <b>Coordenadas:</b>  <b>Latitud:</b> -15.82985459  <b>Longitud:</b> -69.9909449  <b>URL Maps:</b></p>  <p><a href="https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1prkpGbcx2JK2VEiwTn9DYcefpBC_0GM&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1prkpGbcx2JK2VEiwTn9DYcefpBC_0GM&amp;usp=sharing</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2024 – Octubre 2025
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> Librería	<p><b>Ingeniería Civil</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a></p> <p><b>Ingeniería de la construcción</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a></p>



UNIVERSIDAD NACIONAL "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS  
 Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
 DIRECTOR  
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES, identificado con DNI Nro. 70868919, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación**,  **Trabajo Académico** denominada:

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 02 de DICIEMBRE del 2025

Firma del Asesor (obligatoria)

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



### DEDICATORIA

Al Todopoderoso, quien me infundió el valor para proseguir en los instantes de mi mayor desfallecimiento; por esto, con la más profunda sumisión que de mi alma es capaz de brotar.



## AGRADECIMIENTO

Elevo mi gratitud al Creador, por Su constante compañía en mi trayecto, por robustecer mi espíritu e alumbrar mi entendimiento, y por haber situado en mi trayecto a aquellos seres que fueron mi apoyo y consuelo a lo largo de toda esta etapa de aprendizaje.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA..... i

AGRADECIMIENTO..... ii

ÍNDICE DE CONTENIDO..... iii

ÍNDICE DE TABLAS ..... vii

ÍNDICE DE FIGURAS ..... ix

RESUMEN ..... xi

ABSTRACT ..... vi

INTRODUCCIÓN ..... ix

### CAPÍTULO I

#### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación y descripción del problema..... 11

1.2 Propósitos y alcances de la investigación ..... 12

    1.2.1 Propósitos..... 12

    1.2.2 Alcances de la investigación ..... 12

1.3 Interrogantes..... 13

    1.3.1 Interrogante general. .... 13

    1.3.2 Interrogantes específicas..... 13

1.4 Objetivos del problema ..... 13

    1.4.1 Objetivo general..... 13

    1.4.2 Objetivos específicos ..... 14

1.5 Hipótesis..... 14



1.5.1	Hipótesis general .....	14
1.5.2	Hipótesis específicas .....	14
1.6	Variables.....	15
1.6.1	Variable independiente .....	15
1.6.2	Variable dependiente.....	15
1.7	Población y muestra .....	15
1.7.1	Población.....	15
1.7.2	Muestra .....	15
1.8	Justificación de la investigación .....	15
1.8.1	Justificación técnica.....	15
1.8.2	Justificación económica.....	17
1.8.3	Justificación ambiental.....	17
1.8.4	Justificación social .....	17

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1	Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1	Antecedentes locales.....	18
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	19
2.1.3	Antecedentes Internacionales.....	21
2.2	Marco teórico .....	22
2.2.1	Fluido.....	22
2.2.2	Flujo.....	23
2.2.3	Efecto de la viscosidad, densidad y gravedad sobre el flujo .....	23



2.2.4	Canales .....	26
2.2.5	Flujo uniforme.....	30
2.2.6	Cálculo de flujo uniforme. ....	35
2.2.7	Medición de la velocidad de flujo en canales .....	40
2.3	Marco conceptual.....	40
2.3.1	Flujo libre .....	40
2.3.2	Rugosidad de la superficie.....	40
2.3.3	Vegetación.....	41
2.3.4	Vertiente .....	41
2.3.5	Irregularidad de un canal .....	41
2.3.6	Radio hidráulico .....	41
2.3.7	Alineamiento del canal.....	42
2.3.8	Sedimentación y erosión.....	42
2.3.9	Rugosidad de lecho .....	42
2.3.10	Obstrucción .....	42

### CAPITULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Metodología de la Investigación.....	43
3.2	Identificación del área de estudio.....	44
3.2.1	Diagnóstico de la situación actual.....	44
3.2.2	Características del canal de irrigación .....	44
3.3	Desarrollo técnico descriptivo de la investigación .....	46
3.3.1	Levantamiento topográfico.....	48



3.3.2	Muestra de estudio .....	49
3.3.3	Estadística aplicada al análisis de datos .....	50
3.3.4	Metodología de aforo .....	51
<b>CAPITULO IV</b>		
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		
4.1	Evaluación del canal .....	55
4.1.1	Geometría del canal de las estaciones de aforo .....	57
4.1.2	Aforos .....	58
CONCLUSIONES.....		96
RECOMENDACIONES .....		98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		99
ANEXOS .....		101



### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Unidades de tratamiento de aguas residuales.....	24
<b>Tabla 2</b> Tipos de Flujo.....	25
<b>Tabla 3</b> Valores del coeficiente de rugosidad de Manning.....	39
<b>Tabla 4</b> Valores de “n” dados por Horton para la fórmula de Manning.....	39
<b>Tabla 5</b> Según los taludes y tipo de material, altura recomendada .....	46
<b>Tabla 6</b> Valores hidráulicos.....	48
<b>Tabla 7</b> Estaciones de aforo seleccionada .....	50
<b>Tabla 8</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-01 (velocidad) .....	64
<b>Tabla 9</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-01 (profundidad).....	65
<b>Tabla 10</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-02 (velocidad) .....	66
<b>Tabla 11</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-02 (profundidad).....	66
<b>Tabla 12</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-03 (velocidad) .....	67
<b>Tabla 13</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-03 (profundidad).....	68
<b>Tabla 14</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-04 (velocidad) .....	69
<b>Tabla 15</b> Tratamiento estadístico Primer aforo Est-04 (profundidad).....	69
<b>Tabla 16</b> Resumen de resultados del primer aforo parámetros reales. ....	70
<b>Tabla 17</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-01 (velocidad) .....	71
<b>Tabla 18</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-01 (profundidad). ....	71
<b>Tabla 19</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-02 (velocidad) .....	72
<b>Tabla 20</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-02 (profundidad). ....	73
<b>Tabla 21</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-03 (velocidad) .....	74
<b>Tabla 22</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-03 (profundidad). ....	74
<b>Tabla 23</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-04 (velocidad) .....	75
<b>Tabla 24</b> Tratamiento estadístico segundo aforo Est-04 (profundidad). ....	76



<b>Tabla 25</b> Resumen de resultados del segundo aforo parámetros reales.....	76
<b>Tabla 26</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-01 (velocidad).....	77
<b>Tabla 27</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-01 (profundidad).....	78
<b>Tabla 27</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-02 (velocidad).....	79
<b>Tabla 29</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-02 (profundidad).....	79
<b>Tabla 30</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-03 (velocidad).....	80
<b>Tabla 31</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-03 (profundidad).....	81
<b>Tabla 32</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-04 (velocidad).....	82
<b>Tabla 33</b> Tratamiento estadístico tercer aforo Est-04 (profundidad).....	82
<b>Tabla 34</b> Resumen de resultados del tercer aforo parámetros al realizar mantenimiento-revestimiento .....	83
<b>Tabla 35</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-01 (velocidad).....	84
<b>Tabla 36</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-01 (profundidad).....	84
<b>Tabla 37</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-02 (velocidad).....	85
<b>Tabla 38</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-02 (profundidad).....	86
<b>Tabla 39</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-03 (velocidad).....	87
<b>Tabla 40</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-03 (profundidad).....	87
<b>Tabla 41</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-04 (velocidad).....	88
<b>Tabla 42</b> Tratamiento estadístico cuarto aforo Est-04 (profundidad).....	89
<b>Tabla 43</b> Resumen de resultados del cuarto aforo parámetros al realizar mantenimiento-revestimiento .....	89
<b>Tabla 44</b> “n” de Manning y la velocidad media teóricos del canal.....	90
<b>Tabla 45</b> Coeficiente de Manning, velocidad media y caudal (teóricos) .....	91
<b>Tabla 46</b> Coeficiente de Manning, velocidad media y caudal (teóricos) .....	92
<b>Tabla 47</b> Tabla comparativa entre datos reales, teóricas y con mantenimiento .....	93



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Flujo en conducto.....	26
<b>Figura 2</b> Sección transversal irregular.....	27
<b>Figura 3</b> Elementos geométricos más importantes.....	29
<b>Figura 4</b> Verificación de la pendiente.....	48
<b>Figura 5</b> Equipo medidor de Flujo Mainstream.....	54
<b>Figura 6</b> Contribución de caudales derivados de manantiales.....	56
<b>Figura 7</b> Tomas clandestinas de caudales en el canal en diferentes puntos.....	56
<b>Figura 8</b> Deterioros estructurales del talud del canal.....	57
<b>Figura 10</b> Sección geométrica transversal del canal.....	58
<b>Figura 11</b> Estación de aforo 01.....	60
<b>Figura 12</b> Graduación del nivel de apertura.....	61
<b>Figura 13</b> Ubicación del sensor de velocidad en el canal.....	62
<b>Figura 14</b> Mantenimiento - revestimiento del canal.....	63
<b>Figura 15</b> Datos registrados Primer aforo Est-01.....	64
<b>Figura 16</b> Datos registrados Primer aforo Est-02.....	65
<b>Figura 16</b> Datos registrados Primer aforo Est-03.....	67
<b>Figura 18</b> Datos registrados Primer aforo Est-04.....	68
<b>Figura 19</b> Datos registrados segundo aforo Est-01.....	70
<b>Figura 20</b> Datos registrados segundo aforo Est-02.....	72
<b>Figura 21</b> Datos registrados segundo aforo Est-03.....	73
<b>Figura 22</b> Datos registrados segundo aforo Est-04.....	75
<b>Figura 22</b> Datos registrados tercer aforo Est-01.....	77
<b>Figura 24</b> Datos inscritos tercer aforo Est-02.....	78
<b>Figura 25</b> Datos registrados tercer aforo Est-03.....	80



<b>Figura 26</b> Datos registrados tercer aforo Est-04.....	81
<b>Figura 27</b> Datos registrados cuarto aforo Est-01 .....	83
<b>Figura 28</b> Datos inscritos cuarto aforo Est-02 .....	85
<b>Figura 29</b> Datos registrados cuarto aforo Est-03.....	86
<b>Figura 30</b> Datos registrados cuarto aforo Est-04.....	88
<b>Figura 31</b> Curva de caudal vs tirante para la ecuación de ajuste potencial teórico .	90
<b>Figura 32</b> Velocidades medias reales y teóricas .....	93
<b>Figura 32</b> Factor de rugosidad “n” de Manning reales y teóricas .....	94
<b>Figura 32</b> Caudales reales y teóricos .....	94



## RESUMEN

En este estudio, se refinó la información mediante la integración de datos probatorios concernientes al flujo permanente y uniforme. Este procedimiento se implementó en canales de hormigón de sección trapezoidal, con la finalidad de efectuar un análisis de la velocidad hidráulica. La utilización del caudalímetro Mainstream para las mediciones permitió verificar una discrepancia considerable entre valores de prontitud media proyectada y los obtenidos en la práctica, constatándose que los datos reales son inferiores a los teóricos. Los resultados arrojaron un nivel de prontitud de 0.389 m/s a 0.261 m/s. Cabe destacar que estos datos se recopilaban bajo los posteriores contextos: un conducto de hormigón de sección trapezoide, edificado en 2005 por PRORRIDRE, con una compuerta operada a dos alturas distintas (0.35 m y 0.20 m) y bajo un régimen de flujo permanente y uniforme. Con el propósito de fundamentar el estudio, se empleó una deducción matemática del factor de rugosidades "n" de Manning, ampliamente reconocida en la literatura especializada y en la práctica de laboratorios de Hidráulica. Mediante este procedimiento, se calculó dicho coeficiente y, consecuentemente, se determinó la prontitud media teórica. Los resultados arrojaron un valor de diseño teórico de 0.015 para el factor "n" de Manning y una prontitud de 0.63 m/s para un caudal de 1.5 m<sup>3</sup>/s, con un rango de velocidades superior a 0.524 m/s. Considerando los aforos realizados, estos valores son los esperados y deberían manifestarse en el canal. La comparación de los parámetros teóricos con los reales motivó la realización de una nueva evaluación bajo idénticas condiciones de operación (aperturas de compuerta de 0.35 m y 0.20 m). Tras el revestimiento del canal con almirez enriquecido con agregados cohesionantes y acelerantes, se pudo ver una mejora sustancial en sus propiedades hidráulicas: la velocidad se situó en el rango de 0.514 – 0.404 m/s, los coeficientes de rugosidades "n" de Manning varió entre 0.018 y 0.021, y el caudal experimentó una optimización, registrando valores entre 0.99 y 0.61 m<sup>3</sup>/s.

**Palabras clave:** Canal de concreto, comportamiento hidráulico, rugosidad



## ABSTRACT

In this study, the information was refined by integrating empirical data concerning permanent and uniform flow. This procedure was implemented in trapezoidal concrete channels in order to analyze hydraulic velocity. The use of the Mainstream flow meter for measurements allowed us to verify a considerable discrepancy between projected average velocity values and those obtained in practice, confirming that the actual data are lower than the theoretical data. The results showed a velocity level of 0.389 m/s to 0.261 m/s. It should be noted that these data were collected under the following conditions: a trapezoidal concrete channel, built in 2005 by PRORRIDRE, with a gate operated at two different heights (0.35 m and 0.20 m) and under a permanent and uniform flow regime. In order to substantiate the study, a mathematical deduction of Manning's roughness factor "n" was used, which is widely recognized in the specialized literature and in the practice of hydraulics laboratories. Using this procedure, the coefficient was calculated and, consequently, the theoretical average readiness was determined. The results yielded a theoretical design value of 0.015 for Manning's "n" factor and a velocity of 0.63 m/s for a flow rate of 1.5 m<sup>3</sup>/s, with a velocity range greater than 0.524 m/s. Considering the measurements taken, these values are as expected and should be observed in the channel. The comparison of the theoretical parameters with the actual ones led to a new evaluation under identical operating conditions (gate openings of 0.35 m and 0.20 m). After lining the channel with mortar enriched with cohesive aggregates and accelerators, a substantial improvement in its hydraulic properties was observed: the velocity ranged from 0.514 to 0.404 m/s, Manning's roughness coefficients "n" varied between 0.018 and 0.021, and the flow rate was optimized, registering values between 0.99 and 0.61 m<sup>3</sup>/s.

**Keywords:** Concrete channel, hydraulic behavior, roughness



## INTRODUCCIÓN

Este estudio se amplía partiendo de una problemática detectada, con el fin de generar nuevo conocimiento y un progreso sustentado en el método científico para hallar soluciones y trazar directrices que permitan superarlas. Lo anterior, dado que de las mediciones y las observaciones in situ efectuadas en el canal analizado, surgió la necesidad de determinar la prontitud real del caudal, considerando que en las fases de diseño se fijan valores minúsculos de prontitud para prevenir las sedimentaciones y el crecimiento de flora y lamas, así como valores inmensos para impedir procesos erosivos.

El análisis se llevó a cabo con la finalidad de examinar y establecer la fluctuación de la velocidad promedio del caudal y su impacto en el flujo volumétrico, producto de la alteración en la rugosidad del conducto de hormigón Huaman Tapara, ubicado en Melgar, Nuñoa, Puno, el cual cuenta con doce años de funcionamiento.

Estos análisis robustecerán el fundamento teórico y práctico para la sistematización y determinación de la prontitud media existente en conductos de hormigón de secciones trapezoidales. En consecuencia, los resultados permitirán formular procedimientos apropiados para memorias de cálculos hidráulicos que reflejen con mayor precisión las condiciones reales de nuestro entorno, incorporando además un valioso componente de experiencia personal que servirá como base para futuros estudios en esta área.

La determinación de la prontitud media real y la profundidad actual del flujo proporciona datos necesarios para calcular caudales reales en canales de hormigón de secciones trapezoidales. Esta información resulta fundamental para realizar los cálculos hidráulicos requeridos en el proyecto de diseño del canal.



Las intervenciones requeridas en los canales para garantizar un grado inmejorable de estanqueidad y estabildades estructurales adecuadas, ante el escenario presente donde el deterioro de la infraestructura genera mermas sustanciales del recurso hídrico conducido. Tras años de servicio, el canal evidencia actualmente deficiencias operativas; por esta razón, se propuso la alternativa de recubrir el conducto con la incorporación de aditivos cohesionantes y acelerantes para optimizar sus indicadores hidráulicos.



## CAPÍTULO I

### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Identificación y descripción del problema

Para el profesional de la ingeniería especializado en el diseño de infraestructuras hidráulicas, particularmente en canales de regadío, se valora su trayectoria práctica y su dominio de los fundamentos teóricos existentes en la literatura especializada, dentro de un contexto estrictamente técnico que garantice la victoria en el cumplimiento de planes de ingeniería hidráulica.

En nuestra localidad, la determinación de los valores auténticos de los indicadores en análisis resulta fundamental para diseño de infraestructuras hidráulicas, en particular conductos de riego. Actualmente, en el área altiplánica estos valores se adoptan con base en pesquisa de manuales de hidráulica, que son por naturaleza ordinarias y no reflejan datos auténticos. Esta situación motiva la necesidad de desarrollar un estudio científico orientada a obtener valores empíricos y, posteriormente, contrastarlos con los teóricos.



En el ámbito del diseño hidráulico se emplea extensivamente la ecuación de Manning, la cual requiere de un coeficiente de rugosidad, denominado en este contexto coeficiente de Manning. Esta elección se transforma en un aspecto debatible respecto a qué valor debería adoptarse realmente, lo que deriva en consecuencias significativas: prontitudes de flujo inconsistentes que pueden provocar sedimentaciones, proliferación de vegetación acuática, acrecentamiento de la aspereza por procesos erosivos y, en definitiva, alteraciones sustanciales en la conducta hidráulica del conducto de hormigón.

## **1.2 Propósitos y alcances de la investigación**

### **1.2.1 Propósitos**

Este análisis lleva como fin analizar la conducta de la prontitud en canales de hormigón de mecanismo trapezoidal, determinando simultáneamente los coeficientes de pliegue "n" de Manning y la diferenciación del estirado hidráulico en una estructura con doce años de servicio, bajo la premisa de un flujo permanente y uniforme.

### **1.2.2 Alcances de la investigación**

El análisis se ejecutará en los canales de hormigón Huaman Tapara, situado en Nuñoa, perteneciente a Melgar, en. La localidad de Nuñoa se halla a una elevación media de 3840 msnm. Esta región se caracteriza por un clima predominantemente frío y templado, con temples que oscilan entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $16^{\circ}\text{C}$ , y precipitaciones de carácter estacional. El estudio contribuirá al fundamento teórico para validar o refutar las proposiciones establecidas en la literatura hidráulica, basándose en los datos empíricos obtenidos en nuestro estudio.



El actual estudio analiza la conducta de la prontitud en un canal de hormigón bajo condiciones de flujo permanente y uniforme, esgrimiendo aperturas de 0.35 m y 0.20 m, con el objetivo de establecer la prontitud media existente y consecuentemente automatizar los caudales reales del conducto.

## 1.3 Interrogantes

### 1.3.1 *Interrogante general.*

¿Cuál es el comportamiento hidráulico de la velocidad media de flujo real y la velocidad media de flujo teórico por el cambio de rugosidad del canal de concreto de Nuñoa?

### 1.3.2 *Interrogantes específicas.*

1. ¿Cuál es la velocidad media de flujo real y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones actuales de rugosidad en el canal?
2. ¿Cuál es la velocidad media de flujo teórico y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones de diseño de rugosidad en el canal?
3. ¿Cuál es la variación del caudal de diseño por efectos del cambio de rugosidad en el canal de concreto?

## 1.4 Objetivos del problema

### 1.4.1 *Objetivo general*

Analizar el comportamiento hidráulico de la velocidad media de flujo real y la velocidad media de flujo teórico por el cambio de rugosidad del canal de concreto de Nuñoa.



## 1.4.2 *Objetivos específicos*

1. Determinar la velocidad media de flujo real y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones actuales de rugosidad en el canal.
2. Determinar la velocidad media de flujo teórico y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones de diseño de rugosidad en el canal.
3. Determinar la variación del caudal de diseño por efectos del cambio de rugosidad en el canal de concreto.

## 1.5 **Hipótesis**

### 1.5.1 *Hipótesis general*

Respecto a la variación de la relación velocidad media teórica de flujo con respecto a la velocidad media real el caudal disminuye según el tiempo en un 0.5% por año.

### 1.5.2 *Hipótesis específicas*

1. La velocidad media de flujo real y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones actuales de rugosidad en el canal no son coherentes con las de diseño
2. La velocidad media de flujo teórico y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones de diseño de rugosidad en el canal son coherentes con las de diseño
3. La variación del caudal de diseño por efectos del cambio de rugosidad en el canal de concreto refleja una reducción del 10%.



## 1.6 Variables

### 1.6.1 Variable independiente

Rapidez promedio del caudal en el conducto de hormigón.

### 1.6.2 Variable dependiente

Modificación de las particularidades hidráulicas del canal debido a la degradación temporal.

## 1.7 Población y muestra

### 1.7.1 Población

La infraestructura hidráulica referida posee una extensión de 18 kilómetros en su tramo principal, incluyendo sus respectivos canales secundarios, y se encuentra ubicada en la provincia de Melgar.

### 1.7.2 Muestra

Muestra: El tramo en análisis percibe 4.0 km entre 0+825-0+875,1+635-1+675,2+135-2+175,3+335-3+375.

## 1.8 Justificación de la investigación

### 1.8.1 Justificación técnica

En la búsqueda de un procedimiento sencillo y eficiente a computar el caudal en flujos de conductos ingenuos, se han derivado expresiones matemáticas para el escenario donde la línea de vigor mantiene paralelismo con la inclinación de los lechos de los canales.

La intrepidez del factor de rugosidad "n", fundamentada en problemáticas reales y casos de estudio documentados mediante la diligencia de la fórmula de



Manning, solicita sustento tanto empírica como hipotético para el diseño de infraestructuras hidráulicas. Este proceso se realiza mediante la valoración del flujo con instrumentales especializada, como el sensor ultrasónico Mainstream.

Mediante el examen de la prontitud promedio real en los tiempos de medición del canal apartado para este estudio, se atribuye al entendimiento de los factores que alteran su cálculo y determinación en el ámbito del diseño hidráulico, permitiendo establecer un criterio fundamentado en estudios y ensayos para el proyecto de canales recubiertos de hormigón. En esta materia, diversas investigaciones han explorado el tema, existiendo directrices para una evaluación eficaz de la prontitud mediante fórmulas desarrolladas por Chezy, ecuación, Reynolds y demás expertos. Recientemente, en Puno, se ha dotado a establecimientos estatales como el PRORRIDRE, PELT, ALA y ANA de instrumentaciones especializadas y empleadores técnicamente capacitados para el control de este indicador hidráulico. Este esfuerzo institucional tiene como finalidad determinar el caudal resultante de la multiplicación entre la prontitud media del flujo y la zona de las secciones transversal humedecida del conducto.

El factor de pliegue "n" se identifica como el parámetro que presenta limitaciones significativas en su determinación precisa. Inicialmente, solo se cuenta con la opción de emplear tablas de referencia pública y literatura especializada en diseño de canales, seleccionando valores aproximados. Adicionalmente, se debe considerar que, a pesar de las similitudes morfológicas entre estructuras hidráulicas, estas presentan características únicas debido a los contextos locales específicas de cada comarca y de cada infraestructura. Esta particularidad constituye un motivo fundamental para ejecutar esta valoración de prontitud media del flujo, permitiendo



posteriormente contrastar las derivaciones empíricas con el marco teórico establecido en esta disciplina de la ing.

### **1.8.2 Justificación económica**

Durante la temporada de demanda de regadío para cultivos y mantenimiento de prados, se hace indispensable la óptima maniobra del canal, el cual se conseguirá por medio de la recolección de datos exactos para un diseño hidráulico apropiado. El objetivo es proyectar un canal con velocidades suficientes para evitar procesos erosivos, pero no tan reducidas que provoquen sedimentación excesiva y proliferación de vegetación acuática. Un diseño correcto permitirá reducir costos de construcción y mantenimiento, maximizando así la vida útil de la infraestructura con inclinaciones óptimos.

### **1.8.3 Justificación ambiental**

La alteración del activo ecosistémica, junto con la merma de cobertura vegetal y la proliferación de bichos vectores de males parasitarias debido a aguas estancadas, hace imperioso aprovechar y canalizar adecuadamente los recursos hídricos mediante sistemas de riego. Esto requiere diseñar canales con dimensiones y especificaciones técnicas apropiadas para garantizar el suministro eficiente de agua a las zonas de demanda.

### **1.8.4 Justificación social**

La adecuada planificación de los canales posibilita el uso óptimo del recurso hídrico. La obtención de datos precisos permitirá incrementar el caudal de distribución en menor tiempo, facilitando así el manejo de este recurso para la conservación de pastizales y el mejoramiento de la producción agropecuaria, lo que se traducirá en progreso económico para cada familia usuaria del canal de hormigón.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 *Antecedentes locales*

Apaza (2024), en su estudio denominado "Intrepidez de la máxima eficacia hidráulica y coste en diseño de conductos de sección rectangular y trapezoidal en la colectividad Huilasipe, Acora, Puno, 2021", se sintetiza lo siguiente: Este estudio tiene como propósito fundamental contrastar ambos tipos de canales -trapezoidal y rectangular- en relación a su óptimo rendimiento hidráulico y los costos asociados al concreto simple y movimiento de tierras en el diseño de estas estructuras, los propósitos particulares del estudio consisten en: establecer la óptima eficiencia hidráulica para ambas secciones transversales bajo diversas inclinaciones de proyecto en la localidad de Huilasipe, cuantificar los gastos asociados al diseño de canales trapezoidales y rectangulares, y realizar un análisis comparativo entre la mayor eficacia hidráulica y los gastos de excavación y armado simple. Se ejecutó el proyecto de canal de 1.41 km aplicando metodología convencional, segmentado en 7 unid. muestrales distribuidas cada 200, analizadas por medio de gráficas de barras. Como resultado, se estableció que la eficiencia hidráulica óptima correspondió al



diseño trapezoidal, con un área hidráulica de 0.560 m<sup>2</sup> frente a 0.582 m<sup>2</sup> del rectangular, mientras que el perímetro mojado fue 5.194 m para el trapecoide comparado con 5.682 metros del rectangular. Finalmente, se cuantificaron los gastos asociados, los cuales se presentan seguidamente: los costes de excavación para el canal trapezoidal ascendieron a S/ 15,280.200, mientras que para el rectangular totalizaron S/ 15,574.050. Mediante análisis comparativo de gráficos de barras para ambos diseños de máxima eficiencia hidráulica, se determinó que la disyuntiva trapezoidal resulta más óptima y eficiente. En movimiento de tierras (corte) se registró una variación de S/ 293.850 (1.905%) a favor del diseño trapezoidal. Respecto al hormigón simple  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>, la diferencia fue de S/ 6,588.120 (13.158%), también favorable al canal trapezoidal.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Huancocallo (2017), en su análisis llamado "Estudio del pliegue en conducto de hormigón, en la examinación de la inestabilidad de la rapidez de flujo de esquema del Proyecto de Riego Jarroñan Sector Pautina Comunidad Qquerocollana, Distrito de Coporaque – Espinar – Cusco", se sintetiza: Esta investigación fue desarrollada para establecer la eficacia de dirección del canal de hormigón en el sistema de riego mencionado, en el que se modela la repliegue del concreto en canales trapezoidales, así como para hallar dicho parámetro mediante la variación de la rapidez media del caudal. El discernimiento se amplía a partir de la identificación de una problemática, mediante un progreso fundamentado en el método científico para hallar medios y instituir protocolos que permitan superarlas. Esto generó la imperiosa necesidad de establecer la velocidad real de la corriente, teniendo en cuenta que el caudal medio sufre variaciones sustanciales en comparación con la fase de proyecto. En dicha etapa se establecen límites inferiores para evitar el depósito de sedimentos y el



crecimiento de flora, y límites superiores para prevenir la erosión. Esta perspectiva permitió definir el ámbito de la investigación con base en los cambios de la aspereza superficial del conducto principal. El cálculo del coeficiente de pliegue de un conducto conlleva la medición de la firmeza hidráulica que este ejerce sobre la corriente. Distintos estudiosos han procurado definir valores para el coeficiente de Manning en condiciones de flujo uniforme. A través de la adaptación de la ecuación de Manning y empleando las particularidades hidráulicas obtenidas de 61 aforos, se computaron los valores de pliegue, resultando en un promedio calculado de  $n=0.01574$ , que se sitúa por fuera del intervalo teórico definido para canales de concreto revestido. Los resultados alcanzados evidencian confiabilidad, posibilitando la determinación experimental del coeficiente de rugosidad de Manning. Estas pruebas robustecen el fundamento teórico y práctico para el establecimiento de la rapidez media en canales existentes, a la vez que suministran bases para iniciativas técnicas en documentación de cómputo hidráulico, parámetros más precisos adaptados a la realidad local y, de manera esencial, una contribución invaluable de experiencia profesional especializada.

Loayza y Meza (2022), En su estudio denominado "Conducta hidráulica de flujo de H<sub>2</sub>O en conducto de riego en franjas de singularidad - conducto Molino, Mito, Junín - 2021", se sintetiza lo posterior: Este estudio tuvo como propósito fundamental analizar las características hidrodinámicas del escurrimiento en canales de irrigación en sitios singulares, concretamente en el canal Molino situado en Mito, Junín, durante el año 2021. Como enfoque metodológico se implementó la técnica científica, de naturaleza aplicada, con nivel explicativo y diseño experimental. Los resultados alcanzados demostraron que el régimen de flujo, tanto en el canal revestido como en el natural, es de tipo subcrítico (número de Froude  $<1$ ). La celeridad media mínima



en el conducto cubierto fue de 0.27 m/s y la máxima de 0.73 m/s, en tanto que en el conducto no cubierto se obtuvieron valores de 0.17 m/s y 0.35 m/s para las velocidades mínima y máxima, respectivamente. Los tirantes hidráulicos reales medidos en el conducto cubierto variaron entre 0.273 m y 0.372 m, mientras que en el conducto no cubierto se ubicaron en un rango de 0.298 m a 0.511 m. De manera complementaria, se verificó que los calados en las paredes externas de las curvas exceden en 0.065 m a los observados en las zonas internas. Los parámetros teóricos de rugosidad para el conducto cubierto varían entre 0.018 y 0.057, mientras que los valores empíricos se encuentran en el rango de 0.018 a 0.056, presentando una discrepancia relativa media del 9.59%. Para el conducto no cubierto, el pliegue teórico fluctúa entre 0.041 y 0.107, y la práctica entre 0.044 y 0.107, con un margen de error relativo del 3.33%. El análisis determina que el flujo en sectores específicos de ambos canales es subcrítico ( $F < 1$ ), fundamentado en velocidades promedio de 0.268-0.73 m/s para el revestido y 0.167-0.368 m/s para el natural.

### **2.1.3 Antecedentes Internacionales**

Gutierrez (2009), en su estudio denominada " Determinación del coeficiente de pliegue de Manning empleando un tipo físico a escala de canal, con lechos compuestos de grava, arena, roca adherida y suelo ", se establece que: Los valores obtenidos experimentalmente presentan una notable similitud cuantitativa con los registrados en las tablas de Ven Te Chow, aunque es relevante destacar que dichas publicaciones emplean tres categorías de valores (máximo, normal y mínimo). Los coeficientes determinados en este estudio se encuentran dentro de estos rangos referenciales. Se logró identificar variaciones con características distintivas entre los fondos de diferente material, manifestándose como disminuciones en el grado de la lámina de H<sub>2</sub>O y aumentos tanto significativos como imperceptibles en el perímetro



mojado, así como en la rapidez del flujo. Para obtener una automatización más precisa de los coeficientes, resulta indispensable considerar los fenómenos de sedimentación y socavación. El sedimento reduce progresivamente el coeficiente de pliege, mientras que la socavación lo incrementa. De acuerdo con Ven Te Chow, "los estratos de arena y grava típicamente se desgastan de forma más homogénea que un suelo arcilloso, y la deposición de arcillas erosionadas propende a allanar las asperezas del cauce". Complementariamente, se realizó una contrastación con ecuaciones semiempíricas, cuyos resultados establecen un intervalo que circunscribe los valores experimentales, lográndose de este modo información de mayor exactitud. Se aprecia una divergencia considerable en las magnitudes de los tres caudales para cada material de lecho. En el fondo de gravas, la disparidad registrada demuestra que el efecto del sustrato se manifiesta patentemente mediante su disminución gradual. En el lecho arenoso esta discrepancia no es tan marcada, a causa de la influencia de los procesos de sedimentaciones, aunque se observa una tendencia decreciente en la segunda y tercera medición de los tres caudales. En el fondo arcilloso, en la que la reunión de sedimentos es mayor debido a sus partículas finas, la dinámica del lecho es menos evidente, pero presenta una conducta similar al arenoso. Por otro lado, en el fondo de piedra consolidada este patrón se manifiesta específicamente en su segundo caudal.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Fluido**

Según Streeter et al. (2000) "Un líquido se define como un elemento que se deforma de manera continua ante la aplicación de cualquier resiliencia, independiente de su dimensión. El esfuerzo cortante corresponde al aparato tangencial de la

potencia aplicada sobre una capa, y el cociente entre esta potencia y el sitio superficial constituye el esfuerzo cortante medio. El torque tajante en un punto específico representa el cuantía límite de esta relación potencia/área cuando el sitio tiende infinitesimalmente hacia dicho punto”

### **2.2.2 Flujo**

Chanson (2002),” Resulta pertinente aclarar ciertas nociones geométricos que facilitan la representación del campo de flujo. Las nociones de línea de corriente, recorrido y emisión se emplean para caracterizar sensorial y analíticamente los modelos de flujo. En el marco Euleriano, la rapidez del líquido se define mediante el vector rapidez  $v$ , donde  $U$ ,  $V$ ,  $W$  corresponden a las componentes de velocidad en las orientaciones  $x$ ,  $y$ ,  $z$  proporcionalmente, pudiendo cada una variar temporal y espacialmente”

$$V_{(x,y,z)} = U_i + V_j + W_k$$

### **2.2.3 Efecto de la viscosidad, densidad y gravedad sobre el flujo**

#### **2.2.3.1 Efecto de la viscosidad**

La pegajosidad de un líquido cuantifica su oposición al desplazamiento, derivada de la cohesión e interacción molecular. Un flujo llega a categorizarse como laminar, de transición o alborotador según la relación entre fuerzas inerciales y viscosas. Esta categorización se fundamenta en el número de Reynolds (adimensionales). En el régimen laminar predominan las potencias viscosas, con partículas fluidas desplazándose en trayectorias ordenadas. En el alborotador, dominan las fuerzas inerciales, generando movimientos caóticos en las partículas (Soletto. A.G, 1997, pág. 43)

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Re = número de Reynolds

V = velocidad del flujo

L = longitud característica

$\nu$  = viscosidad cinemática [ $\mu = 1 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s para agua a 20 °C]

Al emplear el radio hidráulico como longitud particularidad en el cálculo, el número de Reynolds resultante se expresa como:

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

**Tabla 1**

*Unidades de tratamiento de aguas residuales.*

TIPO DE FLUJO	REYNOLDS
Flujo laminar	Re < 500
Flujo Turbulento	Re > 1000
Flujo Transicional	500 < Re < 1000

*Nota.* Tomado de Hidráulica de canales abiertos Ven T. Chow (1986)

### 2.2.3.2 Efecto de la densidad del flujo

“La consistencia de un fluido se conceptualiza como el vínculo de su masa y su volumen, empleándose para cuantificar la masa en un modelo fluido. Si bien esta cuantía llega a presentar divergencias significativas entre distintas clases de fluidos, en los fluidos las fluctuaciones de coacción y temperatura ejercen una influencia mínima sobre su densidad” (Munson, Young, Okiishi, 1999, pág. 29)



La fluctuación en la consistencia del líquido permite clasificar los flujos en iguales o estratificados. La inexistencia de un gradiente de consistencia en la mayoría de los flujos en conductos apertura naturales indica que la rapidez del caudal es bastante para lograr una mezcla completa respecto a la densidad, o que los fenómenos que podrían generar dicho gradiente son insignificantes. Por consiguiente, los flujos libres se piensan iguales en la mayoría de los escenarios.

### 2.2.3.3 Efecto de la gravedad

En función del vínculo entre las fuerzas gravitatorias e inerciales, un flujo se categoriza como subcrítico, crítico o supercrítico. El indicador adimensional que fundamenta esta clasificación es el número de Froude (Fr).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gYh}}$$

$$yh = \frac{A}{B}$$

Yh = profundidad hidráulica

B = ancho de la superficie libre del flujo

**Tabla 2**

*Tipos de Flujo.*

TIPO DE FLUJO	<u>N° DE FROUDE</u>
- Flujo lento o subcrítico	Fr < 1
- Flujo crítico	Fr = 1
- Flujo rápido o supercrítico	Fr > 1

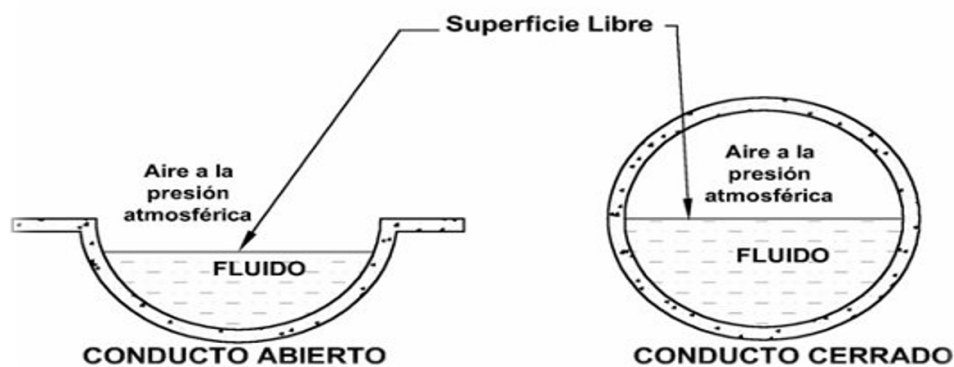
*Nota.* Tomado de Hidráulica de canales abiertos Ven T. Chow (1986)

## 2.2.4 Canales

Rodriguez (2008) los cauces naturales constituyen conducciones, ya sean aperturas o cerrados, por los que el H<sub>2</sub>O se desplaza exclusivamente por efecto gravitatorio y en condiciones de presión atmosférica, dado que su superficie libre está expuesta al aire. Esto implica que el flujo hídrico es propulsado por la coacción atmosférica y por su adecuado peso.

**Figura 1**

*Flujo en conducto.*



*Nota.* Tomado de (Rodriguez, R.P, 2008).

### 2.2.4.1 Clasificación de canales

Como su procedencia, los canales se categorizan en:

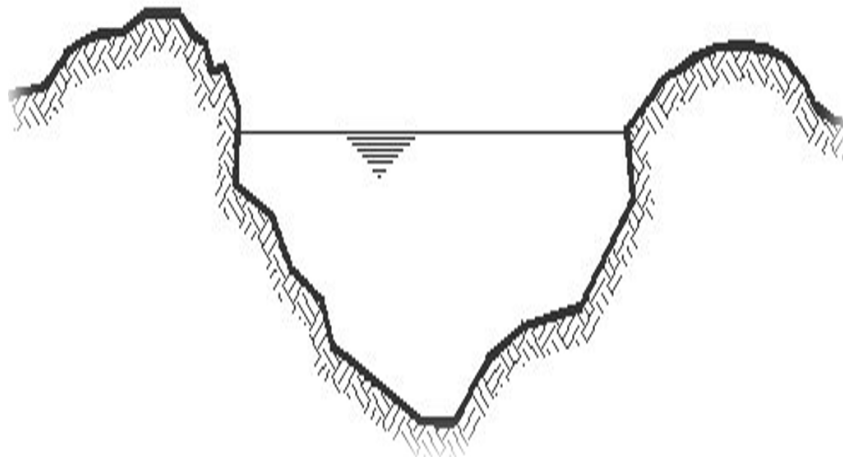
#### a) Canales naturales

Comprenden todas las corrientes hídricas de formación natural en la superficie terrestre, las cuales presentan una diversidad de escalas que abarca desde chicos riachuelos en áreas montañosas hasta abruptas, afluentes de distintos arroyos, caudales, lagunas y lagos. Los flujos subsuperficiales que conducen agua con una interfase atmosférica también se clasifican como cauces naturales. La geometría transversal de un canal natural típicamente exhibe una configuración irregular y

dinámica a lo largo de su trayecto, al igual que su trazado longitudinal y las propiedades de rugosidad y textura de sus lechos.

**Figura 2**

*Sección transversal irregular*



*Nota.* Tomado de (Rodríguez, 2008).

#### **b) Canales artificiales**

Los conductos artificiales constituyen todas aquellas estructuras hidráulicas creadas o desarrolladas mediante intervención antrópica, entre las cuales se incluyen: vías navegables, canales de irrigación, conductos para centrales hidroeléctricas, obras de control de inundaciones, sistemas de alcantarilla pluvial y sanitario, canales de alivio, canaletas de madera, cunetas viales, drenajes agrícolas y modelos de canales construidos en laboratorio. Estas estructuras suelen proyectarse con configuraciones geométricas regulares (prismáticas), denominándose canal prismático a aquel edificado con una parte transversal uniforme y un caudal de fondo continuo.

#### **2.2.4.2 Secciones cerradas.**

- ✓ **Sección circular:** El diseño circular constituye la geometría más frecuente en sistemas de alcantarillado y conductos de dimensiones pequeñas y medianas.
- ✓ **Sección parabólica:** Estas secciones se emplean habitualmente en desagües y estructuras hidráulicas de relevancia.



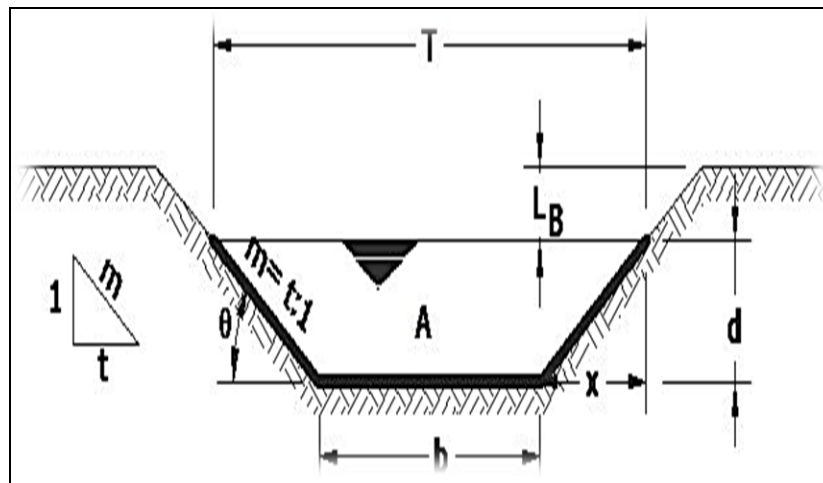
### 2.2.4.3 Clasificación de canales de riego por su función

Los conductos de irrigación, de acuerdo con sus diversas funcionalidades, reciben las posteriores designaciones:

- **Canal de Primer Orden:** Denominado además conducto matriz o de derivación, se diseña con caudal mínimo y generalmente opera unilateralmente al colindar con elevaciones topográficas (cerros).
- **Canal de Segundo Orden:** Reconocidos como laterales, se originan del canal principal y distribuyen su caudal hacia los sublaterales. La zona de riego que abastece un lateral se denomina unidhidroagrícola.
- **Canal de Tercer Orden:** Identificados como sublaterales, derivan de los canales laterales y reparten su caudal hacia parcelas individuales mediante tomas prediales.

### 2.2.4.4 Elementos geométricos de los canales

Villon (2007), los indicadores geométricos constituyen atributos de una sección de conducto que llegan a ser establecidos integralmente por su configuración geométrica y el tirante hidráulico. Estos elementos revisten gran importancia y son extensivamente empleados en el cálculo del flujo. Para secciones canalizas regulares y de geometría simple, las propiedades geométricas pueden formularse matemáticamente en función de la hondura del flujo y de demás extensiones seccionales. La configuración transversal más característica en conductos es la trapezoidal.

**Figura 3***Elementos geométricos más importantes*

Nota. Tomado de (Villon, B.M, 2007).

- **TIRANTE DE AGUA O PROFUNDIDAD DE FLUJO “D”:** Altura vertical que se mide desde el punto inferior del perfil transversal del conducto hasta la lámina de agua libre, constituyendo la máxima hondura de circulación del fluido en el conducto.
- **ANCHO SUPERFICIAL O ESPEJO DE AGUA “T”:** Amplitud de la interfase aire-H<sub>2</sub>O en la capa libre, expresada en m.
- **TALUD “M”:** Se conceptualiza como el vínculo entre la componente horizontal y vertical del paramento lateral (conocida igualmente como inclinación de los muros del canal). Esto implica que "m" simboliza la magnitud de la proyección horizontal cuando la vertical equivale a 1, mediante proporciones trigonométricas. Equivale a la cotangente del ángulo de reposo del material ( $\Theta$ ), es decir,  $m = x/y$ , y está sujeta al tipo de material empleado en la construcción del canal para evitar derrumbes. Por ejemplo, una pendiente 1.5:1 denota que la proyección horizontal es 1.5 veces la vertical (que es 1), por consiguiente,  $m = 1.5$ , obtenido al dividir 1.5 (horizontal) entre 1 (vertical).



- Parámetro de rugosidad ( $n$ ): Determinado por las características superficiales del material que forma el conducto. Pendiente ( $S$ ): Inclinación longitudinal de la solera del conducto.
- Sección hidráulica ( $A$ ): Superficie transversal atareada por el flujo en cualquier sección normal, medida en  $m^2$ .
- Perímetro de contacto ( $P$ ): Longitud total de la interfaz entre el fluido y las boundaries del conducto, cuantificada en m.
- Radio hidráulico ( $R$ ): Relación entre el área de flujo y el contorno mojado.  $R=A/P$ , en m.
- Ancho superficial o espejo de agua ( $T$ ): Amplitud de la interfase aire-agua en la capa libre, medida en m.
- Caudal ( $Q$ ): Volumen de líquido que atraviesa una sección transversal por unidad de tiempo, expresado en  $m^3/s$ .
- Velocidad promedio ( $V$ ): Rapidez media del flujo en el conducto, indicada en  $m/s$ .

## 2.2.5 Flujo uniforme

Chanson (2002), el régimen uniforme en conductos hidráulicos se establece cuando las potencias de rozamiento formadas entre el fluido y las paredes del canal se contrarrestan con la componente gravitatoria del peso del H<sub>2</sub>O en la orientación del escurrimiento, manteniéndose de este modo la celeridad invariable. La resistencia friccional genera una oposición al movimiento que estabiliza la prontitud del flujo.

### 2.2.5.1 Establecimiento del flujo uniforme

Chow (1994) Un flujo igual se alcanza cuando la fuerza de fricción se equilibra



con las componentes del peso por gravedad. La magnitud de la fricción, manteniéndose invariables los demás parámetros físicos del canal, depende de la rapidez de la corriente. Si el caudal entra al conducto con velocidad reducida, la resistencia generada es insignificante y es superada por las fuerzas gravitacionales, causando una prontitud del flujo en el tramo inicial. La rapidez y la firmeza se incrementan gradualmente hasta lograr un estado de balance entre fuerzas contrapuestas. A partir de este instante, el flujo alcanza condiciones de uniformidad.

### 2.2.5.2 Expresión de la velocidad en flujo uniforme

Chow (1994) para los análisis hidráulicos, la prontitud promedio del flujo igual en conductos abiertos generalmente se representa de manera aproximada mediante la denominada ecuación de flujo igual. La mayoría de las expresiones prácticas para flujo igual llegan formularse de la siguiente forma:

$$U = CR^X S^Y$$

Donde: R= Radio hidráulico en pies

U= velocidad media en pies/s

x,y = Son exponentes

S= Pendiente de energía

C = factor de resistencia al flujo

Con fines prácticos, puede presumirse que el escurrimiento en cursos de agua naturales es uniforme bajo condiciones normales, específicamente en ausencia de avenidas o alteraciones sustanciales provocadas por irregularidades en el cauce. Al utilizar una ecuación de flujo igual para un conducto natural, debe entenderse que el derivación alcanzado constituye una estimación.



Las expresiones matemáticas más reconocidas y extensamente empleadas son la fórmula de Chezy y la de Manning. Bajo estos fundamentos, en la examinación del flujo se implementan ejemplos matemáticos fundados en las ecuaciones de Manning y Chezy.

- **Ecuación de Chezy.**

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

Donde: U= Velocidad media en pies/s

S = Pendiente de la línea de energía

R = Radio Hidráulico en pies/s

C= Factor de resistencia al flujo, acreditado como C de Chezy.

La fórmula de Chézy llega a derivarse analíticamente de dos postulados fundamentales. El primero, propuesto por el propio Chézy, establece que la fuerza resistente por unidad de sitio del lecho del canal es proporcional al cuadrado de la prontitud del flujo;

Por lo tanto, esta potencia es equivalente a  $KV^2$ , donde K denota una firme de proporcionalidad. La capa de contacto entre el fluido y el fondo del canal corresponde al resultado del perímetro mojado por la longitud del sector, es decir, PL. La fuerza de resistencia total equivale a  $KV^2PL$ .

El segundo postulado constituye la base fundamental del régimen uniforme, atribuido originalmente a Brahms en 1754. Este instituye que, en condiciones de escurrimiento igual, la componente efectiva de la potencia gravitatoria generatriz del



movimiento debe balancearse precisamente con la potencia final de fricción. Dicha componente efectiva actúa paralelamente al fondo del canal y corresponde a:

$$WAL \sin \theta = WAL S$$

Donde:  $W$  = peso unitario del agua  
 $\Theta$  = Angulo de la Pendiente  
 $A$  = Área Mojada  
 $S$  = Pendiente del canal

Entonces resulta:

$$WALS = KV^2 PL$$

Si,  $A/P=R$  y  $\sqrt{w/K}$  al sustituir estos términos por un factor  $C$ , la expresión anterior se simplifica a la fórmula de Chézy:

$$U = \sqrt{\left(\frac{W}{K}\right) \left(\frac{A}{P}\right) S} = C\sqrt{RS}$$

- **Ecuación de Manning**

Rodriguez (2008) en el año 1889, El ing. de origen irlandés Robert Manning formuló una fórmula matemática para hallar el coeficiente  $C$ , dependiente del radio hidráulico y la aspereza superficial del elemento que conforma el conducto.



La formulación correspondiente al esquema de unidades anglosajón es:

$$C = \frac{1.486R^{1/6}}{n}$$

Para el esquema internacional de unidades, la expresión del coeficiente C corresponde a:

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

Al reemplazar el valor del coeficiente C de Manning en la fórmula de Chézy previamente mencionada, para el cálculo de la rapidez promedio se obtiene:

$$U = C\sqrt{RS} \quad \text{Ecuación de Chézy}$$

Sustituyendo el valor de C para el esquema métrico tenemos:

$$U = \frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$$

Donde:

U = Rapidez promedio del agua en canales con flujo uniforme (m/s)

n = Parámetro de rugosidad de Manning

R = Radio Hidráulico, en m.

S = Gradiente de la línea de energía, equivalente a la pendiente del fondo dado el régimen permanente y uniforme.



## 2.2.6 Cálculo de flujo uniforme.

### 2.2.6.1 Conductividad de una sección de canal

Chow (1994) el gasto de flujo igual en un conducto llega a cuantificarse mediante el resultado entre la rapidez media y la sección transversal mojada.

$$Q = UA = CAR^x S^y = KS^y$$

$$K = CAR^x$$

El parámetro \*k\* se denomina conductividad hidráulica de la sección del conducto, dado que es derechamente proporcional al caudal Q.

Al emplear la fórmula de Manning o de Chézy para flujo igual (es decir, cuando  $y = \frac{1}{2}$ ), la inclinación puede expresarse como:

$$Q = K\sqrt{S}$$

Y la conductividad

$$K = \frac{Q}{\sqrt{S}}$$

Esta expresión puede emplearse para determinar la conductividad hidráulica cuando tanto la pendiente como el caudal son conocidos.

Para la fórmula de Manning, la conductividad se representa mediante (en sistemas métricos de unidades).

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$

La ecuación precedente se emplea para computar la conductividad hidráulica cuando se encuentran definidos tanto la geometría de la sección mojada como el parámetro de firmeza o coeficiente de arruga.

### 2.2.6.2 Factor de sección para el cálculo de flujo uniforme

Chow (1994) La expresión  $A \cdot R^{2/3}$  se denomina elemento de parte para la operación de flujo igual, constituyendo un parámetro fundamental en el análisis de régimen igual. A partir de esta fórmula.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

La ecuación demuestra que, para valores determinados de  $n^*$ ,  $Q$  y  $S$ , existe una única hondura posible que garantiza el flujo uniforme. Esta condición se cumple siempre que el valor de  $AR^{2/3}$  aumente de manera proporcional a los acrecentamientos en la hondura.

### 2.2.6.3 Distribución de velocidad en la sección de un canal

Chow (1986) La rapidez de un fluido en contacto con una frontera sólida debe ser 0, y en flujos de conductos abiertos la celeridad típicamente se incrementa con la distancia al contorno. La rapidez máxima observada en canales convencionales suele localizarse por debajo de la interfaz aire-agua, a una profundidad entre 0.05 y 0.25 veces el tirante total.



La ilustración adjunta exhibe la disposición característica del perfil de velocidades en diferentes secciones de conductos, donde se visualiza que la celeridad se incrementa desde los contornos sólidos hasta un punto ubicado en o bajo la lámina de agua libre, coincidiendo con la máxima vertical de la parte transversal o con su eje central en conductos prismáticos.

La administración de prontitudes en un conducto está influenciada no solo por su geometría, sino también por la arruga superficial y la existencia de curvaturas y cambios de dirección. En un cauce amplio, de poca profundidad y elevada prontitud, o en un conducto con paredes muy pulidas, la velocidad mayor suele localizarse cerca de la interfaz aire-agua; sin embargo, a mayor profundidad del canal, el pico de prontitud se desplaza hacia niveles inferiores.

En una curva, la prontitud se aumenta en el lado exterior o convexo por los efectos centrífugos del flujo. Generalmente, el viento ejerce una influencia mínima sobre el perfil de prontitudes.

Debido a la administración no igual de rapidez en el perfil transversal de un canal, la altura cinética del flujo generalmente excede el valor obtenido mediante  $V^2/2g$ ; por lo tanto, este valor debe subsanarse por un coeficiente de energía, conocido como coeficiente de variación de rapidez en la sección transversal o coeficiente de Coriolis.

Streeter (1970) "Para escurrimiento a superficie libre, el coeficiente  $\alpha$  puede variar entre 1.1 y 2.0. En la mayoría de los cálculos ingenieriles se emplea  $\alpha = 1.0$ , lo cual no produce errores considerables en los hallazgos, puesto que la carga de



velocidad normalmente personifica un componente menor de la energía total. (p. 381)"

#### **2.2.6.4 Distribución de presión en una sección de canal**

Streeter (1970) en canales de baja pendiente, la presión en cualquier punto se mide por la altura del agua en un piezómetro. Ignorando pequeñas perturbaciones por turbulencia, el agua subirá desde el sitio medido hasta la línea de energía o la superficie.

Ciertamente, la aplicabilidad del principio hidrostático a la administración de presiones en la parte transversal es válida exclusivamente si los filetes fluidos carecen de componentes acelerativos en el plano de la parte. Esta clase de escurrimiento se denomina conceptualmente flujo paralelo, dicho de otra manera, aquel cuyas trayectorias de corriente no exhiben curvatura apreciable ni divergencia.

#### **2.2.6.5 Coeficiente de Manning**

Universidad Nacional de Ingeniería (2008) Representa un factor de seguridad establecido empíricamente de forma exclusiva para el H<sub>2</sub>O. La fórmula de Manning, con una cuantía invariable de  $n$ , es aplicable solamente para regímenes de flujo turbulento en la región de rugosidad completa.

La selección de un valor adecuado de  $n$  requiere comprender cualitativamente los factores que influyen en este parámetro, dado que, en numerosas aplicaciones prácticas, el valor absoluto de  $n$  depende de múltiples variables.

**Tabla 3***Valores del coeficiente de rugosidad de Manning*

Tipo de Material	Valores		
	Mínimo	Normal	Máximo
Roca (con saliente y sinuosa)	0.035	0.040	0.050
Tepetate (liso y uniforme)	0.025	0.035	0.040
Tierra	0.017	0.020	0.025
Mampostería seca	0.025	0.030	0.033
concreto	0.013	0.017	0.020
Polietileno (PVC)	0.007	0.008	0.009

*Nota.* Tomada de (Rodríguez, 2008)**Tabla 4***Valores de "n" dados por Horton para la fórmula de Manning.*

SUPERFICIE	CONDICIONES DE LAS PAREDES			
	PERFECTAS	BUENAS	MEDIANAS	MALAS
Tubería de hierro forjado	0.013	0.014	0.015	0.017
Tabique con mortero de cemento	0.012	0.013	0.015	0.017
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014	0.016	0.018
Canales en tierra uniformes	0.017	0.020	0.022	0.025
Canales en roca lizo y uniformes	0.025	0.030	0.033	0.035

*Nota.* Tomada de (Villon, 2007)

#### 2.2.6.6 Factores que afectan el coeficiente de Manning

El parámetro \*n\* constituye una variable condicionada por múltiples elementos. Al elegir un valor adecuado para diferentes escenarios de proyecto, debe tomarse en cuenta el entendimiento de estos factores. Los aspectos que poseen mayor incidencia en el coeficiente de pliegue, tanto en conductos artificiales como naturales, son: la textura superficial, las irregularidades del cauce, las obstrucciones, el tirante hidráulico y el caudal.



### **2.2.7 Medición de la velocidad de flujo en canales**

Ochoa (1992) "Las metodologías de medición de rapidez varían según el instrumento utilizado, por lo que se documentan en la literatura y el mercado diversos dispositivos especializados para este fin."

#### **2.2.7.1 Medidores de agua**

En esta parte se presentan los diversos dispositivos de medición hídrica disponibles en el ámbito técnico.

Se enumeran los siguientes instrumentos de medición: velocímetros, dispositivos de carga de prontitud, sensores ultrasónicos, caudalímetros electromagnéticos, estructuras de vertido y aforadores de garganta extendida. (Ochoa, L, 1992).

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 Flujo libre**

El flujo libre ocurre cuando los fluidos se desplazan por efecto gravitatorio y están parcialmente contenidos por límites sólidos. El conducto que transporta agua en régimen de flujo libre se denomina conducto, el cual llega a presentar configuración cerrada o abierta.

Exhibe una interfaz líquido-atmósfera, denominada capa libre. Dicha capa concuerda con la línea piezométrica. Cuando el líquido es H<sub>2</sub>O en condiciones ambientales, el régimen de flujo typically es alborotado.

### **2.3.2 Rugosidad de la superficie**

Se caracteriza por la dimensión y configuración de las partículas del elemento que constituye el contorno empapado, generando una reacción de retardo en el corriente. En términos generales, las partículas finas originan un valor de \*n\*



relativamente bajo, mientras que las partículas gruesas producen una cuantía elevada de  $n^*$ .

### **2.3.3 Vegetación**

Llega a conceptualizarse como un tipo de pliegue superficial. Este fenómeno depende primordialmente de la altura, distribución, densidad y tipo de vegetación, y posee gran importancia en el diseño de conductos de alcantarillado de pequeña envergadura, ya que normalmente estos no obtienen mantenimiento regular.

### **2.3.4 Vertiente**

En geomorfología, una vertiente es un plano topográfico inclinado localizado entre los puntos elevados del relieve (cumbres, crestas, bordes de montañas o mesetas) y las zonas deprimidas (depresiones o valles, base de la vertiente, cauces fluviales).

### **2.3.5 Irregularidad de un canal**

Se señala a las fluctuaciones en la configuración transversal de los conductos, comprendiendo su morfología y contorno humedecido a través del eje longitudinal. En términos generales, una variación paulatina e igual en el perfil transversal o en sus dimensiones y disposición no causa efectos relevantes en el valor de  $n^*$ , mientras que cambios abruptos o la alternancia de partes de dimensiones heterogéneas exigen utilizar una cuantía incrementada de  $n^*$ .

### **2.3.6 Radio hidráulico**

Constituye un indicador fundamental en el diseño dimensional de conductos, tuberías y demás elementos de infraestructura hidráulica, representándose convencionalmente mediante la letra R.



### **2.3.7 Alineamiento del canal**

Acodas de gran radio y transición gradual generarán valores de  $n^*$  relativamente reducidos, mientras que curvaturas abruptas con meandros pronunciados provocarán un incremento significativo del coeficiente  $n^*$ .

### **2.3.8 Sedimentación y erosión**

En términos generales, los procesos de sedimentación y erosión activa generan alteraciones en el canal que provocan un aumento del valor de  $n^*$ . Urquhart (1975) destacó la relevancia de evaluar si estos 2 fenómenos están operativos y si es posible que se mantengan dinámicos en el futuro.

### **2.3.9 Rugosidad de lecho**

La aspereza superficial de los muros en conductos y tuberías depende del elemento de construcción, la condición de ejecución y la antigüedad de la estructura. Los valores se determinan mediante mediciones de recinto y campo. La diferenciación de este intervalo es crucial para el esquema hidráulico y el rendimiento óptimo de las infraestructuras hídricas, como se evidencia posteriormente.

### **2.3.10 Obstrucción**

La existencia de obstáculos como troncos, residuos de flujos o acumulaciones de material puede afectar sustancialmente el valor de  $n^*$ . La dimensión de estos efectos pende de la cuantía y dimensiones de dichos obstáculos.



## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Metodología de la Investigación

Este estudio es de naturaleza descriptiva; se caracteriza el comportamiento y funcionalidad de la prontitud y los caudales en un sector específico del conducto de concreto, analizando las variaciones y correlaciones entre las inconstantes consideradas. Adicionalmente, se narra el desempeño del pliegue de los conductos tras 12 años de servicio, esgrimiendo aperturas de compuerta de 0.35 m y 0.20 m bajo condiciones de flujo indestructible y uniforme.

El estudio es de carácter inductivo; dado que mediante el examen de nuestra zona de análisis es posible extrapolar la conducta hidráulico del conducto, tomando en cuenta que en el transcurso de su recorrido se presentan aumentos y disminuciones de caudal ocasionados por componentes externos no controlados en el estudio.

El enfoque es deductivo; dado que a partir de los puntos de aforo es posible inferir la conducta uniforme del área de análisis y, consecuentemente, las particularidades generales del canal de hormigón.



## 3.2 Identificación del área de estudio

### 3.2.1. *Diagnóstico de la situación actual*

El conducto de irrigación Huaman Tapara brinda servicio a las comunidades de Nuevo Perú, Tumuyo Paraca, Puca Cunca, Huaricumca, Sumoyunguyo, Sañomocco, Nasapaya, Cauchiri, Ticuyo, Quitampari y las localidades de Juan Velazco Alvarado y Orccorarapampa. En estas áreas ya se manifiestan deficiencias en la infraestructura del canal debido a sus doce años de operación. El sistema de riego posibilita unir más de 2000 ha de terreno agrícola bajo régimen de irrigación.

### 3.2.2. *Características del canal de irrigación*

- **Hidrografía**

El afluente Nuñoa posee su origen próximo a los glaciares de Chara-Charcani, Quellopujo y Quellococha. Posteriormente, adopta la denominación de afluente Asillo en la localidad homónima, admitido un desagüe de tipo subdendrítico con orientación noroeste. En el sector de ingreso al proyecto, llamado Quishuarani, su dirección predominante es suroeste, mostrando un patrón de drenaje anastomosado con inflexiones hacia el sureste y sur, proporcionalmente. Continúa hacia Asillo, persiste en dirección este hasta Azángaro —en la que recibe la denominación de afluente Azángaro— y finalmente se convierte en el afluente Rámis, que desagua en la cuenca Titicaca.

- **Clima**

Frío Templado. - Característicamente, en las laderas de la microcuenca de influencia del estudio, se observan valles con configuraciones en "V" y "U", bajo un



régimen climático árido entre noviembre y abril, y lluvioso entre diciembre y marzo. Los aguaceros son intensos, con un temple promedio de 8.7°C y un rango de variación de 6.3°C a 10.1°C. La precipitación promedio anual es de 593.17 mm.

- **Vegetación**

En la mayoría del territorio predomina la vegetación de ichu y especies de tallo reducido, debido a la altitud superior a los 3,800 msnm, junto con pastos naturales como líquenes y musgos. En las depresiones topográficas y laderas montañosas se realizan cultivos estacionales en el transcurso del período de lluvias. El clima se clasifica como frío templado, típico de los lados de las microcuencas de dominio del estudio, donde los valles presentan perfiles en U y V, con estaciones secas de noviembre, abril y aguacero de marzo, diciembre, caracterizada por precipitaciones intensas.

- **Geodinámica externa**

A partir de la perspectiva de la Geodinámica externa, los suelos presentan baja actividad evolutiva, no existiendo riesgo de deslizamientos profundos, aludes de roca o flujos de lodo de magnitud significativa, por la que se clasifican como constantes.

Los métodos geodinámicos en el área de atracción se restringen a desgaste y sedimentación fluvial, con el sumario erosivo confinado a balcones aluviales, sin observarse fenómenos relevantes de inestabilidad de laderas en los lados del valle.

- **Estabilidad de taludes**

Se indicó previamente, los declives del terreno presentan predominante estabilidad, determinada tanto por su configuración geomorfológica como por la naturaleza de la materia prima constituyentes.



El equilibrio nativo, al verse modificado por las excavaciones necesarias, así como por la carga aplicada por los repletos y la estructura del conducto, recuperará su condición de equilibrio.

Para preservar el balance isostático en macizos pedregosos y superficies blandas, es apropiado conservar las inclinaciones de incisión y repleto que se especifican posteriormente:

**Tabla 5**

*Según los taludes y tipo de material, altura recomendada*

TALUD (H/V)	TIPO DE MATERIAL	ALTURA RECOMENDADA
Corte 1:10	Roca firme con incipiente fractura miento y mínima alteración	15 m.
Corte 1:6 a 1:4	Roca fracturada y moderadamente Alterada. Material suelto y roca muy alterada	10 m.
Corte 1:1 a 1:2	Rellenos y terraplenes con material de excavación preferentemente compactada.	<6 m.
Relleno 1:1 a 1.5:1		<5 >2

*Nota.* Tomada de (Villon, B.M, 2007)

### 3.3 Desarrollo técnico descriptivo de la investigación

Se ejecuto por medio de 4 etapas metodológicas:

- a) **Fase I;** Afirmación in situ e examen ocular, recolección de datos y material fotográfico para una valoración precedente del conducto y definición de estaciones de cabida.
- b) **Fase II;** Definición de la configuración transversal del conducto en las frecuencias de aforo escogidas, y cuantificación de la gradiente invariable del fondo.



**c) Fase III;** Ejecución de trabajos de oficina para computar la velocidad media teórica del caudal mediante la fórmula de Manning:

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

El cálculo teórico se efectúa en base a las siguientes distinciones:

- El régimen de flujo es indestructible y semejante en el canal de hormigón bajo estudio.
- La aspereza absoluta, de acuerdo con las descripciones técnicas del documento en el rubro de acabado de superficies no moldeadas con terminación pulida (empleando plancha metálica y cemento), aplica a superficies expuestas y visibles como pisos y crestas de aliviaderos, asignándose un valor de 2 mm. A través de la sistematización teórico del coeficiente de rugosidades "n" de Manning, es factible establecer la prontitud media teórica de los caudales.

**d) Fase IV;** Se ejecutan mediciones en campo, consiguiendo la rapidez promedio real. Conocidos los parámetros geométricos establecidos en la fase II, es posible desembarazar de la fórmula de Manning el factor real de pliegue "n". Para ejecutar estas mediciones de rapidez, deben cumplirse en los tiempos de capacidad las condiciones siguientes:

- El régimen de flujo debe ser uniforme y permanente.
- Los registros de celeridad se ejecutan conforme a los parámetros del equipo de medición, que para este estudio involucra al sensor de caudal Mainstream.

**Tabla 6**

*Valores hidráulicos*

ESTACION DE AFORO	DATOS TEORICOS			DATOS DE CAMPO REAL			DATOS DE CAMPO CON MANTENIMIENTO	
	PENDIENTE	TIRANTE (Y)	"n" TEORICO	V MEDIA TEORICO	V MEDIA REAL	"n" REAL	V MEDIA CR	"n" CR
A1	Constante	Y1	n teórico	V teórico	V Real	n Real	V CR	n CR
A2	Constante	Y2	n teórico	V teórico	V Real	n Real	V CR	n CR
A3	Constante	Y3	n teórico	V teórico	V Real	n Real	V CR	n CR
A4	Constante	Y4	n teórico	V teórico	V Real	n Real	V CR	n CR

*Nota.* Se considerarán valores teóricos, de campo y con mantenimiento

### 3.2.3. Levantamiento topográfico

Los trabajos topográficos poseen como propósito la implementación de recursos materiales, organizacionales y humanos para generar planos de secciones transversales, perfiles longitudinales y plantas del canal primordial, sus derivaciones y la estructura de toma. Se comprobó un aplazado de 0.2‰ (0.2 por mil).

**Figura 4**

*Verificación de la pendiente*



*Nota.* La pendiente registrada es de 2/1000



Los datos topográficos esgrimidos como fundamento para los adeudos ejecutados son los subsiguientes: se registró un caudal uniforme de 0.2‰ en los ramales 0+825-0+875, 1+635-1+675, 2+135-2+175 y 3+335-3+375. Dentro de estos intervalos se ejecutaron los aforos hidráulicos.

### **3.2.4. Muestra de estudio**

#### **3.2.4.1. Determinación de la unidad de análisis**

Para establecer la unidad de estudio se adoptó como criterio fundamental el período de servicio de la infraestructura, eligiéndose el conducto del módulo Huaman Tapara con capacidad de conducción de 1.5 m<sup>3</sup>/s, construido en el año 2005 y con 12 años de operación al momento de realizarse las mediciones de prontitud.

Esta diferencia temporal permite contrastar la prontitud media existente del conducto con la prontitud media hipotética proyectada en fase de diseño, mediante la aplicación del factor de rugosidad de mediciones y Manning de campo de prontitudes existentes.

#### **3.2.4.2. Delimitación de las unidades de análisis**

Se definió el ámbito de estudio, sobre el cual se han conseguido los hallazgos investigativos bajo las siguientes circunspecciones:

- El conducto Huaman Tapara, que se origina en la obra de toma, posee una longitud total de 18 km.
- Caudales uniforme y tramos con caudal firmes, sin derivaciones ni mermas significativas que perturben el flujo. Bajo este juicio, se seleccionaron como puntos de aforo el tramo incluido entre el progresivo km 0+000 y 4+000, donde el régimen de flujo es semejante.

### 3.2.4.3. Selección de las estaciones de aforo

Para los contextos requeridos para aforar y cuantificar la velocidad del flujo, se necesitan secciones localizadas en distancias rectas extensas con gradientes constantes. Estos contextos excluyen las distancias curvas donde la conducta hidráulica varía, ya que existe peligro de inexactitudes en la valoración de la prontitud. Por otra parte, debe asegurarse que el flujo sea estable y semejante. Para satisfacer estos requisitos, es fundamental seleccionar tramos largos, rectos y de acceso expedito, lo cual se consigue utilizando las estructuras existentes en el diseño original del conducto de concreto.

**Tabla 7**

*Estaciones de aforo seleccionada*

ESTACION	COORD.UTM (N)	COORD.UTM (E)	SECCION	ACCESO
E1	N:8400411.01	E:321711.19	TRAPEZOIDAL	Puente vehicular
E2	N:8399700.31	E:322537.79	TRAPEZOIDAL	Puente peatonal
E3	N:8399045.64	E:322459.24	TRAPEZOIDAL	provisionales
E4	N:8398275.27	E:322782.90	TRAPEZOIDAL	Provisionales

*Nota.* Se considerarán las coordenadas y sección del canal

### 3.2.5. Estadística aplicada al análisis de datos

En el campo estadístico, el discernimiento de Chauvenet constituye un procedimiento para determinar si una medición debe clasificarse como dudosa y, en consecuencia, ser descartada de un grupo de fichas experimentales por posiblemente representar un valor atípico. En el ámbito de la hidráulica experimental, este criterio se aplica frecuentemente para el análisis de datos (Rodríguez, D.P, 2009), distinguir anexo 02



**Prueba de hipótesis;** Se desenvuelve esta sección para establecer los límites de aplicabilidad de un ensayo de hipótesis en la investigación actual.

La evaluación de hipótesis se ejecuta por medio de un procedimiento metodológico metódico, el cual se sintetiza a continuación.

- Determinación del nivel de significancia estadística.
- Formulación de las hipótesis alternativa y nula.
- Establecimiento del criterio de decisión.
- Elección del estadístico de contraste apropiado.
- Rechazo o aprobación de la hipótesis nula.
- Extracción de un muestreo y adopción de una resolución.

**Objetivo de la prueba de hipótesis;** la finalidad del contraste de hipótesis no es dudar del valor del estadístico calculado, sino evaluar la discrepancia entre el estadístico muestral y un valor hipotético del indicador de la población.

Por consiguiente, la prueba de hipótesis no resulta aplicable a este estudio, dado que no se han formulado hipótesis nula o alternativa, las cuales pertenecen a demás diseños de estudio, como los interconectados.

El juicio de Chauvenet es la que mejor se adapta al actual estudio y es el método empleado.

### **3.2.6. Metodología de aforo**

#### **a) Instrumentos**

Las herramientas aplicadas son:



- Caudalímetro Mainstream.
- Sensor de nivel, mecanismo que determina la altura del líquido circulante en el conducto, en este caso provisto junto con la sonda de prontitud.
- Sondeas de prontitud, dispositivo ultrasónico que cuantifica la celeridad del fluido en movimiento.
- Cable de transmisión de datos.

## b) Descripción del medidor de flujo mainstream.

- Aplicaciones: Se emplea en los subsiguientes ámbitos: control de efluentes, vigilancia de H<sub>2</sub>O técnicos y remanentes, supervisión de canales de riego, así como las mediciones de caudales en afluentes y arroyos.
- Beneficios y Características: No requiere presas o estructuras de vertido, midiendo prontitudes de flujo en sentido directo o inverso desde 10 mm/s hasta 5 m/s. La tecnología ultrasónica del equipo garantiza precisión en las mediciones, siendo apto para cualquier líquido con partículas en suspensión o burbujas, incluso en concentraciones mínimas. El sensor de prontitud detecta las ondas ultrasónicas reflejadas.

Las señales captadas por el sensor son procesadas por medio de la técnica de Procesamiento de Coherencia de Fase (patente en trámite).

El Procesamiento de Coherencia de Fase únicamente admite indicadores que contienen pesquisa de prontitud validada. El % de señales admitidas se refleja en el itinerario de condición. Un valor elevado en este indicador ratifica la precisión de las mediciones.



Las indicaciones de prontitud validadas generan una distribución histogramática de la prontitud del flujo. El examen de este histograma permite calcular la velocidad media del caudal.

### c) Especificaciones del medidor de flujo

- Unidad central: Estuche de Al robusto con protección ambiental, adecuado para instalación fija. Medidas: 350 mm de alto x 165 mm de ancho x 90 mm de fondo. Masa: 4.5 kg.
- Transductor de prontitud: Estructura delgada de PVC. Extensiones: 100 milímetros de largo x 55 milímetros de ancho x 25 mm de espesor. La conexión del cable y el sensor de presión se sitúan en la zona posterior. Cable apantallado – distancia estándar 10 m; longitud mayor: 300 m.
- Transductor de nivel: Sensor de presiones de acero INOX, asegurado por aire desecante. Es totalmente compatibles con transductores de grado que producen indicaciones de 4-20 mA.
- Observación de datos: Se muestran mediante representaciones de amplio tamaño en pantalla LCD, configurable para la mayoría de unidades esgrimidas en aplicaciones ingenieriles.
- Almacenamiento de datos: El sistema completo de registro es configurable para intervalos a partir de 10 s hasta 60 min. Posee capacidades para la gestión y estructuración de información.

## Figura 5

*Equipo medidor de Flujo Mainstream*



### d) Descripción del procedimiento de medición

Conforme con la hipótesis establecida, para la valoración de la rapidez debe considerarse que el flujo presente un régimen indestructible y semejante, sin derivaciones o bifurcaciones hacia conductos laterales en la distancia de análisis.

La instalación de los medidores de flujo es seguida, orientando los pulsos eléctricos en dirección contraria al flujo, posicionando los sensores de prontitud en el hondo y centro del conducto para maximizar el área de medición del equipo.



## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Evaluación del canal

Tal hallazgo de la Fase I, se ha establecido el muestreo de análisis y definido las épocas de cabida. Esta etapa metodológica es crucial, ya que ha autorizado reducir las variables intervinientes que distorsionan la valoración de la prontitud en el conducto de análisis. Se ha logrado una caracterización de la canal basada en alteraciones del flujo, como tomas no autorizadas, obstáculos en el cauce, acrecentamientos de caudal por veneros y deterioro estructural de los taludes. Estos aspectos se resumen en la Figura 4: descripción e imágenes de las condiciones del canal, donde se evidencian aportes de caudal de veneros, tomas clandestinas en múltiples puntos y el desperfecto estructural de los canales de hormigón.

**Figura 6**

*Contribución de caudales derivados de manantiales*



**Figura 7**

*Tomas clandestinas de caudales en el canal en diferentes puntos.*



**Figura 8**

*Deterioros estructurales del talud del canal.*

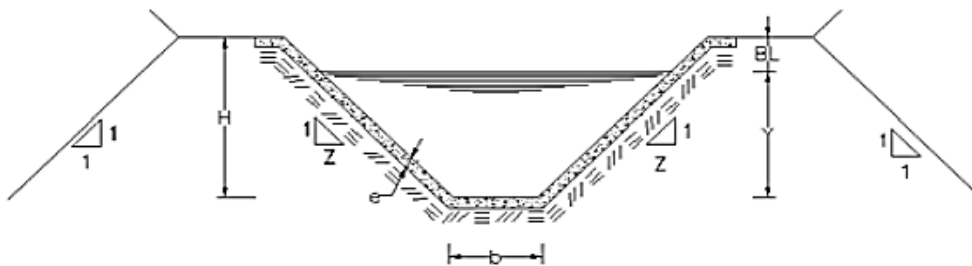


### 4.1.1. Geometría del canal de las estaciones de aforo

Para los 4 tiempos de medición apartadas, se determinó la configuración geométrica transversales respecto a las direcciones del flujo como hallazgo de la Etapa II

**Figura 9**

*Geometría del canal*



*Nota.* Tomado de (Villon, B.M, 2007).

$$b=1.20 \text{ m}$$

$$z= 1$$

$$y= 1.056 \text{ m}$$

$BL = 0.14 \text{ m}$ **Figura 9***Sección geométrica transversal del canal***4.1.2. Aforos**

Del análisis de canales, se determina que poseen una cabida hidráulica de 1.5  $\text{m}^3/\text{s}$  con una elevación total de 1.20 m. Restando el bordo libre (X% de 1.20 m), se consigue un tirante de  $Y = 1.20 - (X\% \times 1.20)$   $Y = 1.20 - (X\% \times 1.20)$  metros. Este valor es crucial para el cálculo teórico del factor de rugosidad de Manning.

La ejecución de las cabidas se realizó en combinación con la entidad competente:

- ALA Afluente Ramis: Se gestionó el apoyo con instrumentación y equipamiento para capacidades, específicamente para cálculos de prontitud media de flujo en el conducto. Es relevante indicar que demás entidades responsables de la supervisión de recursos líquidos asimismo cuentan con dispositivos como correntómetro; no obstante, estos equipos miden la prontitud exacta a una



profundidad específica, por la que requerirían emplear el método de 5 puntos para conseguir la prontitud media, introduciendo errores operativos debido al factor humano. Sin embargo, la ALA Afluente Ramis se halla entre las instituciones mejor dotadas en esta materia dentro de nuestro territorio, motivo por el cual se establecieron las organizaciones correspondientes.

- **ASOCIACIÓN DE REGANTES:** Beneficiarios seguidos que programan y facultan el uso del recurso hídrico mediante reunión asamblearia, de acuerdo con sus regulaciones internas. Estos realizan un desembolso por dicho erguido, cuya validación se fundamenta en los planes de labor de la zona.

#### **4.1.1.1 Estaciones de aforo**

Una de las imparciales primordiales del reconocimiento de campo a lo largo de todo el conducto fue evaluar la perspectiva para la localización de los tiempos de medición. Complementariamente, se recabaron registros fotográficos y se efectuaron entrevistas con los usuarios del recurso hídrico.

Las estaciones de aforo han sido detalladas en el capítulo III, y fueron seleccionadas bajo los siguientes criterios: tramos rectos extensos, aprovechando las distribuciones existentes (labores de arte) para garantizar ingreso completo durante las mediciones, como se ilustra en la imagen adjunta:

**Figura 10***Estación de aforo 01***4.1.1.2 Mediciones de velocidad de flujo**

Para la medición en todas las estaciones de aforo, se ejecutaron dos caudales distintos. En la primera cabida se esgrimieron derechamente los tiempos designados, mientras que en el segundo se redujo el caudal, resultando en un tenso menor y una prontitud promedio reducida.

Posteriormente, se detalla la labor de campo ejecutada:

A través de coordinaciones anticipadas con las entidades responsables de la gestión del conducto, se consiguió la autorización para manipular las compuertas de la toma principal en 2 niveles diferentes. Los ensayos fueron realizados con empleados técnicos calificados, quien se encargó de las operaciones y registro de pesquisa.

**PRIMER AFORO:** Se procedió derechamente al trabajo de campo considerando que, a lo largo de los 3 días previos al tiempo de cabida, se mantuvo una inauguración

constante de 0.35 m en la compuerta de la bocatoma. Esta condición fue aprovechada debido a que el flujo presentaba un régimen uniforme y permanente.

## Figura 11

*Graduación del nivel de apertura*



Subsiguientemente, se procedió al ensamblaje del dispositivo para el cálculo de la prontitud media en puntos de cabida, la cual incluye: un sensor de rapidez, una unidad de esquema de registro de datos, un sensor de grado de H<sub>2</sub>O y un cable de 10 m de distancia que interconecta los detectores con la unidad central.

Durante la instalación, se posicionó el detector de rapidez en la base del cauce para capturar el nivel de H<sub>2</sub>O, y en el núcleo del conducto para asegurar la detección simétrica de las lecturas de prontitud.

**Figura 12**

*Ubicación del sensor de velocidad en el canal*



Este protocolo de mediciones se repitió en las 4 estaciones de tonELAJE.

**SEGUNDO AFORO:** se redujo la inauguración de las salidas de la bocatoma a 0.20 m y se aguardaron cuatro horas hasta que el flujo alcanzara un régimen uniforme y permanente.

Se registraron velocidades promedio a momentos de 60 seg.

**TERCER AFORO:** Durante el tercer período de medición de flujo, se ejecutó tras realizar actividades de conservación que incorporaron desbroce previo y rehabilitación en sectores estratégicos del conducto. El monitoreo de caudal se desarrolló con una apertura de 35 centímetros en las compuertas de captación principal.

La rehabilitación —compuesta por recubrimiento con concreto de arena fina, cemento puzolánico IP, adición de acelerante (SikaRapid 1) y aglutinante (Sikadur 32 Gel)—,

precedida de limpieza, se ejecutó en las 4 estaciones, cubriendo 7.5 m H<sub>2</sub>O arriba por estación, totalizando 30 m en todas las estaciones de monitoreo.

### Figura 13

*Mantenimiento - revestimiento del canal*



**CUARTO AFORO:** El proceso de medición de caudal en esta etapa se ejecuto tras el mantenimiento, que incluyó una limpieza preliminar y el re-recubrimiento de las secciones más deterioradas del canal. La medición se realizó con el agua a una altura de 0.20 m desde las salidas de la toma principal.

#### 4.1.1.3 Resultados de los aforos

En esta sección se reflejan los hallazgos de cuatro mediciones de caudal efectuadas con los medidores de flujo Mainstream, cada una con un calado distinto. Para cada medición se detalla: la apertura de las compuertas de la bocatoma, los datos crudos descargados del equipo a la computadora, y el procesamiento estadístico —basado en el criterio de Chauvenet— aplicado a los valores de profundidad y prontitud del flujo (ver anexo N°02)

## PRIMER AFORO

Primera cabida realizado con la apertura de la compuerta en la bocatoma a 0,35 m.

- Estación de aforo Est-01

**Figura 14**

Datos registrados Primer aforo Est-01

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRA SOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY	
	hh:mm:ss	m	%	m/s	
1	9:01:00	0.893	97.5	0.396	
2	9:02:00	0.895	98.4	0.375	
3	9:03:00	0.894	96.3	0.403	
4	9:04:00	0.892	95.9	0.369	
5	9:05:00	0.894	98.1	0.401	
6	9:06:00	0.893	98.7	0.385	
7	9:07:00	0.895	97.5	0.395	

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 8**

Procesamiento estadístico Primer aforo Est-01 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE $X_i$ PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum (X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$p = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.396	0.389	0.01315	0.366	0.413	0.95	PERTENECE	0.0050
2	0.375			0.366	0.413	0.95	PERTENECE	0.0050
3	0.403			0.366	0.413	0.95	PERTENECE	0.0050
4	0.369			0.366	0.413	0.95	PERTENECE	0.0050
5	0.401			0.366	0.413	0.95	PERTENECE	0.0050
6	0.385			0.366	0.413	0.95	PERTENECE	0.0050
7	0.395			0.366	0.413	0.95	PERTENECE	0.0050

Nota. Prontitud de flujo según el criterio de Chauvenet

**Tabla 9**

*Procesamiento estadístico Primer aforo Est-01 (profundidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.893	0.894	0.00111	0.892	0.896	0.95	PERTENECE	0.0004
2	0.895			0.892	0.896	0.95	PERTENECE	0.0004
3	0.894			0.892	0.896	0.95	PERTENECE	0.0004
4	0.892			0.892	0.896	0.95	PERTENECE	0.0004
5	0.894			0.892	0.896	0.95	PERTENECE	0.0004
6	0.893			0.892	0.896	0.95	PERTENECE	0.0004
7	0.895			0.892	0.896	0.95	PERTENECE	0.0004

*Nota.* Hondura de flujo como el discernimiento de Chauvenet

## Estación de aforo Est-02

**Figura 15**

*Datos registrados Primer aforo Est-02*

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	9:15:00	0.935	98.9	0.361
2	9:16:00	0.937	97.5	0.365
3	9:17:00	0.942	98.9	0.374
4	9:18:00	0.929	96.3	0.342
5	9:19:00	0.937	98.7	0.358
6	9:20:00	0.935	98.6	0.375
7	9:21:00	0.941	98.4	0.374

*Nota.* Datos conseguidos por el mecanismo contador de Flujo

**Tabla 10**

*Procesamiento estadístico Primer aforo Est-02 (velocidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - K_u, X_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - K_u, X_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.361	0.364	0.01191	0.343	0.385	0.95	PERTENECE	0.0045
2	0.365			0.343	0.385	0.95	PERTENECE	0.0045
3	0.374			0.343	0.385	0.95	PERTENECE	0.0045
4	0.342			0.343	0.385	0.95	PERTENECE	0.0045
5	0.358			0.343	0.385	0.95	PERTENECE	0.0045
6	0.375			0.343	0.385	0.95	PERTENECE	0.0045
7	0.374			0.343	0.385	0.95	PERTENECE	0.0045

*Nota.* Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 11**

*Procesamiento estadístico Primer aforo Est-02 (profundidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - K_u, X_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - K_u, X_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.935	0.937	0.00431	0.929	0.944	0.95	PERTENECE	0.0016
2	0.937			0.929	0.944	0.95	PERTENECE	0.0016
3	0.942			0.929	0.944	0.95	PERTENECE	0.0016
4	0.929			0.929	0.944	0.95	PERTENECE	0.0016
5	0.937			0.929	0.944	0.95	PERTENECE	0.0016
6	0.935			0.929	0.944	0.95	PERTENECE	0.0016
7	0.941			0.929	0.944	0.95	PERTENECE	0.0016

*Nota.* Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-03

**Figura 16**

Datos registrados Primer aforo Est-03

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	9:30:00	0.955	97.1	0.348
2	9:31:00	0.943	98.1	0.347
3	9:32:00	0.964	97.5	0.353
4	9:33:00	0.967	97.0	0.353
5	9:34:00	0.955	99.1	0.354
6	9:35:00	0.943	98.1	0.349
7	9:36:00	0.962	97.9	0.342

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 12**

Procesamiento estadístico Primer aforo Est-03 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum X_p - X_i^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.348	0.349	0.00428	0.342	0.357	0.95	PERTENECE	0.0016
2	0.347			0.342	0.357	0.95	PERTENECE	0.0016
3	0.353			0.342	0.357	0.95	PERTENECE	0.0016
4	0.353			0.342	0.357	0.95	PERTENECE	0.0016
5	0.354			0.342	0.357	0.95	PERTENECE	0.0016
6	0.349			0.342	0.357	0.95	PERTENECE	0.0016
7	0.342			0.342	0.357	0.95	PERTENECE	0.0016

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 13**

*Procesamiento estadístico Primer aforo Est-03 (profundidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE $X_i$ PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$			$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.955	0.956	0.00966	0.938	0.973	0.95	PERTENECE	0.0037
2	0.943			0.938	0.973	0.95	PERTENECE	0.0037
3	0.964			0.938	0.973	0.95	PERTENECE	0.0037
4	0.967			0.938	0.973	0.95	PERTENECE	0.0037
5	0.955			0.938	0.973	0.95	PERTENECE	0.0037
6	0.943			0.938	0.973	0.95	PERTENECE	0.0037
7	0.962			0.938	0.973	0.95	PERTENECE	0.0037

*Nota.* Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-04

**Figura 17**

*Datos registrados Primer aforo Est-04*

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
		TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
		hh:mm:ss	m	%	m/s
1		10:58:00	0.985	97.6	0.332
2		10:59:00	0.976	98.7	0.345
3		11:00:00	0.983	98.9	0.336
4		11:01:00	0.981	96.8	0.357
5		11:02:00	0.995	97.5	0.343
6		11:03:00	0.987	98.4	0.327
7		11:04:00	0.983	97.9	0.321

*Nota.* Datos conseguidos por el mecanismo medidor de Flujo

**Tabla 14**

*Procesamiento estadístico Primer aforo Est-04 (velocidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.332	0.337	0.01212	0.316	0.359	0.95	PERTENECE	0.0046
2	0.345			0.316	0.359	0.95	PERTENECE	0.0046
3	0.336			0.316	0.359	0.95	PERTENECE	0.0046
4	0.357			0.316	0.359	0.95	PERTENECE	0.0046
5	0.343			0.316	0.359	0.95	PERTENECE	0.0046
6	0.327			0.316	0.359	0.95	PERTENECE	0.0046
7	0.321			0.316	0.359	0.95	PERTENECE	0.0046

*Nota.* Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 15**

*Procesamiento estadístico Primer aforo Est-04 (profundidad).*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.985	0.984	0.00585	0.974	0.995	0.95	PERTENECE	0.0022
2	0.976			0.974	0.995	0.95	PERTENECE	0.0022
3	0.983			0.974	0.995	0.95	PERTENECE	0.0022
4	0.981			0.974	0.995	0.95	PERTENECE	0.0022
5	0.995			0.974	0.995	0.95	PERTENECE	0.0022
6	0.987			0.974	0.995	0.95	PERTENECE	0.0022
7	0.983			0.974	0.995	0.95	PERTENECE	0.0022

*Nota.* Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

Posteriormente, se expone un cuadro sinopsis de la primera cabida, en el cual se especifican la hondura y la prontitud del flujo tras el procesamiento estadística.

Adicionalmente, se incorporan la zona y el contorno humedecidos, la gradiente, y el radio hidráulico. Con estas cifras y la diligencia de la fórmula de Manning, se calculó el caudal y el factor de rugosidad de Manning.

**Tabla 16**

*Resumen de hallazgos del primer aforo parámetros reales.*

ESTACION DE AFORO	PROFUNDIDAD DE FLUJO	VELOCIDAD DE FLUJO	AREA MOJADA	CAUDAL	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULIC	PENDIENTE	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
	Y(m)	V(m/s)	A(m <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(m)	R(m)	S	"n"
EST -01	0.894	0.389	1.872	0.73	3.729	0.502	0.0002	0.023
EST -02	0.937	0.364	2.002	0.73	3.850	0.520	0.0002	0.025
EST -03	0.956	0.349	2.061	0.72	3.904	0.528	0.0002	0.026
EST -04	0.984	0.337	2.149	0.72	3.983	0.540	0.0002	0.028

## SEGUNDO AFORO

Para la segunda medición de caudal, la abertura de la compuerta en la bocatoma se estableció en 0.20 m.

### Estación de aforo Est-01

**Figura 18**

*Datos registrados segundo aforo Est-01*

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	11:28:00	0.687	97.3	0.312
2	11:29:00	0.678	97.8	0.311
3	11:30:00	0.696	98.9	0.322
4	11:31:00	0.698	96.7	0.315
5	11:32:00	0.699	98.3	0.324
6	11:33:00	0.675	98.7	0.322
7	11:34:00	0.687	97.4	0.298

*Nota.* Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 17**

*Procesamiento estadístico segundo aforo Est-01 (velocidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.312	0.315	0.00906	0.299	0.331	0.95	PERTENECE	0.0034
2	0.311			0.299	0.331	0.95	PERTENECE	0.0034
3	0.322			0.299	0.331	0.95	PERTENECE	0.0034
4	0.315			0.299	0.331	0.95	PERTENECE	0.0034
5	0.324			0.299	0.331	0.95	PERTENECE	0.0034
6	0.322			0.299	0.331	0.95	PERTENECE	0.0034
7	0.298			0.299	0.331	0.95	PERTENECE	0.0034

*Nota.* Prontitud de flujo como el criterio de Chauvenet

**Tabla 18**

*Procesamiento estadístico segundo aforo Est-01 (profundidad).*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.687	0.689	0.00961	0.671	0.706	0.95	PERTENECE	0.0036
2	0.678			0.671	0.706	0.95	PERTENECE	0.0036
3	0.696			0.671	0.706	0.95	PERTENECE	0.0036
4	0.698			0.671	0.706	0.95	PERTENECE	0.0036
5	0.699			0.671	0.706	0.95	PERTENECE	0.0036
6	0.675			0.671	0.706	0.95	PERTENECE	0.0036
7	0.687			0.671	0.706	0.95	PERTENECE	0.0036

*Nota.* Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

### Estación de aforo Est-02

**Figura 19**

Datos registrados segundo aforo Est-02

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	11:45:00	0.704	98.2	0.301
2	11:46:00	0.708	98.4	0.291
3	11:47:00	0.716	98.2	0.294
4	11:48:00	0.722	97.5	0.305
5	11:49:00	0.698	97.6	0.295
6	11:50:00	0.698	98.7	0.297
7	11:51:00	0.689	96.2	0.285

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 19**

Procesamiento estadístico segundo aforo Est-02 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - K_u, X_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - K_u, X_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.301	0.295	0.00653	0.284	0.307	0.95	PERTENECE	0.0025
2	0.291			0.284	0.307	0.95	PERTENECE	0.0025
3	0.294			0.284	0.307	0.95	PERTENECE	0.0025
4	0.305			0.284	0.307	0.95	PERTENECE	0.0025
5	0.295			0.284	0.307	0.95	PERTENECE	0.0025
6	0.297			0.284	0.307	0.95	PERTENECE	0.0025
7	0.285			0.284	0.307	0.95	PERTENECE	0.0025

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 20**

Procesamiento estadístico segundo aforo Est-02 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.704	0.705	0.01136	0.685	0.725	0.95	PERTENECE	0.0043
2	0.708			0.685	0.725	0.95	PERTENECE	0.0043
3	0.716			0.685	0.725	0.95	PERTENECE	0.0043
4	0.722			0.685	0.725	0.95	PERTENECE	0.0043
5	0.698			0.685	0.725	0.95	PERTENECE	0.0043
6	0.698			0.685	0.725	0.95	PERTENECE	0.0043
7	0.689			0.685	0.725	0.95	PERTENECE	0.0043

Nota. Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-03

**Figura 20**

Datos registrados segundo aforo Est-03

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
		TIME	LIQUID LEVEL	ULTRA SOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
		hh:mm:ss	m	%	m/s
1		12:22:00	0.748	97.4	0.275
2		12:23:00	0.743	98.2	0.254
3		12:24:00	0.725	96.9	0.261
4		12:25:00	0.725	97.5	0.273
5		12:26:00	0.729	96.5	0.259
6		12:27:00	0.736	96.4	0.263
7		12:28:00	0.729	98.8	0.281

Nota. Datos hallados por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 21**

Procesamiento estadístico segundo aforo Est-03 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.275	0.267	0.00983	0.245	0.284	0.95	PERTENECE	0.0037
2	0.254			0.245	0.284	0.95	PERTENECE	0.0037
3	0.261			0.245	0.284	0.95	PERTENECE	0.0037
4	0.273			0.245	0.284	0.95	PERTENECE	0.0037
5	0.259			0.245	0.284	0.95	PERTENECE	0.0037
6	0.263			0.245	0.284	0.95	PERTENECE	0.0037
7	0.281			0.245	0.284	0.95	PERTENECE	0.0037

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 22**

Procesamiento estadístico segundo aforo Est-03 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.748	0.734	0.00905	0.717	0.750	0.95	PERTENECE	0.0034
2	0.743			0.717	0.750	0.95	PERTENECE	0.0034
3	0.725			0.717	0.750	0.95	PERTENECE	0.0034
4	0.725			0.717	0.750	0.95	PERTENECE	0.0034
5	0.729			0.717	0.750	0.95	PERTENECE	0.0034
6	0.736			0.717	0.750	0.95	PERTENECE	0.0034
7	0.729			0.717	0.750	0.95	PERTENECE	0.0034

Nota. Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-04

**Figura 21**

Datos registrados segundo aforo Est-04

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRA SOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	1:54:00	0.759	96.7	0.263
2	1:55:00	0.746	95.2	0.261
3	1:56:00	0.748	98.4	0.255
4	1:57:00	0.737	98.2	0.254
5	1:58:00	0.751	98.3	0.267
6	1:59:00	0.758	96.2	0.268
7	2:00:00	0.768	98.7	0.256

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 23**

Procesamiento estadístico segundo aforo Est-04 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.263	0.261	0.00574	0.250	0.271	0.95	PERTENECE	0.0037
2	0.261			0.250	0.271	0.95	PERTENECE	0.0037
3	0.255			0.250	0.271	0.95	PERTENECE	0.0037
4	0.254			0.250	0.271	0.95	PERTENECE	0.0037
5	0.267			0.250	0.271	0.95	PERTENECE	0.0037
6	0.268			0.250	0.271	0.95	PERTENECE	0.0037
7	0.256			0.250	0.271	0.95	PERTENECE	0.0037

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 24**

*Tratamiento estadístico segundo aforo Est-04 (profundidad).*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.759	0.752	0.01015	0.734	0.771	0.95	PERTENECE	0.0038
2	0.746			0.734	0.771	0.95	PERTENECE	0.0038
3	0.748			0.734	0.771	0.95	PERTENECE	0.0038
4	0.737			0.734	0.771	0.95	PERTENECE	0.0038
5	0.751			0.734	0.771	0.95	PERTENECE	0.0038
6	0.758			0.734	0.771	0.95	PERTENECE	0.0038
7	0.768			0.734	0.771	0.95	PERTENECE	0.0038

*Nota.* Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

Seguidamente, se expone un cuadro resumen de la segunda medición de caudal, en el que se especifican la prontitud y la profundidad del flujo tras el procesamiento estadístico. Asimismo, se incluyen la zona bañada, el contorno mojado, la frecuencia hidráulica y la pendiente. Mediante la diligencia de estos indicadores en la fórmula de Manning, se determinó el factor de rugosidades "n".

**Tabla 25**

*Resumen de hallazgos del segundo cabida parámetros reales*

ESTACION DE AFORO	PROFUNDIDAD DE FLUJO	VELOCIDAD DE FLUJO	AREA MOJADA	CAUDAL	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	PENDIENTE	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
	Y(m)	V(m/s)	A(m <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(m)	R(m)	S	"n"
EST -01	0.689	0.315	1.302	0.41	3.149	0.413	0.0002	0.025
EST -02	0.705	0.295	1.343	0.40	3.194	0.420	0.0002	0.027
EST -03	0.734	0.267	1.420	0.38	3.276	0.433	0.0002	0.030
EST -04	0.752	0.261	1.468	0.38	3.327	0.441	0.0002	0.031

## TERCER AFORO

Para la tercera medición de caudal, se configuró una apertura de compuerta de 0.35 m en la bocatoma, tras haber ejecutado labores de sustento y revestimiento del canal.

### Estación de aforo Est-01

**Figura 22**

*Datos registrados tercer aforo Est-01*

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	8:40:00	0.917	98.3	0.515
2	8:41:00	0.915	94.5	0.518
3	8:42:00	0.913	98.9	0.509
4	8:43:00	0.911	96.7	0.517
5	8:44:00	0.908	92.4	0.514
6	8:45:00	0.909	93.1	0.508
7	8:46:00	0.917	96.4	0.514

*Nota.* Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 26**

*Procesamiento estadístico tercer aforo Est-01 (velocidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$p = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.515	0.514	0.00378	0.507	0.520	0.95	PERTENECE	0.0014
2	0.518			0.507	0.520	0.95	PERTENECE	0.0034
3	0.509			0.507	0.520	0.95	PERTENECE	0.0034
4	0.517			0.507	0.520	0.95	PERTENECE	0.0034
5	0.514			0.507	0.520	0.95	PERTENECE	0.0034
6	0.508			0.507	0.520	0.95	PERTENECE	0.0034
7	0.514			0.507	0.520	0.95	PERTENECE	0.0034

*Nota.* Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 27**

Procesamiento estadístico tercer aforo Est-01 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum X_p^2 - X_p^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.917	0.913	0.00367	0.906	0.919	0.95	PERTENECE	0.0014
2	0.915			0.906	0.919	0.95	PERTENECE	0.0014
3	0.913			0.906	0.919	0.95	PERTENECE	0.0014
4	0.911			0.906	0.919	0.95	PERTENECE	0.0014
5	0.908			0.906	0.919	0.95	PERTENECE	0.0014
6	0.909			0.906	0.919	0.95	PERTENECE	0.0014
7	0.917			0.906	0.919	0.95	PERTENECE	0.0014

Nota. Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-02

**Figura 23**

Datos inscritos tercer aforo Est-02

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
		TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
		hh:mm:ss	m	%	m/s
1		8:55:00	0.921	97.3	0.501
2		8:56:00	0.917	98.4	0.507
3		8:57:00	0.917	94.2	0.509
4		8:58:00	0.918	97.5	0.498
5		8:59:00	0.922	93.4	0.498
6		9:00:00	0.916	98.7	0.504
7		9:01:00	0.913	97.1	0.501

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 28**

Procesamiento estadístico tercer aforo Est-02 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.501	0.503	0.00428	0.495	0.510	0.95	PERTENECE	0.0016
2	0.507			0.495	0.510	0.95	PERTENECE	0.0016
3	0.509			0.495	0.510	0.95	PERTENECE	0.0016
4	0.498			0.495	0.510	0.95	PERTENECE	0.0016
5	0.498			0.495	0.510	0.95	PERTENECE	0.0016
6	0.504			0.495	0.510	0.95	PERTENECE	0.0016
7	0.501			0.495	0.510	0.95	PERTENECE	0.0016

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 29**

Procesamiento estadístico tercer aforo Est-02 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [\bar{X}_p - K_u, \bar{X}_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.921	0.918	0.00304	0.912	0.923	0.95	PERTENECE	0.0011
2	0.917			0.912	0.923	0.95	PERTENECE	0.0011
3	0.917			0.912	0.923	0.95	PERTENECE	0.0011
4	0.918			0.912	0.923	0.95	PERTENECE	0.0011
5	0.922			0.912	0.923	0.95	PERTENECE	0.0011
6	0.916			0.912	0.923	0.95	PERTENECE	0.0011
7	0.913			0.912	0.923	0.95	PERTENECE	0.0011

Nota. Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-03

**Figura 24**

Datos registrados tercer aforo Est-03

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY	
	hh:mm:ss	m	%	m/s	
1	9:25:00	0.924	95.4	0.483	
2	9:26:00	0.925	97.1	0.484	
3	9:27:00	0.918	96.9	0.485	
4	9:28:00	0.921	95.4	0.492	
5	9:29:00	0.926	96.5	0.493	
6	9:30:00	0.924	96.4	0.484	
7	9:31:00	0.928	97.1	0.486	

Nota. Datos derivados por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 30**

Procesamiento estadístico tercer aforo Est-03 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum X_p - X_i^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.483	0.487	0.00407	0.479	0.494	0.95	PERTENECE	0.0015
2	0.484			0.479	0.494	0.95	PERTENECE	0.0015
3	0.485			0.479	0.494	0.95	PERTENECE	0.0015
4	0.492			0.479	0.494	0.95	PERTENECE	0.0015
5	0.493			0.479	0.494	0.95	PERTENECE	0.0015
6	0.484			0.479	0.494	0.95	PERTENECE	0.0015
7	0.486			0.479	0.494	0.95	PERTENECE	0.0015

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 31**

Procesamiento estadístico tercer aforo Est-03 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(x_p - \bar{x}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{x}_p - K_u, \bar{x}_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [\bar{x}_p - K_u, \bar{x}_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.924	0.924	0.00330	0.918	0.930	0.95	PERTENECE	0.0012
2	0.925			0.918	0.930	0.95	PERTENECE	0.0012
3	0.918			0.918	0.930	0.95	PERTENECE	0.0012
4	0.921			0.918	0.930	0.95	PERTENECE	0.0012
5	0.926			0.918	0.930	0.95	PERTENECE	0.0012
6	0.924			0.918	0.930	0.95	PERTENECE	0.0012
7	0.928			0.918	0.930	0.95	PERTENECE	0.0012

Nota. Hondura de flujo como el criterio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-04

**Figura 25**

Datos registrados tercer aforo Est-04

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY	
	hh:mm:ss	m	%	m/s	
1	9:58:00	0.931	95.2	0.472	
2	9:59:00	0.935	95.2	0.465	
3	10:00:00	0.939	97.1	0.458	
4	10:01:00	0.945	93.4	0.457	
5	10:02:00	0.939	92.4	0.468	
6	10:03:00	0.937	95.7	0.467	
7	10:04:00	0.944	96.6	0.468	

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 32**

Procesamiento estadístico tercer aforo Est-04 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{X}_p - Ku, \bar{X}_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [\bar{X}_p - Ku, \bar{X}_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.472	0.465	0.00554	0.455	0.475	0.95	PERTENECE	0.0021
2	0.465			0.455	0.475	0.95	PERTENECE	0.0021
3	0.458			0.455	0.475	0.95	PERTENECE	0.0021
4	0.457			0.455	0.475	0.95	PERTENECE	0.0021
5	0.468			0.455	0.475	0.95	PERTENECE	0.0021
6	0.467			0.455	0.475	0.95	PERTENECE	0.0021
7	0.468			0.455	0.475	0.95	PERTENECE	0.0021

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 33**

Procesamiento estadístico tercer aforo Est-04 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{X}_p - Ku, \bar{X}_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [\bar{X}_p - Ku, \bar{X}_p + ku]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.931	0.939	0.00489	0.930	0.947	0.95	PERTENECE	0.0018
2	0.935			0.930	0.947	0.95	PERTENECE	0.0018
3	0.939			0.930	0.947	0.95	PERTENECE	0.0018
4	0.945			0.930	0.947	0.95	PERTENECE	0.0018
5	0.939			0.930	0.947	0.95	PERTENECE	0.0018
6	0.937			0.930	0.947	0.95	PERTENECE	0.0018
7	0.944			0.930	0.947	0.95	PERTENECE	0.0018

Nota. Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 34**

*Resumen de hallazgos del tercer aforo indicadores al ejecutar mantenimiento-revestimiento*

ESTACION DE AFORO	PROFUNDIDAD DE FLUJO	VELOCIDAD DE FLUJO	AREA MOJADA	CAUDAL	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	PENDIENTE	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
	Y(m)	V(m/s)	A(m <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(m)	R(m)	S	"n"
EST -01	0.913	0.514	1.929	0.99	3.782	0.510	0.0002	0.018
EST -02	0.918	0.503	1.944	0.98	3.796	0.512	0.0002	0.018
EST -03	0.924	0.487	1.963	0.96	3.813	0.515	0.0002	0.019
EST -04	0.939	0.465	2.009	0.93	3.856	0.521	0.0002	0.020

## CUARTO AFORO

4 cabida con iniciación de compuerta de 0.20 m, realizado posterior al mantenimiento y recubrimiento de la estructura.

### Estación de aforo Est-01

**Figura 26**

*Datos registrados cuarto aforo Est-01*

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	10:32:00	0.786	93.4	0.432
2	10:33:00	0.789	97.8	0.442
3	10:34:00	0.787	98.9	0.438
4	10:35:00	0.789	97.1	0.435
5	10:36:00	0.785	98.3	0.437
6	10:37:00	0.792	94.2	0.441
7	10:38:00	0.793	98.4	0.438

*Nota.* Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 35**

*Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-01 (velocidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.432	0.438	0.00341	0.431	0.444	0.95	PERTENECE	0.0013
2	0.442			0.431	0.444	0.95	PERTENECE	0.0013
3	0.438			0.431	0.444	0.95	PERTENECE	0.0013
4	0.435			0.431	0.444	0.95	PERTENECE	0.0013
5	0.437			0.431	0.444	0.95	PERTENECE	0.0013
6	0.441			0.431	0.444	0.95	PERTENECE	0.0013
7	0.438			0.431	0.444	0.95	PERTENECE	0.0013

*Nota.* Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 36**

*Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-01 (profundidad).*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{X}_i$	$\bar{X}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.786	0.789	0.00298	0.783	0.794	0.95	PERTENECE	0.0011
2	0.789			0.783	0.794	0.95	PERTENECE	0.0011
3	0.787			0.783	0.794	0.95	PERTENECE	0.0011
4	0.789			0.783	0.794	0.95	PERTENECE	0.0011
5	0.785			0.783	0.794	0.95	PERTENECE	0.0011
6	0.792			0.783	0.794	0.95	PERTENECE	0.0011
7	0.793			0.783	0.794	0.95	PERTENECE	0.0011

*Nota.* Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-02

**Figura 27**

Datos inscritos cuarto aforo Est-02

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
		TIME	LIQUID LEVEL	ULTRA SOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
		hh:mm:ss	m	%	m/s
1		11:50:00	0.781	96.7	0.437
2		11:51:00	0.786	98.4	0.435
3		11:52:00	0.779	98.2	0.439
4		11:53:00	0.779	97.5	0.438
5		11:54:00	0.786	96.7	0.431
6		11:55:00	0.785	96.4	0.428
7		11:56:00	0.782	96.2	0.428

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 37**

Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-02 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRATICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$p = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.437	0.434	0.00468	0.425	0.442	0.95	PERTENECE	0.0018
2	0.435			0.425	0.442	0.95	PERTENECE	0.0018
3	0.439			0.425	0.442	0.95	PERTENECE	0.0018
4	0.438			0.425	0.442	0.95	PERTENECE	0.0018
5	0.431			0.425	0.442	0.95	PERTENECE	0.0018
6	0.428			0.425	0.442	0.95	PERTENECE	0.0018
7	0.428			0.425	0.442	0.95	PERTENECE	0.0018

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 38**

Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-02 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$p = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.781	0.783	0.00310	0.777	0.788	0.95	PERTENECE	0.0012
2	0.786			0.777	0.788	0.95	PERTENECE	0.0012
3	0.779			0.777	0.788	0.95	PERTENECE	0.0012
4	0.779			0.777	0.788	0.95	PERTENECE	0.0012
5	0.786			0.777	0.788	0.95	PERTENECE	0.0012
6	0.785			0.777	0.788	0.95	PERTENECE	0.0012
7	0.782			0.777	0.788	0.95	PERTENECE	0.0012

Nota. Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-03

**Figura 28**

Datos registrados cuarto aforo Est-03

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY	
	hh:mm:ss	m	%	m/s	
1	2:05:00	0.773	98.1	0.439	
2	2:06:00	0.775	98.2	0.437	
3	2:07:00	0.772	96.9	0.423	
4	2:08:00	0.771	97.5	0.425	
5	2:09:00	0.779	93.2	0.426	
6	2:10:00	0.779	95.7	0.437	
7	2:11:00	0.773	96.4	0.433	

Nota. Datos conseguidos por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 39**

*Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-03 (velocidad)*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(x_p - \bar{x}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{x}_p - K_u, \bar{x}_p + k_u]$		$p = 1 - \frac{1}{2n}$	$x_i \in [\bar{x}_p - K_u, \bar{x}_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.439	0.431	0.00663	0.420	0.443	0.95	PERTENECE	0.0025
2	0.437			0.420	0.443	0.95	PERTENECE	0.0025
3	0.423			0.420	0.443	0.95	PERTENECE	0.0025
4	0.425			0.420	0.443	0.95	PERTENECE	0.0025
5	0.426			0.420	0.443	0.95	PERTENECE	0.0025
6	0.437			0.420	0.443	0.95	PERTENECE	0.0025
7	0.433			0.420	0.443	0.95	PERTENECE	0.0025

*Nota.* Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 40**

*Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-03 (profundidad).*

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(x_p - \bar{x}_i)^2}{n-1}}$	$[\bar{x}_p - K_u, \bar{x}_p + k_u]$		$p = 1 - \frac{1}{2n}$	$x_i \in [\bar{x}_p - K_u, \bar{x}_p + k_u]$	$\sigma = \frac{u}{\sqrt{n}}$
1	0.773	0.775	0.00326	0.769	0.780	0.95	PERTENECE	0.0012
2	0.775			0.769	0.780	0.95	PERTENECE	0.0012
3	0.772			0.769	0.780	0.95	PERTENECE	0.0012
4	0.771			0.769	0.780	0.95	PERTENECE	0.0012
5	0.779			0.769	0.780	0.95	PERTENECE	0.0012
6	0.779			0.769	0.780	0.95	PERTENECE	0.0012
7	0.773			0.769	0.780	0.95	PERTENECE	0.0012

*Nota.* Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

## Estación de aforo Est-04

**Figura 29**

Datos registrados cuarto aforo Est-04

C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
	TIME	LIQUID LEVEL	ULTRASOUND SIGNAL QUALITY	FLOW VELOCITY
	hh:mm:ss	m	%	m/s
1	2:33:00	0.762	95.4	0.409
2	2:34:00	0.765	95.2	0.402
3	2:35:00	0.767	98.4	0.397
4	2:36:00	0.767	98.1	0.404
5	2:37:00	0.771	98.3	0.405
6	2:38:00	0.772	95.4	0.403
7	2:39:00	0.775	96.2	0.409

Nota. Datos derivados por el equipo medidor de Flujo

**Tabla 41**

Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-04 (velocidad)

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE $X_i$ PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - Ku, X_p + ku]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - Ku, X_p + ku]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.409	0.404	0.00418	0.397	0.412	0.95	PERTENECE	0.0016
2	0.402			0.397	0.412	0.95	PERTENECE	0.0016
3	0.397			0.397	0.412	0.95	PERTENECE	0.0016
4	0.404			0.397	0.412	0.95	PERTENECE	0.0016
5	0.405			0.397	0.412	0.95	PERTENECE	0.0016
6	0.403			0.397	0.412	0.95	PERTENECE	0.0016
7	0.409			0.397	0.412	0.95	PERTENECE	0.0016

Nota. Prontitud de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 42**

Procesamiento estadístico cuarto aforo Est-04 (profundidad).

n	NIVEL DE FLUJO	PROMEDIO	ERROR CUADRÁTICO MEDIO	INTERVALO DE CONFIANZA		PROBABILIDAD DE Xi PERTENECE AL INTERVALO	VERIFICACION DE PERTENENCIA	ERROR ESTANDAR DEL PROMEDIO
				LIM INF	LIM SUP			
	$X_i$	$X_p$	$\mu = \sqrt{\frac{\sum(X_p - X_i)^2}{n-1}}$	$[X_p - K_u, X_p + k_u]$		$P = 1 - \frac{1}{2n}$	$X_i \in [X_p - K_u, X_p + k_u]$	$\sigma = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$
1	0.762	0.768	0.00447	0.760	0.776	0.95	PERTENECE	0.0017
2	0.765			0.760	0.776	0.95	PERTENECE	0.0017
3	0.767			0.760	0.776	0.95	PERTENECE	0.0017
4	0.767			0.760	0.776	0.95	PERTENECE	0.0017
5	0.771			0.760	0.776	0.95	PERTENECE	0.0017
6	0.772			0.760	0.776	0.95	PERTENECE	0.0017
7	0.775			0.760	0.776	0.95	PERTENECE	0.0017

Nota. Hondura de flujo como el juicio de Chauvenet

**Tabla 43**

Resumen de hallazgos del cuarto aforo parámetros al realizar mantenimiento-revestimiento

ESTACION DE AFORO	PROFUNDIDAD DE FLUJO	VELOCIDAD DE FLUJO	AREA MOJADA	CAUDAL	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	PENDIENTE	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
	$Y(m)$	$V(m/s)$	$A(m^2)$	$Q(m^3/s)$	$P(m)$	$R(m)$	$S$	"n"
EST -01	0.789	0.438	1.569	0.69	3.432	0.457	0.0002	0.019
EST -02	0.783	0.434	1.553	0.67	3.415	0.455	0.0002	0.019
EST -03	0.775	0.421	1.531	0.64	3.392	0.451	0.0002	0.020
EST -04	0.768	0.404	1.511	0.61	3.372	0.448	0.0002	0.021

### 4.1.3. Cálculo teórico del coeficiente de rugosidad "n" de Manning y la velocidad media

Con el propósito de calcular la prontitud media teórica, se estableció el factor de rugosidades "n" de Manning (consultar el anexo de cálculos N°03).

Bajo los contextos que se detallan a continuación:

- Caudal de diseño : 1.5 m<sup>3</sup>/s
- Temple del H<sub>2</sub>O : 5°C

- Rugosidades absolutas : 2mm (como detalles técnicas proyecto elaborado por el PRORRIDRE)
- Pendiente : 0.00020 m/m
- Se ha conseguido los siguientes valores:
- Tirante 88% de la altura del conducto

**Tabla 44**

*"n" de Manning y la velocidad media teóricos del canal*

Estación	n	V(m <sup>2</sup> /s)
Est-01	0.015	0.63
Est-02	0.015	0.63
Est-03	0.015	0.63
Est-04	0.015	0.63

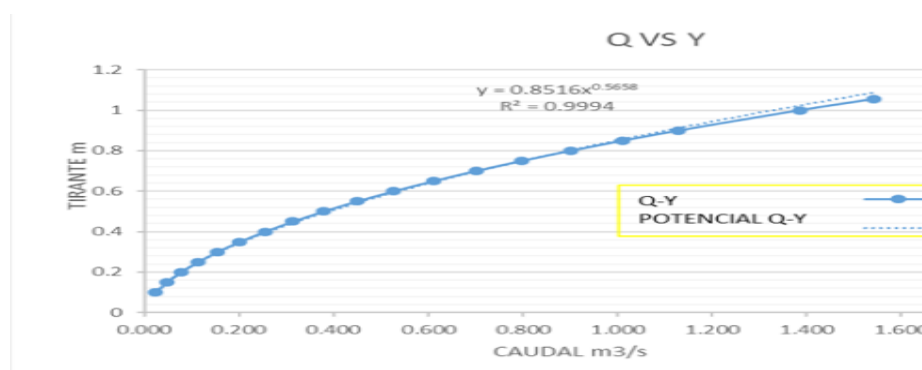
Se constata que, a nivel de estudio, todas las estaciones poseen un valor teórico del factor de rugosidades "n" de Manning de 0.015.

Este cálculo corresponde a la marcha al 100% de la cabida hidráulica del conducto y se utiliza para establecer la correspondencia entre la hondura del flujo y los caudales (consultar anexo 04).

De esta manera, se derivó una ecuación potencial teórica de ajuste para dicha relación en el canal.

**Figura 30**

*Curva de caudal vs tirante para la ecuación de ajuste potencial teórico*



Nota. Ecuación de ajuste potencial



$$y = 0.8516Q^{0.5658}$$

Donde: Y = profundidad de flujo del canal en metros

Q = caudal teórico en m<sup>3</sup>/s

Para un factor de correlación:

$$R^2 = 0.9994$$

Usando la hondura del agua medida durante los aforos y la fórmula de ajuste potencial, se computó a la inclinación teórica. Aplicando las mismas situaciones de pliegue y parámetros esgrimidos para el 100% de la capacidad del conducto, se estableció el coeficiente "n" de Manning para cada punto de medición, así como la rapidez teórica del flujo (ver anexo n° 5), obteniendo estos hallazgos:

### PRIMER AFORO TEORICO:

**Tabla 45**

*Factor de Manning, rapidez media y caudal (teóricos)*

Estación	n	V(m <sup>2</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /s)
Est-01	0.015	0.583	1.09
Est-02	0.015	0.594	1.18
Est-03	0.015	0.607	1.23
Est-04	0.015	0.616	1.29



## SEGUNDO AFORO TEORICO:

**Tabla 46**

*Factor de Manning, rapidez media y caudal (teóricos)*

Estación	n	V(m <sup>2</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /s)
Est-01	0.015	0.524	0.69
Est-02	0.015	0.530	0.72
Est-03	0.015	0.543	0.77
Est-04	0.015	0.546	0.80

### **4.1.4. Análisis comparativo de los resultados obtenidos**

En la presente fase de la investigación se efectúa la comparación entre las prontitudes de flujo reales y las teóricas, así como entre los coeficientes de pliege "n" de Manning reales y teóricos. Adicionalmente, se ejecutó el estudio semejante de los caudales real frente al teórico en cada una de las estaciones de cabida.

El examen de los hallazgos toma en consideración los indicadores involucrados en la ecuación de Manning, en la que la prontitud del flujo se deriva del coeficiente de rugosidad y, recíprocamente, este último se infiere de la velocidad, manteniendo como vínculo constante los indicadores geométricos del canal, específicamente las pendientes de la base y los radios hidráulicos.

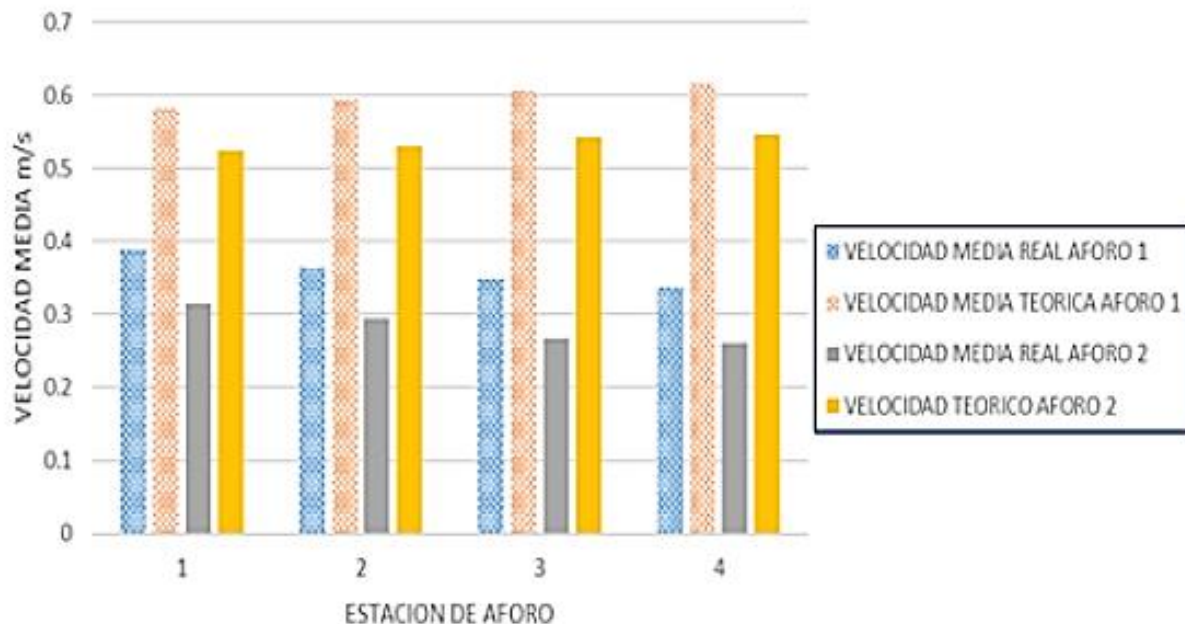
**Tabla 47**

*Tabla comparativa entre datos reales, teóricas y con mantenimiento*

N° AFOROS	ESTACION DE AFORO	REALES				TEORICOS				MANTENIMIENTO - REVESTIMIENTO			
		PROFUNDIDAD DE	VELOCIDAD DE FLUJO	COEFICIENTE DE MANNIN	CAUDAL	VELOCIDAD DE FLUJO	COEFICIENTE DE MANNIN	CAUDAL	PROFUNDIDAD DE FLUJO	VELOCIDAD DE FLUJO	COEFICIENTE DE MANNIN	CAUDAL	
		Y(m)	V(m/s)	"n"	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	"n"	Q(m <sup>3</sup> /s)	Y(m)	V(m/s)	"n"	Q(m <sup>3</sup> /s)	
PRIMER AFORO - APERTURA 0.35	EST-01	0.894	0.389	0.023	0.73	0.583	0.015	1.09	0.913	0.514	0.018	0.99	
	EST-02	0.937	0.364	0.025	0.73	0.594	0.015	1.18	0.918	0.503	0.018	0.98	
	EST-03	0.956	0.349	0.026	0.72	0.607	0.015	1.23	0.924	0.487	0.019	0.96	
	EST-04	0.984	0.337	0.028	0.72	0.616	0.015	1.29	0.939	0.465	0.020	0.93	
SEGUNDO AFORO - APERTURA 0.20	EST-01	0.689	0.315	0.025	0.41	0.524	0.015	0.69	0.789	0.438	0.019	0.69	
	EST-02	0.705	0.295	0.027	0.40	0.530	0.015	0.72	0.783	0.434	0.019	0.67	
	EST-03	0.734	0.267	0.030	0.38	0.543	0.015	0.77	0.775	0.421	0.020	0.64	
	EST-04	0.752	0.261	0.031	0.38	0.546	0.015	0.80	0.768	0.404	0.021	0.61	

**Figura 31**

*Velocidades medias reales y teóricas*



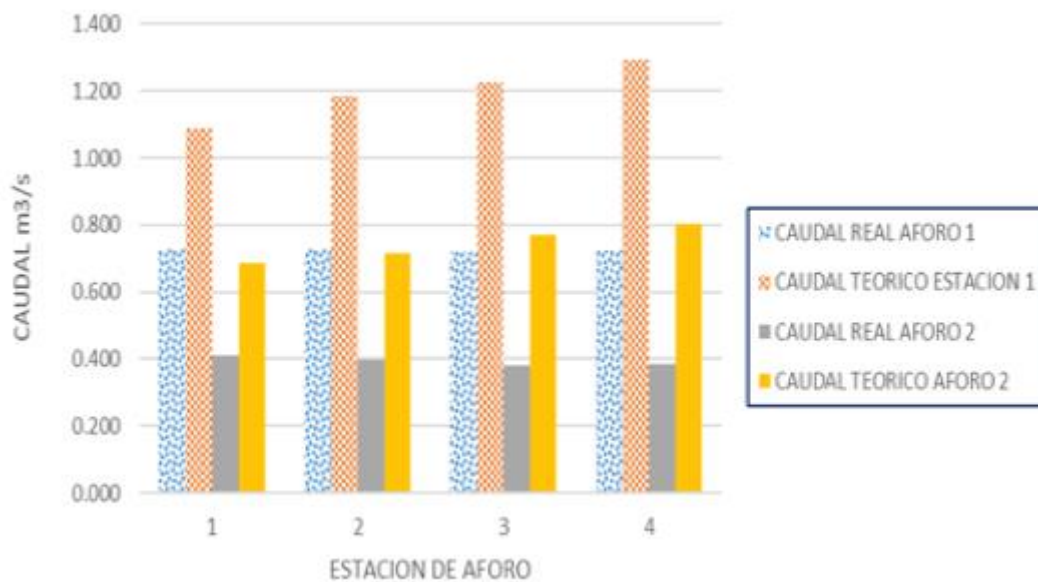
**Figura 32**

*Factor de rugosidad "n" de Manning reales y teóricas*



**Figura 33**

*Caudales reales y teóricos*





Con el fin de lograr una interpretación consistente, es preciso señalar que, tras examinar la literatura técnica existente, se han establecido los siguientes valores de velocidad mínima para canales.

- En su obra publicada, Ven Te Chow sugiere una velocidad mínima de 0.762 metros por segundo.
- Por otra parte, la ANA pide una prontitud óptima de 0.800 m/s (ANA, 2010)

En consecuencia, se evidencia que las velocidades medidas están por debajo del mínimo establecido en la literatura técnica. No obstante, los valores teóricos se aproximan en cierta medida a dicho límite, el cual pertenece a la prontitud de sedimento. Esto demuestra la suposición formulada acerca de la existencia de variaciones en la prontitud de flujo del conducto de cemento Huaman Tapara, evaluado para diferentes honduras de flujo. Asimismo, resulta pertinente realizar los siguientes análisis: las estaciones de medición se encuentran numeradas secuencialmente en dirección al flujo H<sub>2</sub>O abajo del conducto. Al examinar los valores del factor de rugosidades conseguidos in situ, se puede ver que este parámetro incrementa equitativamente con la hondura del flujo, lo cual es lógico dado que el factor de rugosidades representa un factor de firmeza al flujo, influyendo derechamente en las cabidas hidráulicas del canal.



## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Del examen de los registros de prontitud conseguidos por medio de aforos, se deduce la hay de variaciones en la prontitud del flujo, de los valores reales respecto a los calculados teóricamente por efecto de 12 años de servicio del canal, consiguiendo de esta manera prontitudes mínima reales de 0.337 m/s con un nivel de apertura de bocatoma de 0.35 m, nivel frecuente de funcionalidad del canal; velocidad que permite la sedimentación en el canal, por consiguiente, es frecuente hallar una abundante presencia de vegetación acuática y muscíneas de considerable tamaño en el lecho del conducto, lo cual se corrobora con los elevados valores del factor de rugosidades "n" de Manning de 0.028 obtenidos in situ. Estos factores reducen los caudales de diseño hipotético del conducto de 1.5 m<sup>3</sup>/s hasta 0.724 m<sup>3</sup>/s.

**SEGUNDA:** Los coeficientes de rugosidad reales han experimentado una variación significativa, desde el valor de diseño de 0.015 hasta valores entre 0.023-0.031 para aperturas de compuerta de 0.35 m y 0.20 m respectivamente. Esta divergencia es resultado del paso del tiempo y de prontitudes que favorecen la sedimentación, generando así velocidades reducidas en el rango de 0.389 m/s a 0.261 m/s. Estos valores son inferiores al mínimo de 0.762 m/s establecido por Ven Te Chow, confirmándose la correspondencia inversa entre los coeficientes "n" de Manning y la velocidad de flujo. Se concluye, por tanto, que el canal presenta un desempeño hidráulico deficiente que demanda labores de mantenimiento y limpieza más frecuentes y exhaustivas.

**TERCERA:** Se estableció una ecuación potencial teórica de ajuste  $Y = 0.8516 Q^{0.5658}$ , la cual presenta un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9994$  para el vínculo entre el tirante de H<sub>2</sub>O y los caudales del conducto.



**CUARTA:** La ejecución del mantenimiento del canal, que incluyó una limpieza preliminar y un ulterior caparazón con almireces que incorporan el acelerador SikaRapid 1 y el cohesionante Sikadur 32 Gel, permitió optimizar el funcionamiento del conducto. Esto se reflejó en la mejora de las cuantificaciones hidráulicos, obteniéndose proritudes entre 0.514 y 0.404 m/s, factores de rugosidades "n" de Manning en el rango de 0.018 a 0.021, y caudales entre 0.99 y 0.61 m<sup>3</sup>/s, correspondientes a aperturas de compuerta de 0.35 m y 0.20 m individualmente.



## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** El canal fue diseñado originalmente para la derivación de agua, sin prever tomas directas a lo largo de su trayecto. No obstante, en la actualidad opera de forma irregular, con extracciones y contribuciones de caudales no controlados técnicamente, y un pendiente de 0.2‰ en la distancia valorada que genera elevada sedimentación debido a la velocidad mínima. Dadas las limitaciones institucionales y el alcance del estudio, el análisis se realizó únicamente bajo dos condiciones operativas, por lo que se sugiere ejecutar trabajos adicionales para desemejantes escenarios y verificar la diferenciación de la prontitud media.

**SEGUNDA:** Con el propósito de instituir el nivel de incidencia de la variación de pendiente en este estudio, se requiere identificar los tramos con variaciones significativas de pendiente. De este modo, se podría determinar cómo afecta la pendiente a la conducta hidráulico del conducto. Si las pendientes son muy reducidas, deberá considerarse un valor del factor "n" de Manning superior al cociente reportado en el lenguaje; por el inverso, si las pendientes son muy pronunciadas, como en el caso de una caída tipo salto de sky, deberá adoptarse un valor bajo del coeficiente "n" de Manning.

**TERCERA:** Una vez establecida la ecuación de regresión potencial, se recomienda efectuar pruebas bajo diversas condiciones de rugosidades, talud y pendiente, con el fin de desarrollar una investigación más detallada y exhaustiva.

**CUARTA:** Es necesario ejecutar ensayos de firmeza y durabilidades del caparazón aplicado, dado que el actual estudio se circunscribió exclusivamente a la compilación de datos para la precisión de indicadores de cálculo de caudal.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Normas de planificación de infraestructuras hidráulicas para la elaboración de planes hídricos multisectoriales y de aseguramiento del recurso hídrico*. Lima.
- Chanson, H. (2002). *Hidraulica del Flujo en Conductos Abiertos*. Bogota: McGraw-Hill.
- Chow, V.T. (1986). *Hidraulica de Canales Abiertos*. Bogota: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Chow, V.T. (1994). *Hidraulica De Canales Abiertos*. Bogota: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Gonzales,L.M. (2009). *Estimación del coeficiente de pliegue de Manning en conductos de drenaje (concreto)*. Chile: Universidad de Concepción - Chillán.
- Mendoza, O.E. (2014). *Estimación de la rugosidad aplicada al modelado transitorio unidimensional - Estación de Aforo Ilave*. Juliaca: U.A.N.C.V..
- Munson, Young. Okiishi. (1999). *Principios de Mecánica de Fluidos*. España: John Wiley.
- Ochoa, L. (1992). *Métodos y sistemas para la medición de caudales*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Rodriguez, D.P. (2009). *Hidráulica Aplicada Experimental*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rodriguez, R.P. (2008). *Hidraulica de Conductos*. Oxaca-Juarez: Limusa.
- Soletto. A.G. (1997). *Hidraulica General*. Mexico: Limusa.
- Streeter, V.L.,Wylie,& Bedford. (2000). *Mecanica de Liquidos*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A.



Streeter, V.L. (1970). *Dinámica de Fluidos*. Bogotá: McGraw-Hill

Universidad Nacional de Ingeniería. (2008). *Estimación del coeficiente de rugosidades de Manning*. Lima.

Villon, B.M. (2007). *Ingeniería Hidráulica de Canales*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica



# ANEXOS



## Anexo 1. Matriz de consistencia

### Título: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL CANAL DE CONCRETO EN NUÑO A, PROVINCIA DE MELGAR

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál es el comportamiento hidráulico de la velocidad media de flujo real y la velocidad media de flujo teórico por el cambio de rugosidad del canal de concreto de Nuñoa?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Analizar el comportamiento hidráulico de la velocidad media de flujo real y la velocidad media de flujo teórico por el cambio de rugosidad del canal de concreto de Nuñoa.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>Respecto a la variación de la relación velocidad media teórica de flujo con respecto a la velocidad media real el caudal disminuye según el tiempo en un 0.5% por año.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Rapidez promedio del caudal en el conducto de hormigón.</p>	<p><b>Elementos hidráulicos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea de aducción.</li> <li>• Línea de conducción</li> <li>• Redes de distribución.</li> <li>• Caudal de bombeo</li> <li>• Población.</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>a) ¿Cuál es la velocidad media de flujo real y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones actuales de rugosidad en el canal?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>a) Determinar la velocidad media de flujo real y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones actuales</p>	<p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>a) La velocidad media de flujo real y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones actuales de rugosidad en el canal no son coherentes con las de diseño</p>	<p><b>Variable Dependiente :</b></p> <p>Modificación de las particularidades hidráulicas del canal debido a la</p>		<p><b>Elementos estructurales</b></p>



<p>b) <b>¿Cuál es la velocidad media de flujo teórico y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones de diseño de rugosidad en el canal?</b></p>	<p>de rugosidad en el canal.</p>	<p>b) La velocidad media de flujo teórico y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones de diseño de rugosidad en el canal son coherentes con las de diseño</p>	<p>degradación temporal.</p>	<p><b>Energía sostenible</b></p>
<p>c) <b>¿Cuál es la variación del caudal de diseño por efectos del cambio de rugosidad en el canal de concreto?</b></p>	<p>b) Determinar la velocidad media de flujo teórico y el coeficiente de Rugosidad "n" de Manning, con las condiciones de diseño de rugosidad en el canal.</p>	<p>c) La variación del caudal de diseño por efectos del cambio de rugosidad en el canal de concreto refleja una reducción del 10%.</p>		
<p>c) Determinar la variación del caudal de diseño por efectos del cambio de rugosidad en el canal de concreto.</p>				

## ANEXO 2. PANEL FOTOGRAFICO

**Fotografía 1.** Verificación de pendiente



**Fotografía 2.** Sección transversal geométrica



**Fotografía 3. Graduación del nivel de apertura**



**Fotografía 4. Ubicación del sensor de velocidad en el canal**



**Fotografía 5.** Graduación del nivel de apertura





ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 02/12/25

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: LEONARDO FELIPE ATENCIO FUENTES

Dirección: JR. WILLIAMS ARIAS ROBLES 154 MANTO NORTE - PUNO

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70868919

Teléfono: 918417784 email: atenciofuentesleonardofelipe9@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO EN RELACIÓN A LA RUGOSIDAD DEL  
CANAL DE CONCRETO EN NUÑO, PROVINCIA DE MELGAR

Palabras claves, (3 a 5 términos): CANAL DE CONCRETO, COMPORTAMIENTO HIDRAULICO, RUGOSIDAD

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

2

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

02/12/2025

Fecha

