



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

**Diseño hidráulico para el mejoramiento de la eficiencia de  
conducción en canales de riego: once y pampilla, Cayaltí -  
Zaña, Lambayeque**

*Para optar el título profesional de:*

***INGENIERO(A) AGRÍCOLA***

**Autor (es):**

***Bach. ECHEANDIA LAMADRID ITALO ABEL***

***Bach. ZAQUINAULA REYES DEYLY YULISSA***

**Asesor:      Ing. SÁNCHEZ DÍAZ HENRY DANTE**

**Lambayeque – Perú**

**2026**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

**Diseño hidráulico para el mejoramiento en la eficiencia de conducción en canales de riego: Once y Pampilla, Cayaltí - Zaña, Lambayeque**

*Para optar el título profesional de:*

**INGENIERO (A) AGRÍCOLA**

**Autores:**

**Bach. Italo Abel Echeandia Lamadrid**

**Bach. Deyly Yulissa Zaquinaula Reyes**

**Aprobado por:**

**Ing. Dr. Enoch Montes Bances**

Presidente

**Ing. M.I. Juan Vicente Hernández Alcántara**

Secretario

**Ing. José Arturo Solórzano Gonzáles**

Vocal

**Ing. Dr. Henry Dante Sánchez Díaz**

Asesor



**ACTA DE SUSTENTACIÓN N°012-2026-UINV-FIA**

Siendo las 12:00 horas del día 29 de ABRIL de 2026, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola, se reunieron los Miembros del Jurado designado mediante Resolución N°346-2024-FIA, conformado por:

**ING. DR. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES**

**Presidente**

**ING. M.I. JUAN VICENTE HERNANDEZ ALCANTARA**

**Secretario**

**ING. JOSE ARTURO SOLORZANO GONZALES**

**Vocal**

Para llevar a cabo la sustentación de tesis, citados mediante Resolución N°145-2026-FIA; denominado **“DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO EN LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN EN CANALES DE RIEGO: ONCE Y PAMPILLA, CAYALTÍ - ZAÑA, LAMBAYEQUE”**, bajo la responsabilidad de los bachilleres: **DEYLY YULISSA ZAQUINAULA REYES y ITALO ABEL ECHEANDIA LAMADRID**, asesorado por el **Ing. Dr. Henry Dante Sánchez Díaz**; para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Luego de culminar la sustentación, el Jurado procedió a realizar las preguntas a los sustentantes y si hubiera observaciones, anotándolas para su corrección respectiva, el jurado luego de evaluar las rubricas decidió APROBAR la tesis con el calificativo de BUENO correspondiente a la nota de 17 (DIECISIETE).

En consecuencia, los referidos Bachilleres quedan aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, de acuerdo a la Ley Universitaria N°30220, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13:30 horas del mismo día, se dio por finalizado el acto de sustentación y se procedió a firmar la presente acta los que en ella han intervenido.

ING. DR. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES  
Presidente de jurado

ING. M.I. JUAN VICENTE HERNANDEZ ALCANTARA  
Secretario de jurado

ING. JOSE ARTURO SOLORZANO GONZALES  
Vocal del jurado

ING. DR. HENRY DANTE SANCHEZ DIAZ  
Asesor



**CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD**

Yo, **SÁNCHEZ DÍAZ HENRY DANTE**, usuario revisor de tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  y/o Trabajo académico  , titulado : “**DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION EN CANALES DE RIEGO: ONCE Y PAMPILLA, CAYALTÍ - ZAÑA, LAMBAYEQUE** ”, cuyos autores son: **DELY YULISSA ZAQUINAULA REYES E ITALO ABEL ECHEANDIA LAMADRID**; con DNI N° 73739665 y con DNI N° 73527611; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud **17%**, verificables en el Resumen del reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizo el reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido con constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

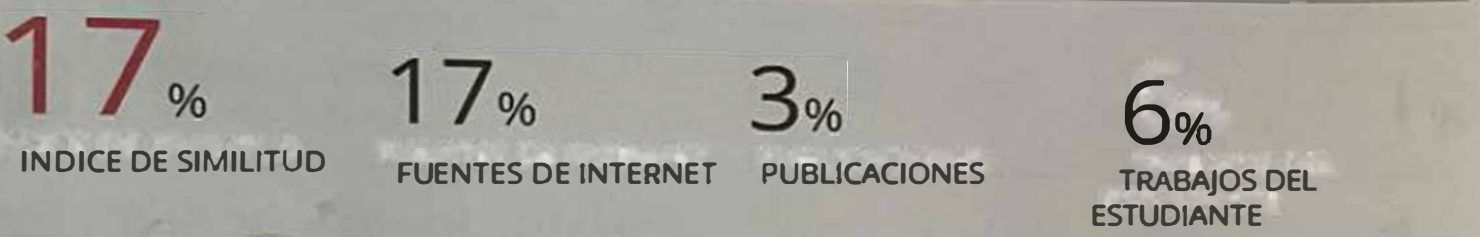
Lambayeque, 29 de noviembre del 2025

  
**SANCHEZ DIAZ HENRY DANTE**  
DNI. N° 16723985  
Asesor

Adjunta:  
Resumen del Reporte automatizado de similitudes  
Recibo digital

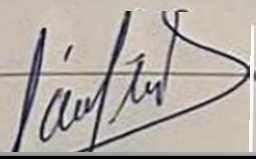
DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION EN CANALES DE RIEGO: ONCE Y PAMPILLA, CAYALTÍ - ZAÑA, LAMBAYEQUE

INFORME DE ORIGINALIDAD




FUENTES PRIMARIAS

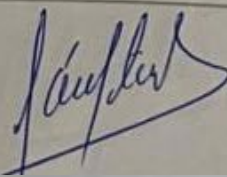
1	es.slideshare.net	Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unprg.edu.pe	Fuente de Internet	1%
3	vsip.info	Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net	Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uap.edu.pe	Fuente de Internet	1%
6	idoc.pub	Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ucv.edu.pe	Fuente de Internet	1%
8	dl.dropboxusercontent.com	Fuente de Internet	1%
9	pdfcookie.com	Fuente de Internet	1%

  
SANCHEZ DIAZ HENRY DANTE  
DNI. N° 16723985  
ASESOR

10	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	1library.co Fuente de Internet	1 %
12	editorial.inudi.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	idoc.tips Fuente de Internet	<1 %
14	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
15	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
16	vdocumento.com Fuente de Internet	<1 %
17	www.fcpa.org.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Trabajo del estudiante	<1 %
19	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
20	declara.jne.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

  
**SÁNCHEZ DIAZ HENRY DANTE**  
 DNI. N° 16723985  
 ASESOR

22	fdocuments.es Fuente de Internet	<1 %
23	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Abierta para Adultos Trabajo del estudiante	<1 %
25	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.ucc.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
27	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
28	www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	dokumen.site Fuente de Internet	<1 %
31	biblioteca.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	www.gwp.org Fuente de Internet	<1 %



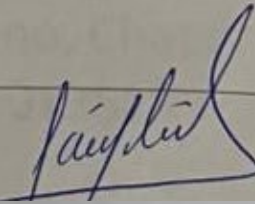
SÁNCHEZ DÍAZ HENRY DANTE  
DNI. N° 16723985  
ASESOR

33	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
34	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
37	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
39	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
40	rua.ua.es Fuente de Internet	<1 %
41	www.buenastareas.com Fuente de Internet	<1 %
42	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
43	myslide.es Fuente de Internet	<1 %

*Sanchez*

SANCHEZ DIAZ HENRY DANTE  
DNI. N° 16723985  
ASESOR

44	mail.polodelconocimiento.com Fuente de Internet	<1 %
45	Submitted to UPAEP: Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla Trabajo del estudiante	<1 %
46	merida.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
48	connuestroperu.com Fuente de Internet	<1 %
49	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
50	marcojuridico.morelos.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
54	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %

  
**SANCHEZ DÍAZ HENRY DANTE**  
 DNI. N° 16723985  
 ASESOR

- |    |   |      |
|----|---|------|
| 55 | Submitted to Universidad Tecnologica del Peru<br>Trabajo del estudiante   | <1 % |
| 56 | tesis.usat.edu.pe<br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 57 | www.catmed.eu<br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 58 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo<br>Trabajo del estudiante  | <1 % |
| 59 | repositorio.unap.edu.pe<br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 60 | doku.pub<br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 61 | repositorio.udea.edu.pe<br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 62 | Carranza Martinez, Ramiro David.<br>"Planeamiento Estrategico para la Provincia de Ascope.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020<br>Publicación                                | <1 % |
| 63 | ECO PLANET E.I.R.L.. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Mejoramiento del Servicio de Agua del Sistema de Riego de los Canales Sauce Bajo, Cerro Serrano, Chaparral Válvulas y Pacanguilla Bajo-IGA0013518", | <1 % |

SANCHEZ DIAZ HENRY DANTE  
DNI. N° 16723985  
ASESOR

R.D.G. N° 201-2016-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA,  
2021  
Publicación

64	www.calameo.com	Fuente de Internet	<1 %
65	Submitted to Universidad de Guayaquil	Trabajo del estudiante	<1 %
66	es.scribd.com	Fuente de Internet	<1 %
67	repositorio.unasam.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
68	worldwidescience.org	Fuente de Internet	<1 %
69	Submitted to Universidad Andina del Cusco	Trabajo del estudiante	<1 %
70	ofi5.mef.gob.pe	Fuente de Internet	<1 %
71	repositorio.upecen.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
72	Submitted to uncedu	Trabajo del estudiante	<1 %

SÁNCHEZ DIAZ HENRY DANTE  
DNI. N° 16723985

Excluir citas                    Activo  
Excluir bibliografía           Activo

Excluir coincidencias: **ASESOR** words



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Italo Eche

Título del ejercicio: Quick Submit

Título de la entrega: DISEÑO HIDRÁULICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE ...

Nombre del archivo: TESIS INFORME\_FINAL\_27 11.25 italo.docx 12.01M

Tamaño del archivo: 182

Total páginas: 33,538

Total de palabras: 186,895

Total de caracteres: 27-nov-2025 07:29p. m. (UTC-0500)

Fecha de entrega: 2829187941

Identificador de la entrega:



UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



### TESIS

Diseño hidráulico para el mejoramiento de la eficiencia de  
conducción en canales de riego once y paupilla, Cayshil -  
Zaña, Lambayeque

Para optar el título profesional de

INGENIERO AGRÍCOLA

Autor (es): ECHEANDUELA MADRID ITALO ABEL  
ZAQUINAGA RIVERA DORIS YULIANA

Asesor:

Lambayeque - Perú  
2025

SANCHEZ DIAZ HENRY DANTE  
DNI. N° 16723985  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres,

Con todo mi corazón, dedico esta tesis a ustedes. Su amor incondicional, su respaldo continuo, su generosidad y sobre todo su confianza que depositaron en mí al apostar por esta carrera, han sido mi guía a lo largo de este camino. A mi padre, por haberme impulsado a emprender este camino académico, incluso cuando mis intereses iniciales eran distintos. Su determinación me motivó a concluir esta etapa con responsabilidad y compromiso.

A través de sus sacrificios y desvelos, hicieron posible que llegara a esta meta. Sus palabras de aliento y su compañía en mi vida han sido mi fuente de inspiración y mi apoyo en tiempos complicados.

Esta tesis es un tributo a su amor y dedicación, y una promesa de seguir esforzándome para hacer de ustedes los padres más orgullosos.

Con todo mi amor y gratitud.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por su infinita bondad y por ser mi guía en cada paso de este camino. Su presencia en mi vida ha sido una fuente constante de fortaleza, esperanza y paz. Sin su bendición, este logro no sería posible.

A mis amados hermanos, quienes han sido mis compañeros de vida. Gracias por estar siempre ahí, por sus palabras de aliento, sus risas y su apoyo constante. Su amor y compañía me brindan la fuerza y el estímulo.

A mis adorados abuelitos, aunque ya no estén físicamente con nosotros, les dedico con todo mi corazón este logro, sabiendo que, de alguna forma, están celebrando conmigo desde el cielo.

Agradezco también a mi alma mater, por brindarme las herramientas y el entorno necesarios para desarrollar mis habilidades y conocimientos.

## RESUMEN

Ante la necesidad de mejorar la producción y productividad de los usuarios de los canales laterales de segundo orden "Once" y "Pampilla", ubicados en Cayaltí - Zaña, región Lambayeque, se desarrolló la presente investigación centrada en el análisis de la eficiencia de la infraestructura de riego existente. El estudio plantea como solución una propuesta de diseño hidráulico orientada a optimizar el rendimiento del sistema de distribución de agua.

Como objetivo principal, se evaluaron los canales "Once", con una longitud de 2.345 km, y "Pampilla", de 1.5 km, considerando las diversas condiciones que influyen en su funcionamiento. A partir de esta evaluación, se formuló una propuesta técnica destinada a mejorar la eficiencia de conducción de los mismos. La metodología adoptada fue de tipo aplicada, empleando fundamentos teóricos como la fórmula de Manning, la ecuación de continuidad y criterios de eficiencia de conducción. Para la recolección y análisis de datos se recurrió a la observación directa y al uso de herramientas como Hcanales, Google Earth, Civil 3D, Microsoft Excel, HY8 y el software Rápidas V1.0.

Finalmente, para alcanzar los objetivos y validar las planteadas hipótesis, se incorporaron criterios hidráulicos, estructurales y de ingeniería en obras de arte que contribuyen directamente a mejorar la eficiencia hidráulica de los canales. El diseño hidráulico propuesto ofrece ventajas sustanciales, tales como garantizar la seguridad hídrica, maximizar la captación de agua durante todo el año y permitir una distribución más eficiente según las condiciones climáticas de cada estación. Asimismo, el revestimiento en concreto propuesto destaca por su baja rugosidad, alta resistencia y escasa permeabilidad, lo que facilita un mayor caudal y velocidad en el transporte del agua, reduce pérdidas por infiltración y optimiza el tipo de flujo en el canal.

**Palabras clave:** Diseño hidráulico, Obras de arte, Eficiencia de conducción, criterios hidraulicos

## ABSTRACT

In response to the need to improve the production and productivity of users of the "Once" and "Pampilla" second-order lateral canals, located in Cayaltí-Zaña, Lambayeque region, this research focused on analyzing the efficiency of the existing irrigation infrastructure. The study proposes a hydraulic design solution aimed at optimizing the performance of the water distribution system.

The primary objective was to evaluate the 2,345-km-long "Once" and 1.5-km-long "Pampilla" canals, considering the various conditions that influence their operation. Based on this evaluation, a technical proposal was formulated to improve their hydraulic efficiency. The methodology adopted was applied, employing theoretical foundations such as Manning's formula, the continuity equation, and conduction efficiency criteria. Data collection and analysis relied on direct observation and the use of tools such as Hcanales, Google Earth, Civil 3D, Microsoft Excel, HY8, and Rapidas V1.0 software.

Finally, in order to meet the objectives and validate the proposed hypotheses, hydraulic, structural, and engineering criteria were incorporated into works of art that directly contribute to improving the hydraulic efficiency of the canals. The proposed hydraulic design offers substantial advantages, such as ensuring water security, maximizing water collection throughout the year, and allowing for more efficient distribution according to seasonal climatic conditions. Furthermore, the proposed concrete lining stands out for its low roughness, high strength, and low permeability, which facilitates greater flow and velocity in water transport, reduces infiltration losses, and optimizes the type of flow in the canal.

**Keywords:** Hydraulic design, Engineering structures, Conduction efficiency, Hydraulic criteria

## INDICE

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
RESUMEN .....	4
ABSTRACT.....	5
INDICE.....	6
INDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. Planteamiento del problema.....	12
1.2. Formulación del problema .....	15
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.4. Justificación del estudio .....	17
1.5. Limitaciones de la investigación.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Antecedentes del estudio.....	21
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional .....	22
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional .....	25
2.1.3. Antecedentes a nivel regional .....	27
2.2. Bases teóricas.....	29
2.2.1. Generalidades.....	29
2.2.2. Eficiencia Hidráulica en canales (Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego, 2015): .....	34
2.2.3. Diseño hidráulico de canales .....	44
2.2.4. Obras de Arte en Canales de Riego.....	69
2.3. Definición de términos .....	99
2.4. Hipótesis.....	104
2.4.1. Hipótesis general .....	104
2.4.2. Hipótesis específicas.....	104
2.5. Variables:.....	104
2.5.1. Definición conceptual de la variable.....	104
2.5.2. Definición operacional de la variable .....	105
2.5.3. Operacionalización de la variable .....	106

CAPITULO III: METODOLOGÍA .....	107
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	107
3.2. Descripción del ámbito de la investigación .....	108
3.3. Población y muestra .....	117
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	118
3.5. Validez y confiabilidad del instrumento .....	122
3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos.....	122
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	130
4.1. Descripción de resultados .....	130
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	150
CONCLUSIONES .....	154
RECOMENDACIONES.....	156
BIBLIOGRAFÍA.....	158
ANEXOS .....	163

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Cuadro de operacionalización .....	121
<b>Tabla 2</b> Canal once.....	126
<b>Tabla 3</b> Canal Pampilla .....	126
<b>Tabla 4</b> Campaña agrícola 2023-2024 .....	128
<b>Tabla 5</b> Comparativo PADH Junta de Usuarios Valle Zaña.....	128
<b>Tabla 6</b> Tabla de resumen de los fluidos en el cruce del canal once.....	141
<b>Tabla 7</b> Culvert Summary Table - Alcantarilla circular del canal once .....	142
<b>Tabla 8</b> Tabla de resumen de los fluidos en el cruce del canal pampilla.....	143
<b>Tabla 9</b> Culvert Summary Table - Alcantarilla circular del canal pampilla.....	144

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Eficiencia del sistema de riego .....	35
<b>Figura 2</b> Modalidades de aplicación del riego.....	38
<b>Figura 3</b> Volumen de agua aprovechable por los cultivos. ....	40
<b>Figura 4</b> Velocidades máximas recomendadas en conducción .....	52
<b>Figura 5</b> Comportamiento de la resistencia en función de la profundidad .....	52
<b>Figura 6</b> Velocidades aceptables según el tipo de revestimiento del canal.....	52
<b>Figura 7</b> <i>Velocidades límites para distintos tipos de canales</i> .....	53
<b>Figura 8</b> <i>Límites permitidos para la tensión de corte y velocidades asociadas</i> .....	53
<b>Figura 9</b> <i>Pérdidas hidráulicas en canales en relación con el caudal transportado</i> .....	55
<b>Figura 10</b> <i>Correspondencia entre la clase de suelo y el coeficiente de permeabilidad</i> <i>Ce</i> .....	56
<b>Figura 11</b> <i>Rangos de Cd asociados a diferentes tipos de suelo</i> .....	57
<b>Figura 12</b> <i>Coeficiente de permeabilidad Cp en función del tipo de suelo</i> .....	58
<b>Figura 13</b> <i>Comparación de tipos de suelo y sus valores del coeficiente Ce</i> .....	58
<b>Figura 14</b> <i>Variación del coeficiente Cm para diversas categorías de suelo</i> .....	59
<b>Figura 15</b> tipo de revestimiento .....	67
<b>Figura 16</b> <i>Capacidad sugerida para los canales laterales</i> .....	69
<b>Figura 17</b> <i>Flujo en una alcantarilla con control de entrada</i> .....	72
<b>Figura 18</b> <i>Flujo en una alcantarilla con control de salida</i> .....	73
<b>Figura 19</b> <i>Sección transversal típica de una alcantarilla</i> .....	79
<b>Figura 20</b> <i>Criterios para la elección del diámetro de tuberías</i> .....	79
<b>Figura 21</b> <i>Elementos de una caída vertical sin obstrucciones</i> .....	84
<b>Figura 22</b> <i>Conducta del flujo en una caída vertical sin elementos obstructivos</i> .....	86
<b>Figura 23</b> <i>Mantenimiento y operación</i> .....	90
<b>Figura 24</b> <i>Hidráulica de canales</i> .....	91
<b>Figura 25</b> <i>Valores de Ke</i> .....	93
<b>Figura 26.</b> <i>Elementos de una toma lateral</i> .....	97
<b>Figura 27.</b> <i>Declaración de intención de siembra Has. Campaña agrícola 2023 – 2024.</i> .....	114
<b>Figura 28</b> <i>Diseño para el Canal once</i> .....	130
<b>Figura 29</b> <i>Diseño para el Canal pampilla</i> .....	131
<b>Figura 30</b> <i>Diseño para una máxima eficiencia hidráulica</i> .....	133
<b>Figura 31</b> <i>Diseño para una máxima eficiencia hidráulica</i> .....	134
<b>Figura 32</b> <i>Características hidráulicas del canal Once.</i> .....	135
<b>Figura 33</b> <i>Características hidráulicas del canal Pampilla</i> .....	136
<b>Figura 34</b> <i>Diseño estructural de canal tipo</i> .....	138
<b>Figura 35</b> <i>Diseño de alcantarilla tipo.</i> .....	140
<b>Figura 36</b> <i>Flujo M2</i> .....	141
<b>Figura 37</b> <i>Datos de la caída vertical</i> .....	146
<b>Figura 38</b> <i>Perfil hidráulico de la caída.</i> .....	147
<b>Figura 39</b> <i>Elementos de una toma lateral</i> .....	148

## INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con una disponibilidad hídrica superficial de aproximadamente 1 935 621 hm<sup>3</sup> anuales, distribuida en tres vertientes hidrográficas: la del Pacífico, Atlántico y la del Titicaca. No obstante, esta distribución es profundamente asimétrica: la vertiente del Atlántico concentra el 97,7 % de los recursos hídricos, la del Pacífico apenas el 1,8 % y la del Titicaca el 0,5 % restante. La paradoja es evidente: en la vertiente del Pacífico reside el 65 % de la población nacional, con acceso apenas al 2,18 % del agua disponible en el país. Si bien el Perú es el octavo país del mundo con mayor reserva de agua dulce, esta abundancia no se traduce en acceso equitativo, debido a la escasa capacidad de regulación y almacenamiento, y a la débil implementación de los instrumentos de planificación hídrica. Ante ello, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en el marco de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, impulsa la conformación de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC) como espacios institucionales de diálogo y planificación participativa. El enfoque de gestión por unidades hidrográficas constituye así una estrategia clave para garantizar un manejo técnico, equitativo y sostenible del recurso hídrico frente a la creciente demanda sectorial y los efectos del cambio climático.

En este contexto, el sector agrícola del Perú atraviesa una situación crítica, derivada del progresivo deterioro de la infraestructura de riego en diversas zonas del país. Los canales de riego, en su mayoría con estructuras obsoletas o en mal estado de conservación, comprometen seriamente el abastecimiento hídrico necesario para el desarrollo de los cultivos programados. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), las deficiencias en la infraestructura hidráulica generan pérdidas de hasta el 45% del volumen de agua destinado al riego agrícola a nivel nacional. Esta situación resulta especialmente preocupante si se considera que, de acuerdo con la ANA, el sector agrario concentra el 80% del agua disponible en el país; sin embargo, opera con una eficiencia media nacional de apenas el 35%, lo que evidencia la urgente necesidad de modernizar los sistemas de riego y fortalecer una gestión hídrica eficiente, técnica y sostenible.

Los sistemas de riego constituyen la infraestructura que permite transportar el agua desde las fuentes naturales hacia los campos agrícolas. Sin embargo, las pérdidas generadas durante la conducción, distribución y aplicación del riego son frecuentes y generan consecuencias negativas: desperdicio del recurso hídrico, incremento de los costos de explotación y reducción de la productividad agrícola. En ese contexto, la presente investigación tiene como propósito analizar y mejorar la eficiencia de conducción en canales de riego, a través de la evaluación de los procesos de conducción, distribución y aplicación, así como de la propuesta de mejoras técnicas y medidas de gestión. Para ello, se desarrolla el diseño hidráulico para el mejoramiento de la eficiencia de conducción en los canales: Once y Pampilla, Cayaltí-Zaña, Lambayeque 2023, con el objetivo de ofrecer soluciones técnicas concretas y viables que contribuyan a una gestión más eficiente de los recursos hídricos.

En este sentido, se desarrollan los siguientes capítulos:

- Capítulo I. Planteamiento del problema de la investigación, donde se describe la situación problemática, se define el mismo, se determina su alcance, se justifica el estudio y se establece el objetivo.

-Capítulo II. Marco teórico, antecedentes, bases teóricas de la investigación, términos, hipótesis y variables.

-Capítulo III. Metodología de la investigación, tipo, nivel y diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos, plan de recolección y procesamiento de datos. Características generales del sitio del proyecto, accesibilidad, condiciones climáticas, perfiles del terreno.

-Capítulo IV. Resultados.

-Capítulo V. Discusión del proyecto de investigación, cumplimiento de los objetivos e hipótesis.

Por último, se desarrollan las conclusiones, recomendaciones de la investigación y las referencias bibliográficas.

## **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La Autoridad Nacional del Agua (2010) sostiene que el plan maestro de infraestructura de riego es la parte esencial en un proyecto de riego ya que define cómo se captará y transportará el agua a los campos. Esta perspectiva no es meramente conceptual; el diseño de la infraestructura del sistema de riego debe reflejar directamente las observaciones y decisiones tomadas en el trabajo de campo (como el trazado de los canales o los tipos de construcciones requeridas).

Al momento de analizar los diseños de infraestructuras de riego planificadas, la determinación del caudal resulta esencial, ya que este debe calcularse considerando la oferta real del recurso hídrico según los datos obtenidos en estudios hidrológicos, junto con variables como la textura y capacidad del suelo, los requerimientos hídricos del cultivo y las condiciones climáticas específicas de la zona en estudio. En otras palabras, esta evaluación se debe considerar de forma íntegra la interacción entre agua, suelo y planta. Por ello, la formación técnica y la experiencia del diseñador en la planificación de un proyecto de riego son fundamentales. Es precisamente en este proceso donde se refleja la aplicación práctica de la ingeniería agrícola.

Por otra parte, la escasez de agua constituye no solo una de las causas principales que limitan el rendimiento agrícola, sino también un factor que desalienta a los pequeños productores a apostar por la diversificación hacia cultivos de gran valor, como frutas y hortalizas. En este sentido, especialmente con los canales de distribución, la construcción de más infraestructuras de riego se vuelve fundamental para impulsar el aumento de la productividad y el desarrollo del sector agrícola, facilitando un manejo más efectivo y confiable del agua disponible.

De acuerdo con Vinelli (2021), la infraestructura de riego vinculada al sector agropecuario en el Perú presenta un déficit estructural que se ha mantenido durante décadas. A pesar de los esfuerzos estatales por revertir esta situación,

las intervenciones han resultado insuficientes frente a la magnitud del problema. Según el INEI, solo el 25,4 % de los productores agropecuarios del país tuvo acceso al riego tecnificado, mientras que el resto continúa dependiendo de sistemas tradicionales, principalmente el riego por gravedad. La infraestructura de riego en el Perú comprende 55 237 kilómetros de canales evaluados, de los cuales solo el 15 % se encuentran revestidos, lo que favorece pérdidas significativas por infiltración y reduce la eficiencia en la distribución del recurso. Según el Plan Nacional de Recursos Hídricos, la eficiencia del agua de riego a nivel nacional es de apenas el 35 %, debido principalmente a la deficiente aplicación en los predios y al mal estado de conservación de las redes de conducción y distribución. Esta situación se agrava si se considera que el 80 % del agua disponible en el Perú es utilizada para la agricultura, pero se estima que cerca del 70 % de esta no es distribuida de manera eficiente, según la ANA.

Abordar este problema implica optimizar el rendimiento de las áreas agrícolas mediante un aprovechamiento racional de los recursos disponibles. Gran parte de estas unidades productivas corresponden a pequeña escala, orientadas a la agricultura familiar, con acceso limitado a insumos clave como agua, tierra y capital, lo que dificulta la modernización de los sistemas de riego. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) ejecuta actualmente más de 130 proyectos de riego tecnificado en 19 regiones, 56 provincias y 88 distritos; sin embargo, la ANA advierte que hasta el 45 % del agua se pierde por canales de riego en mal estado (ANA, 2023), evidenciando que el reto no se limita a la instalación de infraestructura, sino que requiere acompañarse de capacitación técnica, mantenimiento adecuado y gestión comunitaria del recurso. En este escenario, elevar la eficiencia de los sistemas de riego existentes constituye una estrategia prioritaria para cerrar la brecha entre el volumen de agua liberado desde los canales principales y el que efectivamente llega a las parcelas agrícolas.

Siguiendo a DGIAR (2015) En la gestión del riego, la eficiencia de un sistema se define como la relación entre el volumen de agua captado en la bocatoma y el volumen efectivo utilizado por los cultivos. Este proceso inicia con la captación del caudal desde una fuente natural, el cual es conducido a través de un canal

principal. Posteriormente, el agua se distribuye mediante canales secundarios o ramales hasta llegar a nivel de parcela, donde es aprovechada por el productor agrícola para el riego de cultivos específicos. Medir esta eficiencia permite determinar qué proporción del caudal inicial se destina realmente al riego, lo cual es fundamental para calcular la demanda hídrica dentro de cualquier proyecto de irrigación.

La presente investigación se enfoca en el dimensionamiento hidráulico de los laterales de segundo orden Once y Pampilla, ubicados en el distrito de Cayaltí, provincia de Zaña, departamento de Lambayeque, con el propósito de mejorar la eficiencia del sistema de riego en las áreas agrícolas de la zona. Para ello, se evaluaron las condiciones geométricas, hidrológicas, hidráulicas y ambientales de ambos canales, considerando variables técnicas como la configuración topográfica del terreno, el tipo de cultivo, la superficie de siembra y los criterios normativos del U.S. Bureau of Reclamation. Los resultados evidencian que estos canales no cumplen con los estándares mínimos de eficiencia hidráulica requeridos para garantizar un suministro adecuado a los sectores agrícolas.

Adicionalmente, se identificó que el tramo urbano de ambos canales constituye un foco de contaminación de alto riesgo sanitario y ambiental, situación que se agrava por la falta de revestimiento y la ausencia de obras de arte que permitan proteger tanto la infraestructura de conducción como las zonas pobladas aledañas. Esta problemática se ve intensificada por el colapso operativo de las pozas de oxidación existentes en la zona, las cuales se encuentran colmatadas y en estado de desbordamiento, generando el escurrimiento de aguas residuales directamente hacia los canales Once y Pampilla. Dicha situación compromete gravemente la calidad del agua de riego, representando un riesgo latente para la salud pública de la población y para la inocuidad de los cultivos irrigados aguas abajo, evidenciando la necesidad urgente de intervención tanto en la infraestructura de conducción como en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad.

Por lo tanto, se plantea el diseño y mejoramiento de estos laterales, con el objetivo de optimizar su funcionamiento. La propuesta contempla una nueva

sección hidráulica uniforme, dimensionada para conducir el caudal máximo actual, junto con la incorporación de estructuras que aseguren el paso por las rutas actuales y fomenten un flujo continuo, eficiente y seguro dentro del canal. Estas acciones no solo contribuirán a la eficiencia del riego, sino que también brindarán protección a las áreas aledañas y mejorarán las condiciones ambientales de la zona.

## **1.2. Formulación del problema**

En la actualidad, los canales de segundo orden conocidos como Pampilla y Once corresponden al tipo de canales de tajo abierto, característica que genera significativas pérdidas del recurso hídrico destinado al riego agrícola. El agua, tras ser derivada de las fuentes principales los canales Cayaltí y Zaña, alimentados por el río Zaña recorre diversos canales laterales antes de llegar a las parcelas agrícolas incluidas en este estudio. A lo largo de este trayecto, se produce una pérdida progresiva de caudal, de modo que el volumen de agua que finalmente llega al predio es considerablemente inferior al volumen liberado en el punto de partida.

La conducción del agua a través de canales construidos en tierra sin revestimiento genera pérdidas sustanciales por infiltración, cuya magnitud depende de factores como la permeabilidad del suelo, la edad del canal y el contenido de sedimentos en el agua transportada. En casos extremos, estas pérdidas pueden alcanzar hasta el 50 % del volumen total conducido, comprometiendo seriamente la disponibilidad del recurso hídrico en las parcelas agrícolas. En canales sin revestir, las pérdidas por infiltración pueden superar el 40 %, lo que reduce drásticamente el volumen de agua que llega a su destino. A este problema se suma la sedimentación progresiva en el fondo y los taludes del canal, que disminuye la sección hidráulica efectiva, altera las condiciones de flujo y eleva los costos de mantenimiento. La reducción de pérdidas en los canales representa la posibilidad de un gran ahorro y un aumento de la producción agrícola en la misma proporción en que dichas pérdidas se reduzcan.

Ante este diagnóstico, la presente investigación plantea el mejoramiento hidráulico de los canales: Pampilla y Once, con el propósito de optimizar sus

condiciones estructurales y operativas. Estudios previos han demostrado que el mejoramiento y la rehabilitación de canales puede incrementar en hasta un 21,7 % la eficiencia global del sistema de riego, reduciendo significativamente las pérdidas por infiltración no controlada. En ese sentido, los objetivos principales del mejoramiento hidráulico propuesto son: reducir las pérdidas por infiltración mediante el revestimiento adecuado de la sección hidráulica, mejorar la eficiencia de conducción del agua hacia las parcelas agrícolas y controlar la sedimentación a lo largo del sistema, garantizando así una distribución más confiable, equitativa y sostenible del recurso hídrico.

El revestimiento de los canales con concreto se justifica técnica y económicamente por diversas razones, siendo la más relevante el incremento del área potencialmente irrigable, especialmente en contextos donde la disponibilidad hídrica es limitada. Esta intervención permitiría un aprovechamiento máximo del recurso desde su punto de captación, traduciéndose en una mejora directa del rendimiento agrícola. Además, se contempla la incorporación de obras de arte hidráulicas que garanticen la funcionalidad y durabilidad del sistema, así como la transitabilidad en zonas donde el canal cruce caminos u otras infraestructuras.

La implementación de esta propuesta busca atender de forma efectiva la demanda de agua para riego, incrementando tanto la cantidad como la calidad de los cultivos, lo cual impactaría positivamente en los ingresos económicos de los agricultores beneficiarios. Asimismo, un canal revestido con concreto contribuirá a reducir significativamente los costos de mantenimiento y las pérdidas de conducción, en comparación con los canales de tierra actualmente en uso.

Desde esta perspectiva, se concluye que el revestimiento y rediseño de los canales Pampilla y Once no solo es técnicamente viable, sino también rentable en el largo plazo, lo que justifica la inversión desde un enfoque económico, social y ambiental. En función de lo expuesto, se plantea a continuación la propuesta correspondiente.

## **Problema General**

¿De qué manera un diseño hidráulico optimizado mejoraría la eficiencia de conducción en canales de riego: Once y Pampilla, Cayaltí – Zaña, Lambayeque?

## **Problemas Específicos**

Con el objetivo de delimitar con mayor precisión el problema central de la investigación, hemos formulado problemas específicos que permiten identificar las dimensiones e indicadores con mayor incidencia en el estudio.

¿Las pérdidas por infiltración en canales no revestidos disminuyen la eficiencia de conducción?

¿Cuáles son los criterios hidráulicos necesarios para un adecuado diseño de canal de riego?

¿De qué manera el diseño de obras de arte optimizará la eficiencia hidráulica?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar un diseño hidráulico para optimizar la eficiencia de conducción en canales de riego: Once y Pampilla, Cayaltí – Zaña, Lambayeque.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar si las pérdidas por infiltración en canales no revestidos disminuyen la eficiencia de conducción
- Identificar los criterios hidráulicos para un adecuado diseño de canal de riego.
- Diseñar obras de arte para optimizar la eficiencia hidráulica.

## **1.4. Justificación del estudio**

Justificación académica

La presente investigación posee una base académica sólida, en tanto contribuye al desarrollo del conocimiento técnico sobre la aplicación de modelos hidráulicos en el diseño y mejoramiento de canales de riego. En el contexto nacional, existe

una notoria escasez de estudios que empleen herramientas de modelación numérica aplicadas a este tipo de infraestructuras, particularmente en zonas rurales como los distritos de Cayaltí y Zaña, donde las condiciones de los sistemas de conducción presentan déficits técnicos significativos. Esta brecha en la producción científica representa una oportunidad para generar conocimiento técnico útil, replicable y contextualizado, que pueda ser aprovechado tanto por estudiantes como por profesionales en formación dentro de las carreras de Ingeniería Agrícola e Ingeniería Civil.

Asimismo, la investigación promueve el fortalecimiento de capacidades en áreas estratégicas como la hidráulica aplicada, el diseño de secciones hidráulicas eficientes, la selección de materiales de revestimiento y la optimización del uso de recursos hídricos en sistemas de riego. De este modo, contribuye a la formación integral de futuros ingenieros con competencias técnicas y compromiso con el desarrollo sostenible del sector agrícola, en un contexto nacional donde la gestión eficiente del agua constituye una prioridad de política pública.

#### Justificación práctica

Desde una perspectiva práctica, esta tesis responde a la necesidad de intervenir en los canales de segundo orden Pampilla y Once, cuya infraestructura actual de tipo tajo abierto y construida en tierra, presenta graves deficiencias en la conducción del recurso hídrico. Se han identificado pérdidas considerables por percolación a lo largo de sus 3.8 kilómetros de extensión, así como procesos de sedimentación progresiva que reducen su sección hidráulica y su capacidad de transporte.

La propuesta desarrollada en esta tesis plantea el diseño y revestimiento de estos canales, complementado con obras de arte hidráulicas, con el fin de mejorar sustancialmente la eficiencia del sistema de riego. Se busca minimizar pérdidas por infiltración, prevenir fallas estructurales, controlar el flujo de agua y garantizar una distribución más uniforme y confiable hacia las zonas agrícolas.

#### Justificación económica

En términos económicos, esta tesis demuestra que el revestimiento de los canales es una solución rentable a largo plazo. La mejora en la eficiencia hidráulica se traduce en una reducción de los costos operativos y de mantenimiento, típicos en canales de tierra, además de una disminución significativa en la pérdida de agua durante la conducción.

El ahorro generado permitirá maximizar el uso del recurso hídrico sin aumentar su captación, optimizando así la inversión y asegurando una mayor sostenibilidad financiera del sistema. Este enfoque refuerza la viabilidad económica de la propuesta desarrollada en el marco de la tesis.

#### Justificación social

Desde el punto de vista social, esta tesis aborda una problemática que afecta directamente las condiciones de vida de las familias agricultoras de los distritos de Cayaltí y Zaña. El mal estado de los canales limita seriamente la capacidad de programar adecuadamente el riego, reduciendo la productividad agrícola y transformando esta actividad en una fuente de subsistencia cada vez más precaria.

La ejecución de las mejoras propuestas en esta tesis permitirá un uso más eficiente y equitativo del recurso hídrico, lo cual contribuirá a incrementar los rendimientos de los cultivos, mejorar los ingresos familiares y fortalecer la seguridad alimentaria local. Asimismo, el estudio sirve como herramienta de comunicación y articulación con las comunidades, reconociendo la importancia del trabajo agrícola y rescatando el valor de las prácticas locales combinadas con soluciones técnicas modernas.

#### **1.5. Limitaciones de la investigación**

Como todo estudio presenta algunas limitaciones; para la elaboración de nuestra tesis presentamos las siguientes:

Escasa bibliografía actualizada, es limitada puesto que es escasa encontrar trabajos de investigación actualizados que se correlacionen con nuestras variables y por otro lado la falta de actualización de los registros técnicos en el campo del diseño hidráulico.

El diseño aplicado no es experimental, por lo tanto, limitará establecer causa efecto y solo se establecerá relación.

Costo y recursos, para obtener la información topográfica no contábamos con recursos para el alquiler de equipos; debido a ello tuvimos que gestionar la información con la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Zaña.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del estudio**

En la región Lambayeque se presentan diferentes realidades en cuanto al manejo y disponibilidad del recurso hídrico. El valle Chancay–Lambayeque, por ejemplo, es considerado un valle parcialmente regulado gracias a las obras de la Primera Etapa del Sistema Hidráulico Tinajones, lo que permite disponer de importantes volúmenes de agua. Sin embargo, esta disponibilidad no siempre se traduce en un uso eficiente del recurso, debido a limitaciones en su regulabilidad. Como consecuencia, en algunas zonas del valle se vienen desarrollando procesos de salinización del suelo, afectando la calidad agrícola de las tierras.

Por otro lado, los demás valles de la región como Zaña, La Leche, Motupe, Olmos y Cascajal; enfrentan una situación más crítica, ya que carecen de infraestructuras de regulación hídrica. Esta ausencia incrementa el grado de incertidumbre en la planificación de las campañas agrícolas, dado que la disponibilidad de agua depende exclusivamente de las precipitaciones estacionales. Además, una parte significativa del recurso hídrico termina desperdiciándose al ser conducido directamente hacia el mar, sin haber sido aprovechado para mejorar las condiciones de producción agrícola ni el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales.

La escasez de agua, por tanto, se configura como un problema estructural común en estos valles. Si no se implementan proyectos orientados a la regulación y gestión sostenible del recurso hídrico, será muy difícil alcanzar un desempeño agrícola eficiente y sostenible en toda la región Lambayeque.

La limitada infraestructura de almacenamiento y regulación, sumada a un sistema de riego inadecuado e insuficiente, constituye una de las principales causas del marcado déficit hídrico que se presenta durante la temporada de estiaje en el valle medio y bajo del río Zaña. Esta situación se ve agravada por la escasa voluntad y capacidad para aprovechar eficientemente el recurso hídrico disponible, afectando directamente el desarrollo de la actividad agrícola en los distritos de Lagunas, Zaña, Cayaltí, Nueva Arica y Oyotún.

La escasez de agua en estas zonas no solo compromete la producción agrícola, sino que también repercute negativamente en el desarrollo socioeconómico de las poblaciones locales, cuya economía depende en gran medida de dicha actividad. En estos distritos, se encuentra una red de canales de riego que atraviesan áreas urbanas y rurales, incluyendo los laterales que son objeto de análisis técnico en la presente investigación, orientada a proponer su mejora hidráulica.

Entre los cultivos predominantes en esta zona destacan la mandarina, arándano, palto, caña de azúcar, alfalfa, arroz, menestras, hortalizas, yuca y maíz amarillo, los cuales requieren un suministro hídrico constante y eficiente para lograr niveles de productividad óptimos. La mejora de la infraestructura de riego en estos sectores, por tanto, es clave para asegurar la sostenibilidad agrícola y económica de la región.

#### **2.1.1. Antecedentes a nivel internacional**

Wanyma y Bwambale (2024) Con el objetivo de diseñar un método de riego agrícola orientado a maximizar la eficiencia del flujo en las redes de distribución de agua, se propuso un enfoque integral basado en la simulación hidráulica mediante el programa HEC-RAS. Este modelo permitió evaluar distintas condiciones del canal con el fin de optimizar la distribución del recurso hídrico y, como consecuencia, aumentar la productividad de los cultivos.

El procedimiento ejecutado incluyó el análisis comparativo de diversos escenarios de mejora: la limpieza de vegetación invasiva, la remoción de sedimentos acumulados, y el revestimiento de canales utilizando diferentes materiales como hormigón, plástico y ladrillo. A partir de esta evaluación, se determinó que el revestimiento con plástico presentaba el mejor desempeño, incrementando la eficiencia del sistema de riego en un 48 % en comparación con las otras alternativas estudiadas.

Asimismo, se constató que la eliminación de sedimentos y la limpieza de vegetación en los canales contribuían a mejorar en un 20 % las condiciones de flujo, al reducir obstrucciones y pérdidas por fricción. En conjunto, los resultados

demonstraron que la aplicación del modelo HEC-RAS constituye una herramienta eficaz para la gestión técnica de canales de riego, permitiendo la implementación de prácticas orientadas al uso sostenible del agua y a la mejora del rendimiento agrícola.

Zakir et al. (2023), realizaron un trabajo de investigación con el propósito de elaborar un modelo hidráulico aplicado a canales de riego, orientado a mejorar las condiciones de flujo en sistemas de riego superficial. La manera en la que llevaron esto a cabo fue mediante el desarrollo de un enfoque integral que considera diferentes condiciones del canal, tales como eliminación de sedimentos, limpieza de vegetación, revestimiento con hormigón, con plástico y mediante ladrillos, a fin de reducir efecto en la dinámica del flujo. Los resultados fueron que el revestimiento plástico es el más efectivo lo que induce una mejora del 48% en la condición del flujo. El revestimiento de hormigón tiene una mejora del 37% mientras que el revestimiento de ladrillo presenta o una mejora del 39%. Por lo que se concluye o que los resultados resaltan la capacidad del modelado hidráulico para guiar la planificación y la gestión de los sistemas de riego garantizando métodos sostenibles en el uso del agua.

Un estudio en el que Campos AS (2023) estudió un diseño hidráulico optimizado para los canales de riego del bloque 4 de la margen derecha del río Tempisque en la región de Pacume – Senara. Esta investigación adoptó un enfoque integral que terminó con la planificación de 23.77 km de canales primarios revestidos en concreto y de 9.84 km de canales secundarios mediante tuberías a baja presión, en el que se incluyen estructuras hidráulicas complementarias, como sifones invertidos y represas. El diseño propuesto era capaz de un caudal vehicular de 2.67 m<sup>3</sup>/s para riego y de 2 m<sup>3</sup> /s para agua potable y turismo; además, la estimación del diseño calcula que el uso de estos canales podrá cultivar planos agrícolas en cerca de 1,972.4 hectáreas, ejecutándose principalmente por los distritos circundantes. Este enfoque intenta no solo vehicular el agua de riego más eficientemente, sino también potenciar el desarrollo agrícola y turístico de la región. Ese enfoque pasa a ser una integral , donde el manejo de agua reducido puede ser un medio para el desarrollo agrícola y turístico y así el desarrollo

socioeconómico de la población del área , en la medida que alinear las metas máximas es equivalente a obtener un desarrollo que ya no es solo positivo para los agricultores y para los emprendedores del sector turístico, sino que también va a ser positivo para la población en general y así para la mejora de la calidad de vida y el sentido de pertenencia e identidad de la región.

León et al. (2022) El objetivo principal de este estudio fue evaluar la eficiencia en la aplicación del método de riego por gravedad, específicamente mediante la técnica de huella. Para ello, se diseñó un experimento basado en un modelo de bloques completamente al azar con tres repeticiones, lo que permitió realizar los cálculos correspondientes con mayor precisión.

Los resultados obtenidos mostraron que el método de riego por gravedad alcanzó una eficiencia del 46%. Además, se estimó una huella hídrica de 228 litros por kilogramo (L/kg) y un rendimiento neto por parcela de 225,02 kilogramos.

A partir de estos resultados, se concluye que el diseño y la optimización de los sistemas de riego representan un aspecto clave para mejorar la eficiencia hidráulica en los canales. Esta mejora no solo contribuye a un uso más racional y eficiente del recurso hídrico, sino que también se traduce en un aumento del rendimiento de los cultivos, favoreciendo así una agricultura más sostenible y económicamente rentable.

Fatxulloyev, et al. (2020), Realizaron una investigación orientada a aumentar la eficacia del uso del agua en canales de riego, la cual incluyó un análisis detallado de las deficiencias presentes en las estructuras actuales. Con el fin de realizar una evaluación precisa, se utilizaron herramientas tecnológicas avanzadas, entre ellas el software River Surveyor Live, que permitió analizar en profundidad parámetros cinemáticos, dinámicos y la permeabilidad de los canales.

Los resultados obtenidos evidenciaron de forma clara que la optimización de los parámetros hidráulicos contribuye significativamente a un uso más eficiente del recurso hídrico. Esto se refleja en una mejor gestión del agua, una mayor capacidad de distribución y una reducción de las pérdidas por filtración y evaporación. En consecuencia, se mejora sustancialmente la confiabilidad del

sistema de riego y se garantiza al usuario un acceso más estable y seguro al recurso hídrico, elemento clave para el desarrollo agrícola sostenible.

### **2.1.2. Antecedentes a nivel nacional**

La principal finalidad del estudio de Ticona (2024) fue la determinación de las pérdidas de conducción en busca de mejorar la eficiencia hidráulica del canal de riego Yesera, ubicado en Magollo, Vilacollo, Quilahuani, Candarave, Tacna, en el sector comprendido entre el km 004 + 200 y el km 006 + 700. Para llevar a cabo dicho objetivo el estudio se realizó con un enfoque científico, con un método todo de enfoque descriptivo y diseño no experimental. Además, se llevó a cabo un levantamiento topográfico para determinar las pendientes mínimas del canal. Como resultado del estudio, se identificaron diversas deficiencias en la infraestructura de los canales de riego. Entre las principales problemáticas se observaron pendientes inadecuadas que generan desbordes y acumulación de sedimentos, presencia de juntas de disipación con discontinuidades, formación de grietas entre secciones de concreto antiguo y nuevo, procesos de erosión en las paredes del canal, así como tomas laterales con funcionamiento deficiente. Estas condiciones afectan directamente la eficiencia hidráulica y comprometen la operatividad del sistema de riego.

Capcha y Martinez (2021) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de analizar el comportamiento hidráulico del canal de riego por gravedad a fin de determinar su eficiencia en la conducción del recurso hídrico y proponer acciones de mejora del canal Huayao, Chupaca, Junín, 2021, para ello implementaron un diseño aplicado para desarrollar un nuevo sistema más eficiente para optimizar la hidráulica del canal. Los resultados determinan la realización de un nuevo revestimiento del canal, una ampliación del canal trapezoidal dado que las pérdidas suelen ser por infiltraciones ya que en algunos tramos el paño lateral está dañado lo que hace que la eficiencia se limita a un 71.53% y que no se garantiza el abastecimiento a todos los usuarios dependientes de este canal. Con ello se garantiza un mejor abastecimiento para todos los usuarios dependientes y además al optimizar el canal que se busca no solo mejorar la cantidad de agua disponible sino también maximizar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos,

ya que esto es vital en zonas donde el acceso al agua es crítico y puede impactar directamente en la calidad de vida de la población local, así como en el desarrollo de actividades agrícolas y económicas.

Chiclote (2017), El propósito principal de esta investigación fue determinar la eficiencia en la conducción en el canal de irrigación El Progreso – Mayanal, (Jaén, Cajamarca). Los 5 km de longitud total del canal corresponden a la población de estudio, mientras que la muestra seleccionada fue un tramo de 1 km, comprendido entre los kilómetros progresivos 00+000 y 01+000, considerado como el sector más crítico del sistema.

Los resultados evidenciaron la presencia de múltiples daños estructurales, tales como grietas, rupturas y juntas en estado de deterioro, en diferentes niveles de severidad. La eficiencia hidráulica del tramo analizado fue del 88.56%, valor que se encuentra por debajo del estándar óptimo establecido del 95%, lo que indica pérdidas significativas durante el proceso de conducción del recurso hídrico.

En conclusión, se determinó que el canal presenta deficiencias estructurales que afectan negativamente su eficiencia hidráulica, siendo necesario implementar medidas de rehabilitación para optimizar su funcionamiento.

Jiménez (2017), La presente investigación llevó a cabo una evaluación técnica orientada a contrastar la eficiencia de conducción entre infraestructuras revestidas y en tierra natural, dentro de la jurisdicción de la Comisión de Usuarios de la Margen Izquierda del río Tumbes. El marco metodológico se cimentó en los principios hidráulicos del flujo uniforme y la caracterización de los materiales de revestimiento.

La población estuvo conformada por todos los canales (revestidos y no revestidos) del subsector de riego mencionado, y la muestra se delimitó a dos tramos representativos de 500 metros cada uno: El primero corresponde a un tramo del canal troncal sin revestimiento ubicado en la zona agrícola de Pechichal, entre las progresivas 5+400 y 5+900, asociado al bloque de riego Malval. El segundo comprende una sección del canal troncal revestido situada en

el sector agrícola Los Cedros, entre las progresivas 17+006 y 17+506, perteneciente al bloque de riego La Cruz.

Para la recolección de datos se emplearon instrumentos de campo elaborados específicamente para el registro de parámetros hidráulicos, como caudales de entrada y salida, pérdidas por infiltración, entre otros.

Los datos recabados en la investigación evidencian una disparidad en el rendimiento hidráulico según el tipo de infraestructura: mientras que la estructura en tierra (no revestida) ubicada en el sector Pechichal registra una eficacia de conducción del 94%, el canal revestido perteneciente al sector Los Cedros logra optimizar este indicador hasta un 98%. Esto demuestra que, aunque ambas obras funcionan dentro de parámetros aceptables, la impermeabilización del canal es determinante para minimizar las pérdidas por infiltración y elevar la eficiencia operativa.

En relación con la propuesta técnica para el abastecimiento hídrico de 100 hectáreas de plantaciones de palto en Luricocha, Tello y Sánchez (2016) plantean un esquema hidráulico específico. Dicho diseño estipula la derivación de un flujo de 0,10 m<sup>3</sup>/s a través de una estructura de captación tipo Tirol, complementada por un desarenador para el tratamiento preliminar. Asimismo, la seguridad de la infraestructura se calculó previendo un caudal de avenida de 1,00 m<sup>3</sup>/s, basándose en un tiempo de retorno de 25 años, en estricto apego a las normativas de la Autoridad Nacional del Agua

### **2.1.3. Antecedentes a nivel regional**

Asalde (2020) propuso determinar el impacto que tiene la aplicación del software HEC-RAS sobre la eficiencia en el transporte de agua. El estudio se delimitó al canal de riego situado en el Distrito de Salas (Lambayeque), cubriendo específicamente el segmento comprendido entre las progresivas 0+000 y 3+085. A través del uso de modelos hidráulicos, los hallazgos confirmaron que dicha herramienta informática ejerce una influencia positiva y determinante en el diseño técnico del tramo evaluado. Las simulaciones demostraron que el software es esencial para maximizar el rendimiento hidráulico, optimizando tanto el flujo y la

distribución del caudal como la administración general del agua en el área de influencia, por otro lado la información suministrada por la modelación permite tomar decisiones con fundamento que propicien la sostenibilidad y la eficacia del uso del agua para la agricultura, en el sentido de mejorar así la gestión eficaz de los recursos hídricos de la zona de estudio. Asimismo, se recomienda añadir al diseño la construcción de una obra de arte en la forma de mural que representa la importancia del agua y de la innovación tecnológica en la gestión de este recurso hídrico, promoviendo también el cuidado del medio ambiente y la integración arte - ingeniería para la promoción de prácticas sostenibles en la región.

Castro (2021) dirigió su investigación hacia la formulación técnica del canal de riego denominado "El Río", emplazado en el distrito de Chóchope (Lambayeque). El propósito central del estudio fue validar que la propuesta de ingeniería se ajustara rigurosamente a las normativas y estándares técnicos exigidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Para la materialización del diseño hidráulico, resultó imperativo ejecutar una serie de evaluaciones preliminares fundamentales. Estas incluyeron el reconocimiento topográfico detallado, ensayos geotécnicos de mecánica de suelos y el análisis del comportamiento hidrológico de la zona. Dichos insumos se consideraron determinantes para asegurar que el dimensionamiento de la infraestructura de irrigación fuese preciso, funcional y acorde a las necesidades del proyecto.

El área de estudio comprendió dos canales de riego secundarios, conocidos como El Pueblo y El Papayo, ambos con extensiones que superan los 6 kilómetros. La muestra seleccionada se centró en el diseño de un canal terciario, denominado El Río, que junto con sus ramales alcanza una longitud superior a los 5 kilómetros. Mediante el desarrollo y optimización de este canal, se pretende incrementar el acceso al agua destinada al riego, lo cual contribuirá a aumentar la eficiencia del sistema y, por ende, potenciar la productividad agrícola en la zona de influencia, que abarca los caseríos de Chiclayito y Chóchope Antiguo, ubicados en el distrito de Chóchope.

Tarrillo (2021) Se centró en el diseño hidráulico del canal de riego L-02 Angolo, ubicado en el distrito de Mórrope, región Lambayeque. Para la elaboración del diseño, fue necesario realizar una serie de estudios básicos indispensables, tales como el levantamiento topográfico, el estudio de mecánica de suelos, el análisis hidrológico y el estudio de impacto ambiental, los cuales permitieron obtener información precisa para una propuesta técnica integral.

La población de estudio estuvo constituida por el canal de riego Angolo de segundo orden, con una longitud de 5.790 kilómetros.

Desde una perspectiva hidráulica, los resultados obtenidos a partir del análisis técnico, financiero y ambiental confirman la factibilidad del proyecto, al cumplir con los criterios necesarios para garantizar un diseño hidráulico eficiente y funcional del canal. Además, se incorpora una estrategia orientada a mitigar posibles impactos ambientales negativos, promoviendo la sostenibilidad del sistema de riego y favoreciendo a los usuarios agrícolas de la zona beneficiada.

## **2.2. Bases teóricas**

Con el fin de sustentar adecuadamente esta investigación, se presenta a continuación el marco teórico correspondiente:

### **2.2.1. Generalidades**

Con el objetivo de otorgar validez científica y soporte doctrinal a las estimaciones matemáticas ejecutadas en este estudio, se procede a detallar los principios fundamentales, categorías taxonómicas y metodologías inherentes a la hidráulica de canales. En particular, se hace énfasis en las obras de arte que forman parte de los sistemas de riego, como las alcantarillas y los pasos hidráulicos, los cuales corresponden a pequeñas estructuras de hormigón armado. El enfoque se centrará especialmente en el comportamiento hidráulico de estas infraestructuras.

- Hidráulica en canales a superficie libre:

Desde una perspectiva técnica, se define como canal abierto a aquel conducto en el cual el líquido discurre presentando una superficie libre en contacto directo

con la atmósfera, lo que implica que la presión en dicha superficie es constante e igual a la presión barométrica. Dependiendo del origen de los canales, estos pueden ser naturales o artificiales. Los canales artificiales son aquellos que han sido creados o alterados debido a la actividad del hombre, es decir, las vías de navegación fluvial, conductos de aducción para centrales hidroeléctricas, infraestructura de riego y drenaje agrícola, sistemas de drenaje vial (cunetas), etc., y los canales de prueba específicos que crearán en los laboratorios para fines experimentales. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden estar dispuestas a un nivel particular, o bien que respondan a una necesidad social o económica específica. La aplicación de las teorías hidráulicas en los canales diseñados anteriormente proporcionará resultados muy similares a las condiciones reales, convirtiéndose en herramientas suficientemente precisas para la concepción práctica del diseño (Luis y Terrones, 2019).

#### - Consideraciones de Diseño en Infraestructura de Riego

En ingeniería hidráulica, el diseño de canales de riego exige la determinación precisa de su geometría transversal, integrando variables como el coeficiente de rugosidad, la inclinación de taludes y el borde libre para garantizar su funcionalidad. En cuanto al cálculo, se asume un flujo uniforme y permanente, premisa que valida la aplicación de la ecuación de Manning. El dimensionamiento tiene un doble propósito: minimizar la infiltración en canales de tierra y maximizar la eficiencia en los revestidos de hormigón (Iñiguez et al., 2022).

#### - Hidráulica de canales:

La planificación de un sistema de riego y drenaje conlleva la construcción de diversas obras de protección, así como obras de infraestructura, que permitirán implementar la captura, el transporte, la distribución, el uso y la eliminación del agua, de forma capaz de controlar la humedad necesaria para el crecimiento de los cultivos (Santiago y Silva, 2019).

#### - Guía de criterios para el diseño de obras hidráulicas, destinada a la elaboración de proyectos hidráulicos multisectoriales y de fortalecimiento hídrico:

Dentro del desarrollo de un sistema de riego, la etapa correspondiente al diseño hidráulico específicamente la planificación del sistema de riego resulta crucial, ya que en ella se determinan las características operativas del sistema, tales como las estructuras de captación, las conducciones (ya sean canales abiertos o sistemas presurizados), y los mecanismos de regulación. Para llevar a cabo los cálculos necesarios en esta fase, es indispensable contar con los planos detallados de las infraestructuras identificadas durante el reconocimiento de campo. Estas incluyen canales y diferentes tipos de obras, como las obras de arte (acueductos, canoas, sistemas de drenaje, tomas laterales) y las obras especiales (bocatomas, desarenadores, túneles, sifones), según lo establecido por la (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

Al momento de desarrollar los diseños de las infraestructuras contempladas en un proyecto de riego, el caudal constituye un parámetro fundamental para su dimensionamiento. Este depende de diversos factores, como la disponibilidad hídrica (hidrología), las características del suelo, el tipo de cultivo seleccionado, las condiciones climáticas del área y los métodos de riego empleados. Todos estos elementos deben analizarse desde una perspectiva integrada, considerando la interacción entre el agua, el suelo y la planta. En este contexto, la planificación adecuada de un sistema de riego requiere no solo de un conocimiento técnico profundo, sino también de experiencia profesional, siendo la Ingeniería Agrícola una disciplina clave en el diseño y desarrollo de este tipo de proyectos (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

- Diseño de infraestructura hidráulica para riego:

Técnicamente, un sistema de riego articula obras civiles y equipos electromecánicos para la gestión eficiente del recurso hídrico, integrando desde la captación y conducción jerarquizada (canales principales a terciarios) hasta dispositivos de aforo y distribución parcelaria. El abastecimiento, proveniente de fuentes superficiales o subterráneas, se realiza mediante gravedad o bombeo según la cota piezométrica. La función central de la canalización es transportar el caudal aprovechando el diferencial topográfico, lo cual fundamenta la clasificación de las obras. (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

Dentro de la configuración de un sistema de riego, las infraestructuras hidráulicas se agrupan en categorías definidas de acuerdo con la función que desempeñan. Entre ellas destacan las **obras de captación**, las cuales pueden operar mediante flujo gravitacional como en el caso de las tomas de derivación y los embalses destinados al almacenamiento o a través de mecanismos de impulsión, cuando así lo requieren las condiciones topográficas o la disponibilidad del recurso hídrico.

Por otro lado, las **obras de conducción** permiten trasladar el agua desde la fuente hasta las zonas de distribución. Estas pueden estar compuestas por canales, túneles y estructuras de paso en zonas deprimidas, como acueductos, sifones, alcantarillas, estructuras de caída y conducciones rápidas, así como tuberías que operan bajo presión.

Las **obras de protección** tienen como objetivo preservar la funcionalidad y seguridad del sistema, incluyendo elementos como desarenadores, aliviaderos, válvulas de alivio, tanques de presión y disipadores de energía, que regulan los sedimentos, excesos de caudal o presiones elevadas.

Finalmente, las **obras de regulación** son esenciales para el manejo eficiente del recurso, y comprenden divisiones, dispositivos de medición de caudal y reservorios, los cuales permiten distribuir el agua de forma equitativa y almacenar volúmenes según la demanda del sistema.

- Diseño hidráulico de canales:

El diseño de canales constituye una etapa clave en la formulación de un proyecto de riego, ya que depende de diversos factores como las características del suelo, el tipo de cultivo, el clima predominante y los métodos de riego a emplear. Este proceso se basa en la interacción entre el agua, el suelo y la planta, en conjunto con los parámetros hidráulicos necesarios para garantizar un dimensionamiento adecuado.

En este contexto, la adecuada administración de la hidrología resulta esencial para la planificación de los canales, porque ofrece información precisa sobre la disponibilidad y comportamiento del recurso hídrico. Esta integración de variables

permite al diseñador contar con un enfoque más completo y técnico, facilitando así un diseño más eficiente y adaptado a las condiciones del entorno.

- Eficiencia Hidráulica en Canales:

La eficiencia de un canal hace referencia a su capacidad para transportar el caudal de agua desde la fuente hasta los puntos de distribución de forma óptima, minimizando al máximo las pérdidas a lo largo del trayecto. Este aspecto es esencial para asegurar que el recurso hídrico llegue a su destino final con el volumen y la calidad requeridos, garantizando así el buen funcionamiento del sistema de riego.

Se destacan factores claves con los que contribuye la eficiencia hidráulica:

**Optimización de Recursos Hídricos:** Permite maximizar el aprovechamiento del agua, reduciendo el desperdicio y asegurando que se utilice de la manera más eficiente posible.

**Reducción de Costos:** Disminuye los gastos asociados con el bombeo y transporte de agua al evitar pérdidas innecesarias y mejorar el rendimiento de los sistemas de riego.

**Sostenibilidad Ambiental:** Contribuye a la conservación de los recursos hídricos y al mantenimiento de los ecosistemas, minimizando la extracción excesiva de agua y reduciendo el impacto ambiental.

**Aumento de la Productividad Agrícola:** Garantiza que los cultivos reciban la cantidad de agua necesaria, lo que puede incrementar los rendimientos y mejorar la calidad de los productos agrícolas.

**Planificación y Mantenimiento:** Promueve la organización de mejoras y el correcto mantenimiento de la infraestructura de riego, garantizando su rendimiento eficiente y extendiendo su vida útil.

**Evaluación del Desempeño:** Permite evaluar el rendimiento de los sistemas de riego y tomar decisiones informadas para mejorar su eficiencia y efectividad.

## **2.2.2. Eficiencia Hidráulica en canales (Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego, 2015):**

### **2.2.2.1. Eficiencia del sistema de riego (Efr)**

En un sistema de irrigación, la eficiencia se determina evaluando la proporción de agua que realmente es utilizada por los cultivos en relación con la cantidad total de agua extraída de la bocatoma. Desde su captación en la bocatoma, el agua recorre un canal principal, se deriva por canales secundarios y llega hasta las áreas de cultivo, donde debe cumplir su función de satisfacer las necesidades hídricas de las plantas.

Evaluar cuánta agua realmente llega a ser utilizada por las plantas es clave para entender el desempeño del sistema. Este análisis resulta esencial al momento de planificar y dimensionar proyectos de riego, ya que permite calcular con mayor precisión la cantidad de agua necesaria para cubrir toda la demanda agrícola. En este sentido, la eficiencia del riego influye directamente en la estimación de la demanda hídrica total del sistema.

Desde una perspectiva operativa, el rendimiento global del riego surge de la interacción de tres fases críticas. La eficiencia de conducción mide la conservación del caudal en la infraestructura principal, mientras que la eficiencia de distribución abarca el manejo hídrico en la red secundaria. Finalmente, la eficiencia de aplicación cuantifica la precisión del suministro a nivel parcelario. Así, la sinergia funcional entre estos tres subsistemas define la eficacia técnica integral del proyecto.

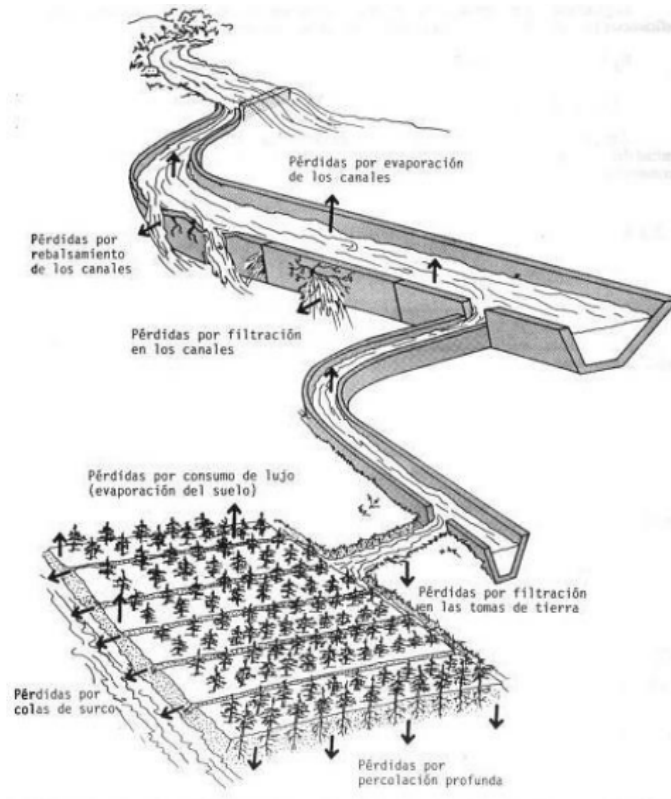
$$Efr = Efc * Efd * Efa$$

Donde:

- Efc: Eficiencia de conducción: indica la proporción de agua que llega a la red o conducción respecto al volumen teórico enviado.
- Efd: Eficiencia de distribución: mide qué fracción del agua conducida llega efectivamente a la zona o parcela objetivo (considera pérdidas en la red secundaria).

- Efa: Eficiencia de aplicación: representa la parte del agua entregada a la parcela que es realmente aprovechada por el cultivo (toma en cuenta pérdidas por escurrimiento, evaporación, etc.).

**Figura 1**  
*Eficiencia del sistema de riego*



**a. Eficiencia de conducción (Efc)**

La eficiencia de conducción analiza las pérdidas de agua que ocurren en el canal principal, desde la bocatoma hasta el punto final de entrega. En algunas situaciones, no es posible cerrar las compuertas de los canales secundarios (L1, L2, L3, ...Ln), lo cual se considera al momento de estimar este tipo de eficiencia.

$$Efc = \frac{\text{Caudal que llega al final del canal principal} + \sum \text{caudales de distribución}}{\text{caudal de agua que entra al canal principal}} \times 100$$

La sumatoria de canales de distribución se asume cero, en caso de que las compuertas se encuentren cerradas.

Cuando la eficiencia de conducción presenta valores elevados, se interpreta que las pérdidas de agua en el canal principal son mínimas, lo que evidencia una

infraestructura en buen estado y un adecuado manejo del recurso hídrico. Para alcanzar este nivel de eficiencia, se deben cumplir ciertos criterios técnicos:

- Es preferible que el canal principal cuente con un revestimiento adecuado, lo cual reduce significativamente las pérdidas por infiltración hacia el terreno circundante.
- La estructura del canal debe encontrarse en buen estado, sin presentar daños físicos visibles como fisuras, colapsos o erosiones, tanto en la base como en los taludes o bordes laterales.
- Es importante limitar la superficie libre del agua para reducir al mínimo las pérdidas por evaporación, especialmente en zonas de alta radiación solar.
- Se debe prevenir cualquier tipo de extracción no autorizada a lo largo del canal, como la toma informal por parte de terceros, el uso con fines pecuarios o la carga de cisternas sin control.

Finalmente, es necesario derivar únicamente los caudales recomendados técnicamente para mantener una velocidad de flujo adecuada, evitando tanto la acumulación de sedimentos que disminuye el área útil del canal, así como la erosión, que puede deteriorar su estructura y aumentar la exposición a infiltraciones.

#### **b. Eficiencia de distribución (Efd)**

Se halla a través del análisis de los canales encargados de transportar el agua desde el canal principal hasta las parcelas agrícolas de los usuarios. Esto incluye canales de primer, segundo, tercer orden, entre otros. Esta eficiencia refleja las pérdidas que ocurren desde la toma lateral ubicada en el canal principal hasta el punto de entrega del recurso hídrico dentro del área de riego.

Formulación matemática:

$$Efd = \frac{\text{Caudal que llega al final del canal de distribución} + \sum \text{caudales de los laterales}}{\text{caudal de agua que entra al canal lateral}} \times 100$$

En consecuencia, para sistemas de riego complejos que integran múltiples ramales de distribución, la eficiencia global se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$E_f = \frac{\text{sumatoria de eficiencias de distribución de 1er, 2do, 3er, 4to, ... n orden}}{\text{número total de canales de distribución}}$$

De manera análoga a la fase de conducción, la red de distribución debe alcanzar altos niveles de eficiencia, lo cual implica minimizar las pérdidas por filtración a lo largo de su recorrido. Esta eficiencia será mayor en la medida en que las condiciones físicas de los canales y sus estructuras complementarias se encuentren en buen estado. En este sentido, se deben considerar los siguientes aspectos:

- resulta imperativo neutralizar las fugas en puntos críticos como tomas laterales, estructuras de control, partidores y demás componentes del sistema de distribución, ya que muchas de estas pérdidas son causadas por daños estructurales o intervenciones indebidas de los propios usuarios.
- La programación del riego debe optimizarse, priorizando la operación de uno o pocos canales por turno, con caudales adecuados, en lugar de distribuir el agua simultáneamente en múltiples canales con caudales reducidos. Esta última práctica genera velocidades de flujo muy bajas, lo que disminuye la eficiencia hidráulica del sistema.

### **c. Eficiencia de aplicación (Efa)**

Este indicador constituye la métrica final del sistema y cuantifica la fracción del recurso hídrico que, tras ser suministrado al predio, es efectivamente retenido en el perfil del suelo para su absorción biológica por los cultivos, en comparación con la cantidad total de agua utilizada en el proceso. Este indicador resulta fundamental para evaluar qué tan bien funciona el sistema de riego en el uso del agua dentro de una parcela. Normalmente se expresa en porcentaje o como litros de agua realmente útiles por cada 100 litros aplicados en el cultivo.

Hay varios factores que influyen en esta eficiencia. Por un lado, el tamaño de la parcela puede hacer que haya más o menos pérdidas de agua; en áreas grandes, es más probable que el agua se pierda por evaporación, filtración profunda o escurrimientos, lo que reduce la eficiencia. También el tipo de suelo juega un papel importante, ya que su capacidad para retener agua y su permeabilidad determinan la cantidad de agua que permanece disponible para las plantas tras regar. De igual forma, la manera en que se aplica el riego marca una gran diferencia: por ejemplo, el riego por goteo suele ser más eficiente porque entrega el agua directamente a las raíces, mientras que métodos como la aspersión o la inundación pueden desperdiciar más agua.

**Figura 2**  
*Modalidades de aplicación del riego*

<i>Ef. Riego (gravedad) = 0.40</i>
<i>Ef. Riego (aspersión) = 0.70</i>
<i>Ef. Riego (goteo) = 0.90</i>

1. Condiciones Climáticas: Factores como la temperatura, humedad y velocidad del viento pueden afectar la cantidad de agua que se evapora antes de ser absorbida por el suelo y las plantas.

Tomando en cuenta esta situación, cuando se disponga de varias parcelas, se aplicará la siguiente fórmula para su análisis o cálculo:

$$\text{Eficiencia de aplicación (Ea \%)} = \frac{A_1 * Er_1 + A_2 * Er_2 + \dots + A_n Er_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

*An: área de la parcela*

*Er<sub>n</sub>: Eficiencia de riego en parcela*

Optimizar la eficiencia en la ejecución de riego implica implementar prácticas efectivas para maximizar el uso eficiente del agua. Para lograrlo, se recomienda lo siguiente:

- Mantener la zona de raíces adecuadamente hidratada: Asegurar que la zona de raíces de los cultivos mantenga un equilibrio hídrico, evitando tanto excesos como deficiencias de agua.
- Prevenir inundaciones en áreas bajas: Evitar el anegamiento de las zonas más bajas de la parcela, para prevenir enfermedades en la base de las plantas.
- Reducir problemas de drenaje: Implementar sistemas y prácticas de drenaje eficientes para evitar la acumulación de agua en el suelo, que puede afectar la salud del cultivo.
- Aumentar los rendimientos de los cultivos: Mejorar las prácticas de riego para lograr mayores rendimientos agrícolas mediante una mejor gestión del agua.
- Expandir las áreas regadas: Maximizar la superficie regada utilizando la misma cantidad de agua disponible, optimizando la distribución y eficiencia del riego. El agua al incorporarse al suelo, puede responder de diversas formas.
- Una de las formas más importantes es la infiltración útil, que ocurre cuando el agua se filtra y llega realmente a la zona radicular del cultivo. En este caso, las plantas pueden absorberla y beneficiarse de ella. Para lograr un buen aprovechamiento, es fundamental que el agua se distribuya de manera uniforme en esta área, ya que así se maximiza la eficiencia del riego.
- Percolación Profunda: El agua se infiltra en el suelo más allá de la profundidad de las raíces y no es aprovechada por las plantas. Esta pérdida se conoce como percolación profunda y representa una ineficiencia en el riego.
- Escurrimiento Superficial: El agua se escurre fuera del área de riego, causando inundaciones y no siendo útil para el cultivo. Esta pérdida se denomina escurrimiento superficial y es crucial reducirla para evitar daños y desperdicio de agua.

- **Eficiencia o cantidad de agua útil para las plantas que queda en el suelo según el método de riego**

La eficiencia de aplicación del agua está fundamentalmente condicionada por el método de riego empleado. Existen valores referenciales que permiten estimar dicha eficiencia según el sistema utilizado, los cuales son comúnmente aceptados en estudios técnicos y agronómicos:

**Figura 3**

*Volumen de agua aprovechable por los cultivos.*

Método de Riego	Rango de Eficiencia de Aplicación en Porcentaje
<b>SUPERFICIAL</b>	
Riego Tradicional o Tendido	10 – 30
Riego en Curvas de Nivel	30 – 60
Riego por Bordes	40 – 80
Riego por Surcos	40 – 85
<b>PRESURIZADO</b>	
Riego por Aspersión	50 – 90
Riego por Microjet	60 – 95
Riego por Goteo	65 – 95

#### **2.2.2.2. Factores que Influyen en la Eficiencia de Conducción:**

1. **Diseño del canal:** La forma y el revestimiento del canal son fundamentales. Los canales revestidos con materiales como concreto o plástico tienden a tener menos pérdidas por infiltración que los canales de tierra.
2. **Condiciones del canal:** Los canales deben estar en buenas condiciones estructurales. Grietas, fugas y obstrucciones pueden disminuir significativamente la eficiencia de conducción.
3. **Mantenimiento regular:** La limpieza y el mantenimiento rutinario de los canales son esenciales para evitar la acumulación de sedimentos y vegetación que puedan obstruir el flujo de agua.

4. Uso de tecnología: La implementación de tecnologías avanzadas, como sistemas de monitoreo y control automatizado, puede ayudar a optimizar la conducción del agua.
5. Políticas y normativas: La adopción de políticas efectivas que regulen el uso del agua y prevengan el acceso no autorizado puede mejorar la eficiencia de los canales.

### **2.2.2.3. Medición de la Eficiencia de Conducción:**

Se mide comparando el caudal de agua en la entrada del canal con el caudal en la salida. Se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}} \times 100$$

Donde:

- $E_c$  es la eficiencia de conducción (%),
- $Q_{salida}$  es el caudal de agua en la salida del canal,
- $Q_{entrada}$  es el caudal de agua en la entrada del canal.

Una alta eficiencia de conducción indica que las pérdidas de agua son mínimas, lo que sugiere un buen estado y diseño del canal. Por lo tanto, mantener una alta eficiencia de conducción es fundamental para un sistema de riego efectivo y sostenible.

### **2.2.2.4. Importancia de saber o conocer la eficiencia hidráulica:**

- En primer lugar, es vital determinar cuánta del agua obtenida, captada o recolectada con gran esfuerzo en cuencas, subcuencas o del subsuelo llega efectivamente a los usuarios y se emplea de manera adecuada.
- Es crucial cuantificar en términos monetarios las pérdidas asociadas a cada metro cúbico de agua que no se utiliza de manera óptima.
- También es esencial identificar de forma rápida y sencilla la extensión de tierras que podrían ser irrigadas si el agua mal gestionada estuviese disponible.

- Por último, es vital estimar el costo de las obras necesarias para aumentar eficientemente la disponibilidad y uso del agua, hasta alcanzar un nivel técnico aceptable.

#### **2.2.2.5. Ventajas de mejorar la eficiencia en la gestión del recurso hídrico en sector agrícola y comisión de regantes o junta de usuarios:**

- Optimización de costos operativos

La adopción de prácticas eficientes en el uso del agua conlleva una disminución significativa en los gastos vinculados a su extracción, conducción y aplicación, lo que contribuye a una gestión más sostenible y económica del recurso.

- Fortalecimiento de la participación colectiva

Una gestión eficiente promueve el compromiso activo de los usuarios, incentivando su participación en la toma de decisiones, el mantenimiento de la infraestructura y la vigilancia del uso racional del recurso.

- Incremento en la disponibilidad de agua

Reducir las pérdidas en las zonas de origen del recurso (cuencas, subcuencas o territorios específicos) permite conservar mayores volúmenes de agua, asegurando su disponibilidad para actividades agrícolas y otros usos esenciales, especialmente en contextos de escasez.

- Conservación de los ecosistemas y protección de los recursos naturales

El óptimo uso del agua contribuye a mantener el equilibrio ecológico, disminuyendo la presión sobre los cuerpos hídricos y reduciendo el deterioro de suelos, vegetación y otros elementos del entorno natural.

#### **2.2.2.6. Estrategias para Mejorar la Eficiencia de Conducción:**

1. Revestir los canales: Aplicar revestimientos duraderos para reducir las pérdidas por infiltración y mejorar la capacidad de conducción.
2. Sellar fugas: Detectar y reparar rápidamente cualquier fuga en el canal.

3. Elevar bordos: Aumentar la altura de los bordes del canal para evitar desbordamientos y pérdidas de agua.
4. Acortar trayectos: Reducir la distancia que el agua debe recorrer para minimizar las pérdidas.
5. Implementar políticas preventivas: Adoptar políticas para erradicar el uso no autorizado del agua y asignar costos adecuados para el uso del recurso.

En situaciones de baja eficiencia en la conducción del agua:

- Reducir las longitudes innecesarias de los canales, revestir las secciones más críticas, y sellar filtraciones, grietas o "cangrejas" que comprometan el flujo eficiente del recurso.
- Establecer normativas que eliminen el uso informal o no autorizado del agua, asignando responsabilidades económicas a quienes hagan uso indebido del recurso, ya sea de forma visible u oculta.
- Programar de manera oportuna y sistemática las actividades de limpieza, reparación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica, para garantizar su funcionamiento continuo y eficiente.

En situaciones de baja eficiencia en la distribución:

- Realizar un inventario técnico de las estructuras deterioradas o con fugas considerables, a fin de priorizar su rehabilitación o sustitución con criterios de urgencia e impacto.
- Regular el uso del caudal en cada canal de acuerdo con los mínimos técnicamente aceptables, evitando operar por debajo de esos umbrales para mantener un servicio eficiente y equitativo.
- Optimizar la planificación del Plan de Distribución de Agua, asegurando una programación adecuada de los turnos de riego y el cumplimiento estricto de los mismos.
- Aplicar sanciones a los usuarios que ocasionen daños a la infraestructura de riego, conforme a lo establecido en el Reglamento de Operación y

Mantenimiento, incluyendo medidas como la exclusión del padrón de usuarios en casos reiterados.

En situaciones de baja eficiencia en la aplicación del agua en parcela:

- Identificar las unidades agrícolas con mayores pérdidas de agua, evaluando las causas específicas como desniveles, deficiente compactación del suelo o desagües mal controlados, para intervenir con acciones correctivas como nivelación y cierre de fugas.
- Mantener permanentemente limpias las regaderas internas, asegurando un flujo continuo y sin obstrucciones durante las jornadas de riego.
- Aplicar las láminas de agua con una frecuencia adecuada, considerando la textura, estructura y capacidad de retención del suelo, con el fin de evitar pérdidas por percolación o escurrimiento.
- Aprovechar la totalidad del tiempo disponible para el riego, incluyendo horas nocturnas si es necesario, a fin de maximizar el uso del recurso y evitar su concentración en horarios de alta demanda.

### **2.2.3. Diseño hidráulico de canales**

#### **2.2.3.1. Definición:**

Los canales son estructuras de conducción de agua a cielo abierto, cuya operación se basa en el flujo gravitacional, es decir, el agua se transporta sin la presencia de presión interna. En términos generales, estos sistemas pueden clasificarse en dos grandes categorías, de acuerdo con sus características constructivas y funcionales (Gonzalez, 2020):

a. Canales naturales o de cauce normal: Son elementos fundamentales en el estudio de la hidráulica fluvial. Se caracterizan por su capacidad para alcanzar y mantener un equilibrio dinámico frente al transporte de sedimentos y la deposición de azolves. Este equilibrio permite que el flujo de agua y el movimiento de materiales sólidos se realicen de forma eficiente, sin generar procesos de erosión excesiva ni acumulaciones que alteren significativamente la geometría del cauce. El análisis y comprensión de estos sistemas es esencial para el diseño

de intervenciones hidráulicas sostenibles y para la preservación de la estabilidad física del entorno fluvial a largo plazo.

b. Canales artificiales o revestidos: En este trabajo se abordarán principalmente los canales artificiales, enfatizando el análisis de sus características hidráulicas y estructurales, que permiten un control más preciso del flujo y minimizan pérdidas por infiltración y erosión.

Además, los canales pueden clasificarse atendiendo a otros criterios, tales como su forma, tipo de flujo, función o servicio que proporcionan, entre otros.

### **2.2.3.2. Clasificación de los canales**

Pérez (2016) indicaron que los canales pueden clasificarse de la siguiente manera:

#### **a. La función que cumplen en los sistemas:**

- Canal de derivación:

Es una infraestructura hidráulica encargada de transportar el caudal captado en la obra de toma hasta el punto de inicio del sistema de distribución. Su función principal es encauzar el flujo de agua de manera controlada y continua, asegurando el suministro hacia los canales secundarios o laterales.

- Canales laterales:

Son conductos secundarios que parten desde el canal de derivación o desde otros canales principales, y cuya finalidad es distribuir el agua hacia las zonas agrícolas específicas. A través de estos canales, el recurso hídrico es conducido hasta las parcelas de riego, permitiendo una aplicación eficiente y localizada del agua según las necesidades del cultivo.

#### **b. De acuerdo con su origen:**

- Naturales:

Son cauces formados de manera espontánea por la acción del escurrimiento superficial producto de las precipitaciones. Estos cursos de agua se desarrollan

sin intervención humana, adaptándose a las condiciones topográficas, geológicas y climáticas del entorno.

- **Artificiales:**

Son estructuras construidas por el ser humano con el propósito de conducir agua de forma controlada. Su diseño y construcción responden a necesidades específicas, como el riego agrícola, el abastecimiento urbano o la generación hidroeléctrica, y requieren de criterios técnicos que garanticen su eficiencia y sostenibilidad.

**2.2.3.3. Información básica para el diseño:**

El diseño hidráulico y estructural de un canal requiere de una recopilación detallada de información técnica que garantice su funcionalidad, seguridad y sostenibilidad a lo largo del tiempo. Entre los aspectos fundamentales que deben considerarse se encuentran los siguientes:

- **Capacidad de conducción:**

Se refiere al caudal máximo que el canal debe transportar de manera eficiente. Este valor se halla por la cantidad de agua, ya sea para riego, abastecimiento o cualquier otro uso específico, y constituye uno de los parámetros clave para definir las dimensiones del canal.

- **Trazo o alineamiento:**

Consiste en la definición del recorrido del canal desde el punto de captación hasta los sectores de distribución. El trazo debe buscar el menor impacto ambiental y económico posible, considerando tanto la topografía como los usos del suelo, y procurando evitar zonas inestables o de difícil acceso.

- **Topografía:**

El análisis topográfico permite entender mejor el terreno donde se planea construir el canal. Gracias a esta información, es posible diseñar pendientes ajustadas, realizar cortes y rellenos adecuados y planificar las estructuras necesarias para complementar la obra. Todo esto es fundamental para garantizar

que el agua fluya de manera natural por gravedad y para mantener la estabilidad del cauce a lo largo del tiempo.

- Geología:

La evaluación geológica proporciona datos sobre la composición y estructura del subsuelo. Conocer la naturaleza de las formaciones geológicas ayuda a identificar posibles zonas de riesgo, como fallas, filtraciones o movimientos del terreno, que puedan comprometer la integridad del canal.

- Geotecnia:

Comprende el estudio de las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos presentes en el sitio del proyecto. Este análisis es clave para definir los métodos constructivos, el tipo de revestimiento del canal, y las medidas necesarias para prevenir asentamientos, erosión o inestabilidades en los taludes.

**Información inicial para el diseño:**

- Fotografía aérea (Google Maps):

Esta herramienta es de gran utilidad durante la etapa preliminar del proyecto, especialmente para el análisis del entorno y la selección del trazo más viable.

- Planos topográficos y catastrales:

Los planos topográficos proporcionan información detallada sobre las curvas de nivel, pendientes, elevaciones y accidentes geográficos del terreno. Por su parte, los planos catastrales muestran la distribución legal de la propiedad de la tierra, siendo fundamentales para evitar conflictos de uso del suelo durante la ejecución del proyecto.

- Estudios geológicos, de salinidad y suelos:

Los estudios geológicos permiten conocer la naturaleza y estructura del subsuelo, identificando posibles zonas inestables o susceptibles a deslizamientos. El análisis de la salinidad y la calidad del suelo es esencial para determinar la idoneidad de los terrenos para el riego.

- Levantamiento topográfico (escala 1:500, 1:1000, 1:2000):

El levantamiento topográfico a escala adecuada permite obtener datos precisos de la zona donde se llevará a cabo la construcción del canal. La elección de la escala depende del nivel de detalle requerido y de la magnitud del proyecto. Esta información es esencial para el diseño geométrico del canal, cálculo de pendientes, cortes y rellenos, así como para la ubicación de estructuras hidráulicas complementarias.

#### **2.2.3.4. Trazado del canal: Criterios para el trazado:**

El trazado de un canal es una fase fundamental en el diseño hidráulico, ya que determina el recorrido del flujo y su comportamiento dentro del sistema. Esta etapa se realiza una vez preparada la plataforma base, y debe cumplir rigurosamente con los criterios técnicos establecidos, garantizando una conducción eficiente, estable y segura del agua. A continuación, se detallan los principales aspectos a considerar desde una perspectiva hidráulica:

- Verificación de las características geométricas del canal:

Es esencial validar las dimensiones del canal (ancho de solera, taludes, profundidad y radio hidráulico), tanto en tramos rectos como curvos, para asegurar un flujo uniforme y evitar pérdidas de carga, turbulencias excesivas o erosión localizada.

- Trazado de la sección hidráulica (base y bordes):

Debe definirse con precisión las líneas superior e inferior del canal, considerando si se trata de un canal revestido (lo que implica menor rugosidad y mayor velocidad del flujo) o sin revestimiento (donde se deben prever mayores pérdidas por fricción e infiltración). Esta sección condiciona el régimen de flujo y la capacidad de transporte.

- Replanteo conforme a los parámetros de diseño hidráulico:

Las mediciones en campo deben ajustarse a las condiciones hidráulicas de diseño: pendiente del canal, velocidad crítica y máxima, capacidad de carga y

régimen de flujo (laminar o turbulento), garantizando que no se excedan los límites que puedan generar erosión o sedimentación.

- Trazo del eje hidráulico del canal:

El eje del canal, tanto en tramos rectos como en curvas, debe optimizar el alineamiento del flujo, evitando pérdidas de energía por cambios bruscos de dirección. En zonas curvas, se debe considerar el radio mínimo para prevenir socavaciones en los taludes y asegurar una transición hidráulica adecuada.

- Eficiencia hidráulica y económica:

El trazado debe buscar la máxima eficiencia en la conducción del agua, reduciendo pérdidas por evaporación, filtración o fricción, y evitando zonas de estancamiento o turbulencia. Al mismo tiempo, debe procurar un equilibrio entre la funcionalidad hidráulica y los costos de ejecución.

- Punto inicial del sistema hidráulico:

El canal generalmente comienza en el punto de demanda (zona de riego, tanque de presión, etc.), y desde ese punto se traza la línea gradiente hidráulica en dirección a la fuente de abastecimiento (como un río o embalse). Este perfil permite determinar la ubicación óptima de estructuras clave como la obra de toma, desarenadores o compuertas de control.

- Rectificación del alineamiento para optimizar el flujo:

Puede ser necesario modificar la alineación del canal para mejorar la pendiente hidráulica o reducir su longitud, mediante la construcción de túneles, sifones, acueductos o rellenos. Estas soluciones deben garantizar un flujo constante y libre, evitando condiciones que puedan llevar al flujo subcrítico o supercrítico no controlado.

- Evaluación técnico-económica de alternativas hidráulicas:

Cualquier modificación en el trazado debe ser evaluada considerando el comportamiento hidráulico del canal (energía específica, tirante normal, pérdidas por fricción) y además de comparar los costos relacionados con la construcción,

operación y mantenimiento. La alternativa seleccionada debe maximizar la eficiencia del sistema con la menor inversión posible, sin comprometer su estabilidad ni funcionalidad.

#### **2.2.3.5. Canal abierto:**

En el proceso de diseño hidráulico de un canal, se parte generalmente de condiciones establecidas, como el caudal de diseño ( $Q$ ) que debe ser transportado y la pendiente disponible del terreno o gradiente hidráulica, la cual puede presentar variaciones dentro de ciertos límites aceptables. Asimismo, se dispone del coeficiente de rugosidad ( $n$ ), que se determina en función del tipo de revestimiento previsto para el canal, ya sea natural o artificial.

Uno de los aspectos fundamentales del diseño consiste en la determinación del área hidráulica o área mojada, la cual se calcula a partir de la velocidad media del flujo. Esta velocidad debe mantenerse dentro de un rango adecuado habitualmente entre 0.7 m/s y 2.0 m/s con el fin de evitar fenómenos indeseados como la sedimentación (cuando la velocidad es muy baja) o la erosión de los taludes y fondo (cuando es excesivamente alta).

Desde el punto de vista hidráulico, la sección transversal más eficiente es aquella que, con la menor área mojada posible, permite transportar el caudal requerido. Esto se traduce en una relación óptima entre el perímetro mojado y el área de flujo, minimizando las pérdidas por fricción y maximizando el rendimiento del canal. Esta forma óptima no siempre es posible en la práctica debido a condicionantes topográficos o constructivos, pero sirve como referencia teórica para la evaluación de alternativas de diseño.

#### **2.2.3.6. Rasante de un canal:**

Al momento de diseñar un canal, es fundamental tener en cuenta ciertos criterios técnicos que influyen directamente en la eficiencia hidráulica y en la estabilidad de la infraestructura. Entre los principales aspectos a considerar se encuentran los siguientes:

Trazado de la rasante de fondo sobre el perfil longitudinal:

El diseño de la línea de fondo del canal debe realizarse tomando como base el perfil longitudinal del terreno. Esta rasante representa el nivel del fondo del canal a lo largo de su trayectoria y es determinante para el comportamiento del flujo, la energía disponible y la ubicación de estructuras hidráulicas complementarias.

Ubicación de puntos de captación o confluencia:

Es necesario identificar y considerar los puntos donde se incorporan caudales al canal. En el caso de canales de riego, se deben definir claramente los sitios de captación; mientras que, en sistemas de drenaje, es importante considerar las confluencias con otros cauces o drenajes secundarios, para garantizar una transición hidráulica adecuada y evitar retrocesos o sobrepresiones.

Pendiente de la rasante de fondo:

Siempre que sea posible, la inclinación del lecho del canal debe ajustarse a la inclinación natural media del terreno, ya que esto facilita el flujo gravitacional del agua sin necesidad de estructuras adicionales. No obstante, cuando el terreno presenta pendientes pronunciadas que comprometen la velocidad del flujo o la estabilidad del canal, es necesario incorporar dispositivos de disipación de energía, como caídas o saltos hidráulicos, para controlar la velocidad y evitar procesos erosivos.

#### **2.2.3.7. Velocidades admisibles:**

En el diseño hidráulico de un canal, es fundamental establecer una velocidad mínima de flujo que garantice condiciones de autolimpieza. Esta velocidad representa el límite inferior por debajo del cual pueden iniciarse procesos de sedimentación de los materiales sólidos transportados por el agua, así como la proliferación de vegetación acuática y formación de musgos en el lecho y los taludes del canal.

El flujo debe mantener una energía suficiente para evitar que las partículas en suspensión se depositen, asegurando así el libre tránsito del caudal y evitando obstrucciones o pérdidas de capacidad. Por lo tanto, al definir la velocidad del flujo, se debe verificar que esta no sea inferior a la velocidad crítica de

sedimentación, la cual depende del tipo, tamaño y concentración del material transportado, así como de las condiciones del canal (revestido o sin revestir).

Mantener una velocidad adecuada no solo previene la acumulación de sedimentos, sino que también limita el crecimiento de organismos acuáticos que podrían afectar el funcionamiento del sistema, especialmente en canales de riego. Este parámetro se convierte, por tanto, en una de las condiciones hidráulicas fundamentales para el diseño eficaz y sostenible de los canales.

**Figura 4**  
*Velocidades máximas recomendadas en conducción*

Material	Velocidad en m/s
Limo	0.15-0.30
Arena	0.20-0.60
Grava	0.60-1.20
Suelos Arcillosos	0.70-1.20
Arcilla	1.00 - 2.00
Rocas Sedimentarias	2.5-4.5
Rocas Cristalinas	20-25

**Figura 5**  
*Comportamiento de la resistencia en función de la profundidad*

	Resistencia en Kg/cm <sup>2</sup>	Profundidad en metros				
		0.5	1	3	5	10
<b>Hormigón</b>	50	9.6	10.6	12.3	13	14
	75	11.2	12.4	14.3	15.2	16
	100	12.7	13.8	16	17	18
	150	14	15.6	18	19.1	21
	200	15.6	17.3	20	21.2	23

**Figura 6**  
*Velocidades aceptables según el tipo de revestimiento del canal*

Tipo de material	Tirante Y(m)		
	0.5	1	5
Roca ( sedimentaria o ígnea)	1.7-6.3	2.1-7.7	3-11
Canal de madera	26-29	28-32	3.4-38
Revestimiento de concreto	96 -15.6	10.6-17.3	1.3-21.2
Revestimiento/ mampostería de piedra	4.3-7.4	5-8.7	6.7-11.6

**Figura 7**

*Velocidades límites para distintos tipos de canales*

Material	Vn.e
Canales arenosos	0.3
Arcilla arenosa	0.40
Materiales aglomerados consistentes	2.0
Muro de piedra	2.50
Canales con roca compacta	4.00
Canales con concreto	4.50

**Figura 8**

*Límites permitidos para la tensión de corte y velocidades asociadas*

Material	KS( m <sup>1/2</sup> /s)	Agua clara		Agua c/limo	
		v( m/s)	τ(kg/m <sup>2</sup> )	v( m/s)	τ(kg/m <sup>2</sup> )
Arena fina	50	0.46	0.13	0.76	0.37
Greda arenosa	50	0.53	0.18	0.76	0.37
Greda limosa	50	0.61	0.23	0.91	0.54
Limo aluvial	50	0.61	0.23	1.07	0.73
Greda común firme	50	0.76	0.37	1.07	0.73
Arcilla dura	40	1.14	1.27	1.52	2.24
Limo aluvial	40	1.14	1.27	1.52	2.24
Grava fina	50	0.76	0.37	1.52	1.56

### **2.2.3.8. Filtración de canales:**

#### **Factores que influyen en la filtración de las aguas:**

La filtración es un fenómeno relevante en el comportamiento hidráulico de los canales, ya que representa una pérdida de agua que puede afectar la eficiencia del sistema de conducción. Diversos factores condicionan la magnitud de estas pérdidas por infiltración, entre los cuales destacan los siguientes:

- Permeabilidad del suelo:

El tipo de suelo sobre el cual se construye el canal es un factor determinante en la tasa de infiltración. Suelos con alta permeabilidad, como los arenosos o con presencia de gravas, permiten una mayor filtración del agua hacia el subsuelo, mientras que los suelos arcillosos o compactados tienden a reducir significativamente este proceso.

- Profundidad del flujo (calado,  $y$ ):

El nivel de agua dentro del canal influye directamente en la presión ejercida sobre el fondo y los taludes, lo cual puede incrementar el flujo de agua hacia el terreno. A mayor calado, mayor será la carga hidráulica disponible para inducir la filtración.

- Temperatura del agua:

La viscosidad del agua disminuye con el aumento de la temperatura, lo que facilita su movimiento a través del suelo. Por lo tanto, en climas cálidos o durante temporadas de altas temperaturas, las tasas de filtración tienden a incrementarse.

- Edad del canal:

Con el paso del tiempo, los canales sin revestimiento tienden a desarrollar una capa de limo, sedimentos finos o biopelículas en el lecho, lo que puede reducir la infiltración al actuar como una barrera natural. Sin embargo, en algunos casos, el agrietamiento por asentamientos o el deterioro del revestimiento puede generar caminos preferenciales de filtración.

- Caudal transportado:

Un mayor caudal incrementa la superficie en contacto con el lecho y los taludes del canal, lo que puede derivar en un aumento de la filtración. Además, caudales elevados pueden ejercer presiones adicionales que favorecen la percolación, especialmente en zonas con fisuras o materiales poco compactos.

### Figura 9

*Pérdidas hidráulicas en canales en relación con el caudal transportado*

Caudal ( m <sup>3</sup> /s)	Perdida en % del caudal por kilometro
0.03 - 0.1	6-12
0.1-0.2	12-9
0.2-0.3	9-6
0.5-1	4-6
1-1.5	4.5-3
1.5-2	3-2.5
2-3	2.5-1.8
3-10	1.1-0.6
10-20	0.6-0.5
20-50	0.5-0.2
50-100	0.2-0.15
100-200	0.15-0.05
200-300	0.05-0.02

### Procedimientos para determinar la infiltración en canales con revestimiento

#### Fórmula de T. Ingham

$$P = 0.0025\sqrt{y} (b + 2Zy)$$

donde:

*p*: caudal infiltrado expresado en m<sup>3</sup>/s – por kilometro de canal(perdidas)

*b*: ancho de la base o solera del canal en metros

*y*: profundidad de agua (tirante)

*z*: relacion de talud lateral(horinzontal/vertical)

### **Fórmula de Etcheverry**

$$P = 0.0064 * C_e * \sqrt{y} (b + 1.33 y (\sqrt{1 + z^2}))$$

*donde:*

*p: caudal infiltrado expresado en m<sup>3</sup>/s – por kilometro de canal(perdidas)*

*c<sub>e</sub>: coeficiente que simboliza la permeabilidad*

*b: ancho de la base o solera del canal en metros*

*y: profundidad de agua (tirante)*

*z: relacion de talud lateral(horinzontal/vertical)*

### **Figura 10**

*Correspondencia entre la clase de suelo y el coeficiente de permeabilidad C<sub>e</sub>*

<b>Clase de suelo</b>	<b>C<sub>e</sub></b>
Arcillosos	0.25-0.50
Franco Arcillosos	0.50-0.75
Limosos Francos	0.75-1.00
Franco Arenosos	1.00 -1.50
Arenas finas	1.50-1.75
Arenas gruesas	2.00-2.50
Gravas	2.50-6.00

### **Formula de Pavlovskii**

$$P = 1000K(b + 2y (1 + z))$$

*donde:*

*p: caudal infiltrado expresado en m<sup>3</sup>/s – por kilometro de canal(perdidas)*

*k: coeficiente que simboliza la permeabilidad m/s*

*b: ancho de la base o solera del canal en metros*

*y*: profundidad de agua (tirante)

*z*: relacion de talud lateral(horinzontal/vertical)

### Formula de Davis y Wilson.

$$P = \frac{C_d * d^{1/3} (b + 2d\sqrt{1+m^2})}{8861 + 8\sqrt{v}}$$

donde:

*v*: la rapidez que tiene el fluido expresado en m/s

*C<sub>d</sub>*: coeficiente que simboliza a la permeabilidad

### Figura 11

Rangos de *C<sub>d</sub>* asociados a diferentes tipos de suelo

Material	C <sub>d</sub>
Hormigón de 10 cm de espesor	1
Arcilla de 15 cm. De espesor	4
Enlucido de cemento de 2.5 cm	6
Suelo arcilloso	12
Suelo franco- Arcilloso	15
Suelo franco	20
Suelo Franco -Arenoso	25
Arcilla Limosa	30
Arena	40-70

### Formula de Punjab.

$$P = C_p * Q^{0.563}$$

donde:

*v*: caudal m<sup>3</sup>/s

## Figura 12

Coeficiente de permeabilidad  $C_p$  en función del tipo de suelo

Clase de suelo	$C_p$
Suelos muy permeables	0.03
Suelos comunes	0.02
Suelos impermeables	0.01

### Formula de Kostiakov.

$$P = 1000 * K * (b + 2.4d\sqrt{1 + m^2})$$

### De donde:

Variación de la permeabilidad en diferentes tipos de suelo según la tabla adjunta.

## Figura 13

Comparación de tipos de suelo y sus valores del coeficiente  $C_e$

Clase de suelo	K en cm/s
Grava	0.01-0.1
Arena Gruesa	0.1-0.001
Arena Fina	0.01-0.0001
Tierra arenosa	0.001-0.00001
Tierra Franco-Arcillosa	0.00001-0.00000001
Tierra Franca	0.0001-0.0000001
Limo	0.0001-0.00001
Arcilla	0.000001-0.00000001
Arcilla Compacta	0.0000001-0.0000000001

### Formula de E.A. Moritz:

$$P = 0.0375 * C_m * A^{1/2} = 0.0375 c_m \frac{Q^{1/2}}{V^{1/2}}$$

donde:

$p$ : pérdidas en  $m^3/s - km$

$c_m$ : coeficiente que representa la permeabilidad

$A$ : área hidráulica en  $m^2$

$Q$ : caudal en  $m^3/s$

$V$ : velocidad en  $m/s$

### Figura 14

Variación del coeficiente  $C_m$  para diversas categorías de suelo

Clase de suelo	$C_m$
Franco Arcilloso	0.08-0.3
Franco Arenoso	0.3-0.45
Arenas Sucias	0.45-0.55
Arenas y gravas	0.55-0.75

**Formula de Vedernikov:** La fórmula de Vedernikov se utiliza para analizar la estabilidad del flujo en canales abiertos, siendo  $C_v$ , representa un parámetro de corrección que incorpora las influencias geométricas del canal sobre el régimen de flujo. Este coeficiente, que depende de la relación entre el ancho de solera y el tirante, así como de la pendiente de los taludes laterales, varía típicamente entre 1.0 y 1.4, afectando directamente la precisión en el cálculo de velocidades medias y caudales en canales a sección no rectangular.

#### 2.2.3.9. Perdidas en canales revestidos:

De acuerdo con Davis, un canal debe contar con revestimiento cuando las pérdidas por infiltración superan los 0.00053 cm/s, ya que este umbral indica una eficiencia hidráulica insuficiente. En esa misma línea, Hinds afirma que un revestimiento de hormigón de buena calidad, con un espesor aproximado de 3

pulgadas, puede disminuir estas pérdidas hasta valores cercanos a los 0.000000141 cm/s, demostrando así la eficacia del uso de materiales adecuados en la reducción de filtraciones.

Por su parte, Según el criterio de Uginchus, es posible calcular las filtraciones en canales revestidos aplicando un coeficiente de ajuste a los valores del canal en tierra natural. Específicamente para revestimientos de hormigón de 7.5 cm, se adopta un factor de 0.13; esto indica que, en comparación con la sección sin revestir, el caudal perdido disminuye hasta representar aproximadamente la octava parte del original.

Esto puede expresarse matemáticamente mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{kd(b + d(\sqrt{1 + m^2}))}{t}$$

*Donde:*

*t: espesor del revestimiento*

*k: permeabilidad del revestimiento de hormigón que varía de 0.00001  
– 0.0000001 cm/s*

Existen tres metodologías estándar para cuantificar estas pérdidas en campo:

- Balance de Caudales: Calcula la diferencia volumétrica entre el flujo de entrada y salida de un tramo.
- Estancamiento (Ponding): Aísla un segmento del canal para monitorear la tasa de descenso del nivel de agua.
- Ensayo de Permeabilidad: Emplea permeámetros insertados en la solera para medir la conductividad hidráulica local.

### **2.2.3.10. Pautas para el diseño hidráulico en canales de alta declividad**

#### **a. Estimación de la descarga y el tirante hidráulico:**

En canales con pendientes pronunciadas, el cálculo del caudal y del tirante debe considerar la presencia de aire en el flujo, ya que este fenómeno modifica las condiciones hidráulicas de la sección. Por lo tanto, es necesario determinar

volumen suplementario introducido por la interacción aire-agua, y recalcular la profundidad de flujo para reflejar el comportamiento real del flujo.

Para estimar el nivel de aire incorporado en estas condiciones, se recurre a la fórmula empírica propuesta por Douma, la cual permite cuantificar el efecto de la aireación sobre el flujo en canales con alta pendiente:

$$C = \frac{\sqrt{0.2 * F - 1}}{10}$$

**De donde:**

C: proporción volumétrica de aire en la mezcla

F: Número de Froude del flujo

El efecto de la aireación en canales de fuerte pendiente produce un incremento en el tirante del flujo debido a la incorporación de volumen de aire. Este tirante corregido o modificado se determina mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{(1 - 1.3 (c - 0.25))^2}{1 - C}$$

Considerar valores de C entre:  $0.25 > C < 0.75$

El caudal total transportado por la mezcla bifásica puede determinarse mediante la siguiente expresión, que toma en cuenta la incorporación de aire al flujo:

$$Q_s = \frac{0.5 * \delta * v^3 * \sqrt{2\pi}}{2g}$$

**De donde:**

$Q_s$  = descarga máxima del flujo aireado

$\sigma$  = coeficiente de rugosidad (0.003 para paredes lisas)

$\sigma$  = coeficiente de rugosidad (0.0035 para paredes rugosas)

$v$  = velocidad límite del flujo m/s.

También se debe cumplir que:

$v/u = 1.1$  para paredes lisas

$v/u = 1.3$  para paredes rugosas

Siendo  $u$  = la velocidad media

**b. Cantidad de aire para evitar depresiones:** La incorporación de aire al flujo es esencial para prevenir la formación de depresiones o vacíos en canales de fuerte pendiente. Este fenómeno está relacionado con la capacidad de succión generada por la superficie del agua altamente turbulenta, la cual, debido a la pendiente del canal, arrastra el aire presente sobre la lámina libre hacia el interior del flujo.

$$\frac{v_w - v}{\sqrt{\frac{t}{p}}} = 2.5 * \log_b \frac{Y}{k} + 8.5$$

Siendo los parametros de la ecuacion :

$v$ : *velocidad del flujo medida a una distancia definida de la pared*

$v_w$ : *velocidad característica del aire*

$t$ : *coeficiente de viscosidad dinámica del flujo*

$k$ : *rugosidad vertical de la interfaz en contacto con el aire.*

$p$ : *masa específica (densidad)*

$\frac{v}{u}$ : *valor de 1.3 aplicable a paredes rugosas (donde  $u$ : representa la velocidad media)*

Para estimar la cantidad de aire necesaria en una galería, se establece que esta debe calcularse en función del volumen de agua transportado, las condiciones de pendiente y turbulencia del flujo, así como las dimensiones geométricas de la sección. Bajo estas consideraciones, la demanda de aire se determina mediante la siguiente relación:

**Siendo:**

$$Q_a = K \cdot v_w \cdot A_q$$

$$Q_a = \frac{0.294 \cdot \left\{ \frac{Y_a}{K} \cdot \log_e \left( \frac{Y_a}{K} - 1 \right) \right\}}{0.294 \cdot \log_e \left( \frac{Y_a}{K} - 1 \right)}$$

Siendo los parametros de la ecuacion:

*v<sub>w</sub>*: *velocidad* características del aire

*Y<sub>a</sub>*: *distancia* entre la superficie del agua y el techo del conducto

**c. Fenómeno de ondas pulsantes en conducciones de alta declividad:**

basándose en evidencia experimental, Fedorov logró establecer que la relación entre el tirante y el radio hidráulico medio puede ser un indicador de la posible formación de trenes de onda cuando se cumplen ciertas condiciones.

$Y/R > 1.4$ , no *hay posibilidad de producción* de trenes de onda

$Y/R < 1.4$  la superficie de agua puede tener o no tener trenes de onda.

Y: Tirante

**Numero de Vedernikov:**

$$V_a = \frac{2 \cdot b \cdot v}{3 \cdot p \cdot \sqrt{g \cdot y \cdot \cos \theta}}$$

**De donde:**

V = número de Vedernikov

b = ancho del fondo

P = perímetro mojado

v = velocidad

y = tirante medio

g = aceleración de la gravedad

$\theta$  = ángulo de inclinación de la línea gradiente

**Numero de Montuori:**

$$M^2 = \frac{v^2}{g \cdot s \cdot L \cdot \cos\theta}$$

*Siendo los parametros de calculo:*

*M: adimensional de Montuori*

*s: gradiente promedio de la linea de energia (pendiente)*

*L: extension longitudinal del segmento del canal analizado*

La aparición de trenes de onda en canales está sujeta a ciertos parámetros adimensionales que permiten predecir su formación. Uno de estos es el número de Vedernikov (V), el cual se mantenga por debajo de 1 para que se mantenga un flujo estable. Cuando este valor supera la unidad ( $V > 1$ ), se favorece la inestabilidad del flujo debido al crecimiento progresivo de pequeñas perturbaciones superficiales que se generan dentro de la misma corriente, lo que puede dar lugar a trenes de onda.

Por otro lado, el número de Montuori también se considera en este análisis, estableciéndose que su valor mínimo debe ser igual o superior a 0.2 para que exista posibilidad de formación de ondas estacionarias. Ambos criterios son útiles para evaluar la estabilidad del flujo en canales y anticipar fenómenos ondulatorios que puedan afectar el comportamiento hidráulico del sistema.

**d. Rápidas con rugosidad intensificada:**

Desde el punto de vista hidráulico, el uso de elementos estructurales destinados a incrementar la rugosidad del cauce cumple una función fundamental en el control de la energía del flujo. Estos dispositivos se emplean especialmente en tramos donde la velocidad del agua alcanza niveles que pueden comprometer la estabilidad del revestimiento, inducir fenómenos erosivos o favorecer la formación de trenes de onda, característicos de flujos inestables.

La colocación estratégica de filas de bloques, dados disipadores, barreras transversales o elementos configurados en zigzag dentro del canal tiene como objetivo principal aumentar la resistencia hidráulica (rugosidad efectiva), generando una disipación progresiva de la energía cinética del flujo. Este efecto permite reducir la velocidad media, promover un régimen de flujo más uniforme o subcrítico, y evitar el desarrollo de inestabilidades superficiales.

Además, estos elementos actúan como disipadores de energía localizados, ayudando a mantener la integridad estructural del canal, limitar el desgaste del revestimiento, y prevenir socavaciones en tramos con alta pendiente o caudales elevados. Su diseño debe estar respaldado por análisis hidráulicos detallados, considerando parámetros como el número de Froude, el régimen de flujo predominante y las características del material del cauce.

#### **2.2.3.11. Tratamiento superficial de la sección (revestimiento)**

**a) Propósito y fundamentación técnica:** Los revestimientos aplicados a los canales cumplen un papel fundamental en la optimización del sistema de conducción hidráulica, especialmente en zonas agrícolas, donde se busca maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico. Para que estos cumplan eficientemente su función, deben satisfacer los siguientes criterios técnicos:

- Impermeabilización del canal:

El revestimiento debe actuar como una barrera hidráulica que impida o minimice el paso del agua hacia el subsuelo, reduciendo significativamente las pérdidas por infiltración. Esto permite extender el área de riego disponible, mejorando el rendimiento del sistema y beneficiando a una mayor superficie cultivable.

- Protección de terrenos colindantes:

Al evitar la filtración lateral del agua, se previenen daños a las tierras adyacentes, eliminando la necesidad de ejecutar costosas obras de drenaje complementarias.

- Control de la erosión interna:

El revestimiento debe proporcionar resistencia frente a la acción erosiva del flujo, lo cual permite trabajar con velocidades más elevadas sin comprometer la estabilidad del canal.

- Reducción de la rugosidad hidráulica:

Al disminuir el coeficiente de rugosidad del canal, se facilita un flujo más eficiente y con menores pérdidas de energía, lo que permite alcanzar mayores velocidades sin perjudicar la estructura.

- Estabilidad de taludes:

Al reducir el contenido de humedad en las paredes del canal, se evita el reblandecimiento del suelo y se disminuye el riesgo de deslizamientos o derrumbes en los taludes.

- Prevención de obstrucciones:

Un buen revestimiento impide el crecimiento de vegetación acuática y la formación de cavidades provocadas por animales, manteniendo la sección hidráulica libre y operativa.

Como resultado de cumplir con estas funciones, los revestimientos contribuyen de forma directa a disminuir los costos de operación y mantenimiento del canal, garantizando su eficiencia a largo plazo.

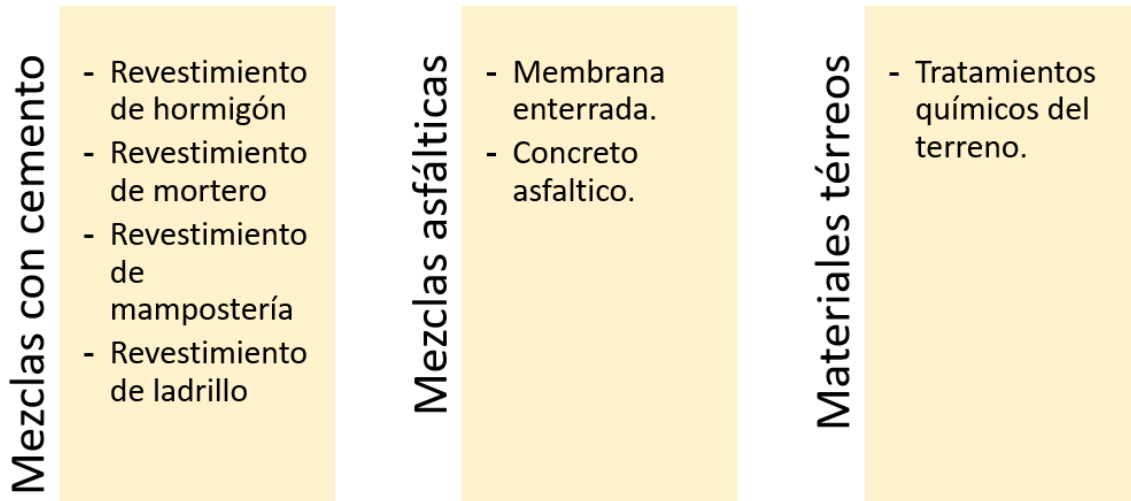
En función de los requerimientos anteriores, un revestimiento hidráulico debe presentar las siguientes propiedades:

- Impermeabilidad: Debe minimizar las pérdidas de agua por infiltración hacia el terreno.
- Resistencia a la erosión: Debe soportar la acción del flujo y otros agentes hidráulicos sin deteriorarse.
- Costo eficiente: Su implementación y mantenimiento deben ser económicamente viables, considerando tanto los materiales como la mano de obra disponible.
- Durabilidad: Debe mantener su integridad ante la acción de factores climáticos, presencia de vegetación y actividad de fauna silvestre.

## b) Tipos de revestimiento:

**Figura 15**

*tipo de revestimiento*



### 2.2.3.12. Parámetros para el diseño hidráulico en canales secundarios.

La definición del caudal de diseño en los ramales laterales, calculada en relación a la superficie agrícola beneficiada, es importante considerar que intervienen múltiples variables que pueden influir significativamente en este cálculo. No obstante, en la planificación de ciertos sistemas de riego, se adoptan criterios empíricos que permiten realizar estimaciones preliminares.

En este contexto, se establece que una toma individual debe estar diseñada para conducir un caudal de aproximadamente 150 litros por segundo, lo cual resulta adecuado para abastecer una superficie de hasta 25 hectáreas.

Por otro lado, cuando se emplea una toma doble, la capacidad de diseño recomendada se incrementa a 300 litros por segundo, permitiendo así el riego eficiente de una superficie cercana a las 50 hectáreas.

#### a. Localización de los laterales:

El diseño y trazado del sistema de conducción secundaria debe garantizar el dominio hidráulico sobre toda el área de riego, asegurando una entrega eficiente del agua. Para lograrlo, se recomienda que las tomas a nivel de parcela o granja se ubiquen con una elevación mínima de 30 centímetros por encima del nivel del terreno que será irrigado, facilitando así el flujo gravitacional.

La ubicación de dichas tomas puede determinarse atendiendo a distintos criterios, tales como:

- La conformación del relieve natural (topografía).
- Un patrón regular preestablecido, como una cuadrícula.
- La delimitación legal o física de las propiedades (linderos).
- Una combinación estratégica de los criterios anteriores, adaptada a las condiciones específicas del proyecto.

**b. Capacidades recomendadas de los canales laterales:**

En los tramos finales del canal secundario, se requiere un incremento en la capacidad de conducción, ya que en esta zona se concentran los volúmenes de agua destinados directamente a las parcelas. Esta condición es particularmente relevante en prácticas de riego que demandan mayores caudales, como los riegos por infiltración profunda o remojos, donde es necesario suministrar un caudal elevado en un periodo de tiempo relativamente corto para asegurar la eficiencia de la aplicación. **(ver cuadro adjunto).**

**Figura 16***Capacidad sugerida para los canales laterales*

Área por servir has	Concentración lts/seg/ha	Capacidad teórica l/s	Capacidad práctica l/s
10	15	150	200
50	5	250	300
100	4	400	500
200	3,25	650	750
300	2,65	800	1000
400	2,4	960	1000
500	2,2	1100	1250
600	2,08	1250	1250
700	1,96	1370	1500
800	1,84	1470	1500
900	1,74	1570	1750
1000	1,67	1670	1750
2000	1,2	2400	2500
3000	1,1	3300	3500
4000	1,07	4280	4500
5000	1,04	5200	5500

**2.2.4. Obras de Arte en Canales de Riego**

Las infraestructuras hidráulicas menores, comúnmente denominadas obras de arte, desempeñan un papel fundamental en los sistemas de riego, al facilitar el manejo eficiente y seguro del recurso hídrico. Estas obras se clasifican en dos grandes categorías: fundamentales y complementarias, cada una con funciones específicas que contribuyen a optimizar el flujo del agua dentro de un sistema integral, en el cual los canales actúan como principales conductos de transporte. Entre las obras de arte más importantes se encuentran las bocatomas, encargadas de la captación del agua; los desarenadores, que eliminan sedimentos; los medidores Parshall, utilizados para cuantificar el caudal; las caídas y rápidas, que controlan la energía del flujo; las transiciones y sifones, que facilitan el paso del agua en diferentes condiciones; los lechos amortiguadores y

aliviaderos, que regulan presiones y caudales excedentes; así como las sifones, alcantarillas, derivaciones laterales, acueductos elevados y obras de bifurcación, las cuales aseguran la continuidad operativa y el reparto equitativo del caudal a lo largo del trazo.

- Optimización geométrica para la máxima eficiencia hidráulica:

Desde la mecánica de fluidos, se establece que una sección transversal opera bajo condiciones de máxima eficiencia cuando son constantes el área mojada y la pendiente longitudinal, por lo tanto, la geometría es capaz de conducir la descarga máxima. Matemáticamente, este óptimo se consigue al minimizar el perímetro mojado, reduciendo así la superficie de contacto y, por ende, la resistencia por fricción entre el fluido y las paredes del cauce.

Para secciones de geometría trapezoidal, la condición de optimización vincula el ancho de la base (b) con la profundidad del flujo (y) a través de la siguiente expresión trigonométrica:

$$b/y = 2 * \tan \frac{\theta}{2}$$

Análogamente, para conductos de sección rectangular, la relación dimensional se simplifica, estableciendo que la base debe ser equivalente al doble del tirante:

$$\text{Luego: } \frac{b}{y} = 2 \rightarrow b = 2y \quad \theta = 90^\circ \rightarrow \frac{\theta}{2} = 45^\circ \rightarrow \tan \frac{\theta}{2} = 1$$

## I. Diseño Hidráulico de Alcantarillas:

De acuerdo con Villón (2005) Son estructuras hidráulicas de cruce diseñadas para permitir el paso controlado de agua procedente de un canal o drenaje por debajo de infraestructuras tales como carreteras, caminos o incluso otros canales. Debido a su configuración, estas estructuras suelen reducir la sección transversal del cauce, provocando una acumulación temporal de agua en la entrada, así como un aumento considerable de la velocidad del flujo dentro del conducto y a la salida. Esta dinámica hidráulica debe ser cuidadosamente considerada en el diseño para evitar problemas como erosión, sedimentación o daños estructurales.

El éxito en el diseño hidráulico radica en la capacidad de la estructura para evacuar un caudal determinado de forma eficiente y económica, respetando estrictamente los límites establecidos para la elevación del nivel del agua y la velocidad del flujo, de modo que se garantice la seguridad y funcionalidad del sistema. Una vez definidos los parámetros esenciales, como la altura y el caudal máximo, el objetivo primordial es optimizar el diseño, seleccionando la alcantarilla que cumpla con los requerimientos técnicos utilizando la sección transversal más pequeña posible, lo que permite minimizar costos de construcción y mantenimiento sin comprometer la operatividad. (Villón, 2005).

Las alcantarillas pueden presentar secciones transversales de forma circular o en configuraciones tipo marco, tales como cuadradas o rectangulares, adaptándose a las condiciones específicas del proyecto. Estas estructuras pueden transportar el agua tanto completamente llenas como parcialmente llenas, dependiendo de diversos factores, entre los que destacan el diámetro, la longitud del conducto, la rugosidad de su superficie interna y, especialmente, los niveles hidráulicos en las entradas y salidas. Desde un punto de vista práctico y funcional, se clasifica basándose principalmente en las características del flujo en sus puntos de ingreso y descarga, lo cual influye directamente en su comportamiento hidráulico, eficiencia operativa y en la selección del diseño más adecuado para cada situación específica. (Villón, 2005).

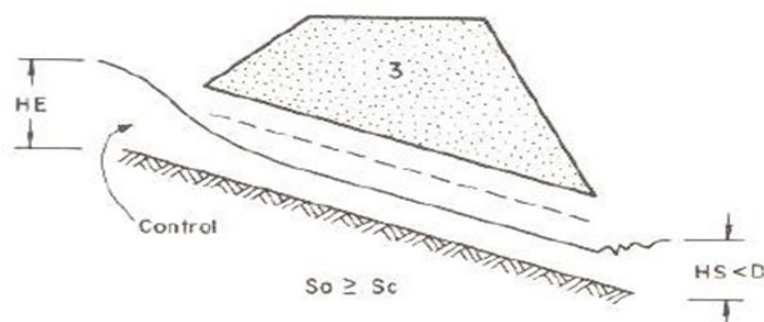
De acuerdo con las evidencias proporcionadas por las distintas investigaciones realizadas, para que la alcantarilla opere bajo un régimen de superficie libre (condición no sumergida) es imperativo que la carga hidráulica en la sección de acceso se mantenga inferior al umbral de diseño  $H$ . Este parámetro límite oscila típicamente entre  $1.2d$  y  $1.5d$ , donde la variable  $d$  corresponde a la dimensión vertical interna (altura o diámetro) del conducto. (ANA, 2010).

### a) Flujo con control de entrada

El tirante crítico, cuando el flujo está controlado por la sección de entrada, se ubica precisamente en esa sección de la alcantarilla. En la zona aguas arriba de este punto crítico, se forma un remanso donde el flujo es subcrítico, mientras que aguas abajo el flujo se vuelve supercrítico. Esto implica que las condiciones presentes antes de la entrada afectan directamente el nivel del agua en dicha sección, pero los fenómenos que ocurren aguas abajo no tienen influencia sobre ese nivel. Entre los factores que condicionan el comportamiento hidráulico destacan la configuración y el tamaño de la sección transversal, la forma de la embocadura, el nivel hidráulico presente en el punto de ingreso y la altura HE, que constituye un parámetro fundamental en los cálculos.

### Figura 17

*Flujo en una alcantarilla con control de entrada*



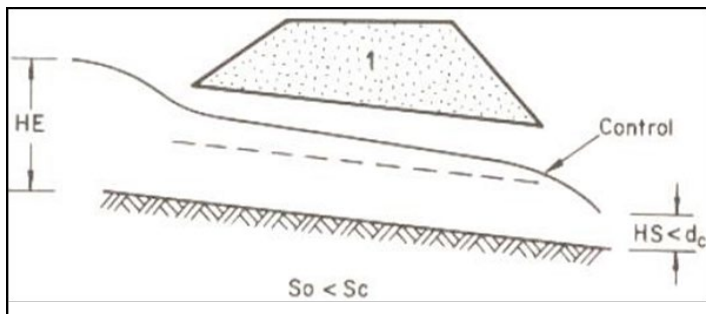
**Nota.** Obtenido de Villón (2005)

### b) Flujo con control de Salida

El tirante crítico se ubica en la sección de salida de la alcantarilla para el flujo con control de salida. Aguas arriba de esta sección aparece un remanso con una condición de flujo subcrítico, en cambio, aguas abajo de dicha sección se presenta una condición de flujo supercrítico. Todo el comportamiento hidráulico entre la salida y la entrada influye directamente en el nivel del agua en la sección de la alcantarilla. Por lo tanto, las variables que afectan este tipo de flujo incluyen no solo aquellas correspondientes al control en la entrada, sino también las condiciones propias del tramo comprendido entre las secciones de entrada y salida.

**Figura 18**

*Flujo en una alcantarilla con control de salida*



**Nota.** Carciente (1985)

**c) Criterios de diseño de alcantarillas**

El flujo a través de una alcantarilla generalmente está regulado por los siguientes factores:

- **Pendiente del lecho de la corriente:** Incluye tanto la pendiente aguas arriba como aguas abajo del lugar.
- **Pendiente del fondo de la alcantarilla:** Influye en la velocidad y el caudal del agua que pasa por la alcantarilla.
- **Altura de ahogamiento permitida en la entrada:** Se refiere a la cantidad de agua que puede acumularse en la entrada sin causar problemas.
- **Tipo de entrada:** El diseño de la entrada puede afectar significativamente el flujo del agua.
- **Rugosidad de las paredes de la alcantarilla:** Superficies más rugosas pueden incrementar la fricción y reducir la velocidad del flujo.
- **Altura del remanso en la salida:** La altura del agua a la salida también juega un papel crucial en la regulación del flujo.

El dimensionamiento de la sección transversal del conducto se rige por el criterio de velocidad media de flujo, estableciéndose un valor referencial de 1.25 m/s. Sin embargo, en escenarios particulares, es admisible ajustar este parámetro cinético para homologarlo con la velocidad del canal proyectado, permitiéndose superar el umbral mencionado únicamente bajo justificación técnica especial.

La determinación de la elevación de la solera en la transición de entrada se efectúa mediante un balance energético: se sustrae al nivel de la superficie libre el diámetro interno del tubo, sumando un margen de seguridad equivalente a 1.5 veces la carga de velocidad  $v^2/2g$  a sección llena, o alternativamente, considerando el 20% del tirante hidráulico. Adicionalmente, es requisito que la pendiente longitudinal de la estructura sea congruente con la del canal adyacente. En lo referente a la protección estructural, se estipula una cobertura mínima de material de relleno sobre la clave del arco: 0.60 m para vías de red parcelaria y 0.90 m para intersecciones con carreteras de primer orden (ej. Panamericana). Respecto a la geometría de los terraplenes de acceso, se establece una relación de talud máxima de 1.5H:1V para garantizar la estabilidad geotécnica.

Es fundamental determinar la necesidad de collarines en la alcantarilla. Generalmente, las alcantarillas operan con nivel de agua libre, lo que significa que mojan toda su sección durante periodos de caudales máximos.

Las pérdidas de energía máximas pueden ser calculadas según la fórmula:

$$Perd. = (Pe + Pf + Ps) \frac{Va^2}{2g}$$

Donde los coeficientes de pérdida pueden ser determinadas según lo explicado anteriormente:

Pe = Pérdidas por entrada

Ps = Pérdidas por salida

Pf = Pérdidas por fricción en el tubo

Va = Velocidad en la alcantarilla

El factor "f" de las pérdidas por fricción, se puede calcular mediante el diagrama de Moody o por el método que más se crea conveniente.

#### d) Tipos de Alcantarillas por su Capacidad

##### **1. Alcantarilla de un tubo**

Para caudales iguales o menores a 1.2 m<sup>3</sup>/seg

$$Q_{\text{máx}} = D_i^2 \left( \frac{m^3}{\text{seg}} \right)$$

Longitud de Transiciones:  $LP \geq 4 D_i$

No hay necesidad de protección durante la transición de entrada, pero si hay protección en la transición de salida con 0.20 m de espesor de capa.

- Longitud de protección  $LP \geq 3 D_i$
- Diámetro interno mínimo  $D_i = 0.51$

## 2. Diseño de alcantarilla de doble tubo

Esta estructura es aplicable para flujos de agua que oscilan entre 0.5 m<sup>3</sup>/s y 2.2 m<sup>3</sup>/s.

$$Q_{\text{máx}} = D_i^2 \left( \frac{m^3}{\text{seg}} \right)$$

La extensión de las zonas de transición ( $L_t$ ) debe ser igual o superior a 5 veces el diámetro interno ( $L_t \geq 5 D_i$ )

Las transiciones para entrar y salir cuentan con una defensa de enrocado. El recubrimiento de enrocado presenta un espesor de 0,25 m, en tanto que la distancia medida desde la plantilla del canal hasta la superficie alcanza aproximadamente 1,20 m.

- Longitud de protección en la entrada, la protección debe cubrir una distancia mínima de 4 veces el diámetro ( $L_p \geq 4 D_i$ )
- Longitud de protección en la salida, la cobertura mínima aumenta a 5 veces el diámetro ( $L_p \geq 5 D_i$ )
- Diámetro interno no debe ser inferior a 0.51 m.

### 3. Diseño de alcantarilla de dos ojos

Recomendada para volúmenes hídricos comprendidos entre 1.5 m<sup>3</sup>/s y 4.5m<sup>3</sup>/s

*Sección del ojo: ancho x altura D x 1.25 D*

Valor máximo permitido:

$$Q_{\text{máx}} = 3.1D^2 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right)$$

Se debe implementar protección con enrocado en ambos extremos (entrada y salida), asegurando que la capa de roca tenga un espesor de 0.25 m.

- Longitud de las transiciones, se calcula sumando el ancho del ojo más el ancho de la plantilla del canal ( $L_t = D + b$ ).
- Longitud de protección en el acceso se fija en 3 veces el diámetro ( $L_p = 3 D$ ).
- Longitud de protección en la descarga debe ser 5 veces el diámetro ( $L_p = 5 D$ ).
- El diámetro interior mínima establecida para la conducción es de  $D_i = 0.80 \text{ m}$

### 4. Diseño de alcantarilla de tres ojos

Recomendada para volúmenes hídricos comprendidos entre 2.3 m<sup>3</sup>/s y 10.5 m<sup>3</sup>/s

*Sección del ojo: ancho x altura D x 1.25 D*

$$Q_{\text{máx}} = 4.8D^2 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right)$$

Es obligatorio implementar una defensa de enrocado tanto en la zona de captación (entrada) como en la de descarga (salida). Esta capa de roca debe garantizar un espesor mínimo de 0.25 m.

- La longitud total requerida para las transiciones ( $L_t$ ) se obtiene sumando el diámetro ( $D$ ) con el ancho de la plantilla del canal ( $b$ ), ( $L_t = D + b$ ).
- Para la entrada, la protección debe extenderse una distancia igual o mayor a 3 veces el diámetro ( $L_p \geq 3 D$ ).
- Para la salida, la extensión debe ser mayor, cubriendo al menos 5 veces el diámetro ( $L_p \geq 5 D$ )
- El diámetro interior no puede ser inferior a 0.80 m

### e) Principios que gobiernan la colocación de las Alcantarillas

Por colocación de una alcantarilla se entiende el alineamiento y la pendiente del conducto con respecto al camino y a la corriente de agua. Es fundamental situar la alcantarilla de forma correcta, ya que esto influye en el rendimiento del conducto, su mantenimiento y la posibilidad de erosión o deslizamiento en la vía. Asimismo, cada instalación representa un desafío único.

#### - Alineamiento del flujo:

El objetivo primordial es la continuidad: el agua debe entrar y salir siguiendo una trayectoria rectilínea.

Consecuencias de los desvíos: Cualquier modificación abrupta en la dirección del flujo (ya sea en la boca de entrada o de salida) reduce drásticamente la velocidad del agua. Hidráulicamente, esto es ineficiente porque obligaría a diseñar conductos de mayor diámetro para compensar.

Estabilidad del cauce: Es imperativo asegurar que el curso del agua no cambie su ruta cerca de los accesos de la alcantarilla. Si esto ocurre, se generan remansos o deslaves peligrosos.

Mitigación: Para neutralizar la erosión y evitar cambios en la dirección del flujo, se recomienda encarecidamente el uso de secciones terminales (cabezales) o revestimientos sólidos (piedra o concreto).

#### - Pendiente del conducto:

La inclinación ideal no es ni la más plana ni la más pronunciada, sino un punto de equilibrio funcional.

Velocidades superiores de 4.40m/seg provocan erosión dañina aguas abajo para un concreto  $F'c=140 \text{ Kg/cm}^2$  si no se protege la salida.

Se sugiere un ángulo de inclinación de 1 a 2% para garantizar que la pendiente sea igual o superior a la crítica, siempre que esto no cause daños. En términos generales, para prevenir la sedimentación, se recomienda una inclinación mínima del 0.5% ( $S_o=5\%$ ). La costumbre común es ajustar la inclinación del fondo de la

alcantarilla para que coincida con la dirección del flujo. No obstante, se autorizan variaciones de este principio cuando sean ventajosas.

- Longitud de las alcantarillas

Depende de múltiples factores. El ancho de la carretera, la altura del terraplén, los taludes, la pendiente y la oblicuidad son factores determinantes, además del tipo de extremos que tiene la alcantarilla, ya sean terminales, muros de cabeceras, extremos biselados, desagüe en pozo colectivo o vertedero.

Es fundamental que una alcantarilla tenga suficiente longitud para que sus extremos no queden taponados por sedimentos ni por la expansión del terraplén, ya que ello reduciría la eficacia de la misma y aumentaría los costes de conservación. Por otra parte, la alcantarilla deberá evitar el hecho de que sus extremos queden expuestos a la acción de las fuerzas que surgen por dicha exposición.

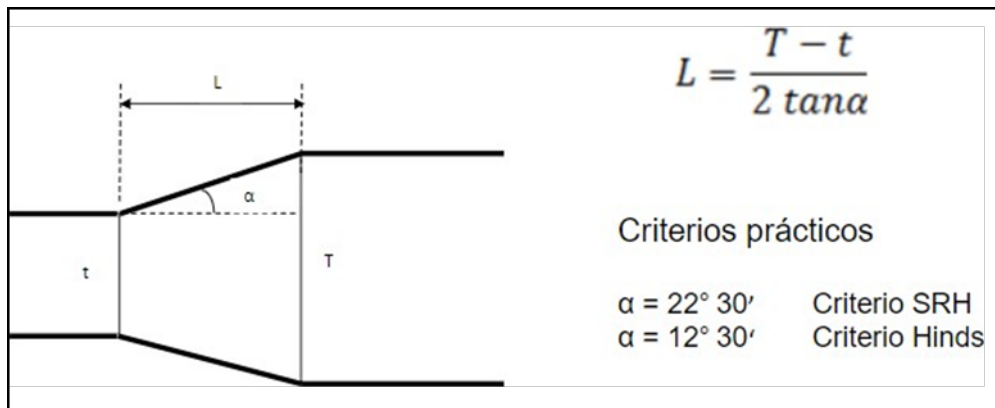
La estrategia más precisa para definir la extensión requerida de la alcantarilla consiste en trazar un perfil de la sección transversal del terraplén superpuesto al perfil del lecho del cauce.

*f) Análisis Hidráulico de las estructuras de transición*

Se definen como modificaciones en la geometría, afectando ya sea el alineamiento horizontal o el perfil vertical del canal. Estos ocurren tanto en condiciones subcríticas como en supercríticas, lo que influye en el aumento del nivel en este segmento, el cual debe ser considerado. Con el fin de garantizar la continuidad del flujo en el canal, se ha decidido crear transiciones entre la sección habitual del canal y la entrada a las alcantarillas, las cuales se conocen como transición de entrada y transición de salida. Las transiciones pueden presentarse de manera alabeada, recta u oblicua.

**Figura 19**

*Sección transversal típica de una alcantarilla.*



**Nota.** Hidráulica de Canales (Rocha, 1996)

**Figura 20**

*Criterios para la elección del diámetro de tuberías*

Transición de tierra $v_{m\acute{a}x} = 1.06$ m/s	Transición concreto $v_{m\acute{a}x} = 1.52$ m/s	Tuberías				
		Caudal ( $m^3/s$ )	Caudal ( $m^3/s$ )	Diámetro (pulg)	Diámetro (cm)	Área ( $m^2$ )
0 - 0.076	0 - 0.110			12	30.48	0.073
0.077 - 0.112	0.111 - 0.173			15	38.10	0.114
0.123 - 0.176	0.174 - 0.249			18	45.72	0.164
0.177 - 0.238	0.250 - 0.340			21	53.34	0.223
0.239 - 0.311	0.341 - 0.445			24	60.96	0.292
0.312 - 0.393	0.446 - 0.564			27	68.58	0.369
0.394 - 0.487	0.565 - 0.694			30	76.20	0.456
0.488 - 0.589	0.695 - 0.841			33	83.82	0.552
0.590 - 0.699	0.842 - 1.000			36	91.44	0.656
0.700 - 0.821	1.001 - 1.175			39	99.06	0.771
0.822 - 0.954	1.176 - 1.362			42	106.68	0.894
0.955 - 1.096	1.363 - 1.563			45	114.30	1.026
1.097 - 1.246	1.564 - 1.778			48	121.92	1.167
1.247 - 1.407	1.779 - 2.008			51	129.54	1.318
1.408 - 1.578	2.009 - 2.251			54	137.16	1.478
1.579 - 1.756	2.252 - 2.509			57	144.78	1.646
1.757 - 1.946	2.510 - 2.781			60	152.40	1.824
1.947 - 2.146				63	160.02	2.011
2.147 - 2.356				66	167.64	2.207
2.357 - 2.574				69	175.26	2.412
2.575 - 2.803				72	182.88	2.626

g) Procedimiento de cálculo

1. Calcular las dimensiones del canal, es decir definir sus dimensiones y parámetros hidráulicos.
2. Calcular las dimensiones de la alcantarilla, para esto, con el caudal conocido, usando la tabla 9.1, determinar el diámetro de la alcantarilla, recordar que para una transición de tierra elegir  $v = 1.06$  m/s y para una transición de concreto elegir  $v = 1.52$  m/s.
3. Calcular el área  $A$  con el diámetro elegido.

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

4. Para calcular la velocidad en el conducto utilizando el caudal dado y el área calculada, puedes aplicar la ecuación de continuidad. La ecuación de continuidad se expresa como:

$$V = \frac{Q}{A}$$

5. Calcular la carga de la velocidad:

$$hv = \frac{V^2}{2g}$$

6. Calcular la elevación del nivel de agua a la entrada de la alcantarilla:

$$NAEA = \text{Cota A} + y$$

Donde:

- NAEA: elevación del nivel de agua en el canal, a la entrada de la alcantarilla
- Cota A: cota de fondo del canal antes de la transición
- Y: tirante en el canal

7. Calcular cotas:

- Cota B:  $NAEA - 1.5 hv - D$
- Cota F:  $\text{Cota B} + D + \text{cobertura}$
- Cota E:  $\text{Cota A} + H$

Donde:

- Cota B: elevación del fondo de la tubería al inicio de la alcantarilla
- Cota F: elevación de la carretera, o fondo del canal a atravesar
- Cota E: elevación del ancho de corona del canal
- H: profundidad del canal (incluye bordo libre)
- Cobertura: profundidad de cobertura de la alcantarilla.

8. Calcular la longitud total de la alcantarilla:

- $L: 2 \times Z \times (Cota F - Cota E) + \text{ancho del camino}$

Donde:

- Z talud del camino
- Esta longitud se redondea de acuerdo con un múltiplo de la longitud de tuberías que existen en el mercado.

9. Calcular caída en la tubería:

$$\Delta Z = L S_o$$

- $\Delta Z$ : diferencia de cotas, al inicio y al final de la alcantarilla.
- L: longitud de tubería
- $S_o$ : pendientes de la tubería
- $S_o \text{ min} = 0.0005$

10. Calcular cota C:

- Cota C:  $Cota B - \Delta Z$

Donde:

- Cota C: elevación del fondo al final de la alcantarilla.

11. Calcular la pendiente de la línea de energía:

$$S_e = \left\{ \frac{vn}{R^{2/3}} \right\}^2$$

12. Calcular hfe:

$$h_{fe} = L S_e$$

13. Calcular las pérdidas asumidas  $h_{T1}$ , usando la ecuación 9.1:

-  $h_{T1}: 1.5h_v + h_{fe}$

14. Calcular el nivel del agua a la salida de la alcantarilla, NASA:

-  $NASA: NAEA - h_{T1}$

15. Calcular cota en D:

-  $Cota D: NASA - Y$

Donde:

-  $Cota D$ : elevación del fondo del canal después de la alcantarilla

-  $y$ : tirante en el canal

16. Calcular las longitudes de las transiciones:

-  $L1: 3D$  o 5" mín

-  $L2: 4D$  o 5" mín

Se puede utilizar también la ecuación de Hinds:

$$L = \frac{T - t}{2 \operatorname{tg} 22.5^\circ}$$

17. Calcular el talud de la transición:

$$Z = \frac{L}{\operatorname{Elev.} A - \operatorname{Elev.} B}$$

Verificar que sea menor que el talud 4:1, es decir  $Z \geq 4$

18. Calcular las pérdidas reales  $h_{t2}$ , usando la ecuación:

$$h_{t2} = Q^2 \frac{0.0828(1 + k_e)}{D^4} + \frac{10.2907n^2 L}{D^{16/3}}$$

Donde:

$h_{t2}$ : carga en m

$k_e$ : coeficiente de pérdida en la entrada

$D$ : diametro de la tubería en m

*n: coeficiente de rugosidad*

*L: longitud de la alcantarilla en m*

*Q: caudal en m<sup>3</sup>/s*

19. Verificar que  $h_{t2} \leq h_{t1}$

## **II. DISEÑO DE CAÍDAS:**

Las caídas son estructuras diseñadas para superar desniveles pronunciados en la pendiente del canal. Estas sirven para conectar dos tramos, uno superior y otro inferior, mediante un plano vertical que permite que el agua caiga libremente de un nivel a otro. Este plano vertical está formado por un muro, lo que permite que el agua descienda sin obstáculos al tramo inferior.

El propósito de una caída en un canal es trasladar el agua desde una elevación más alta a una más baja y disipar la energía creada por esta diferencia de altura. Se utiliza una caída para reducir la pendiente del canal cuando es necesario.

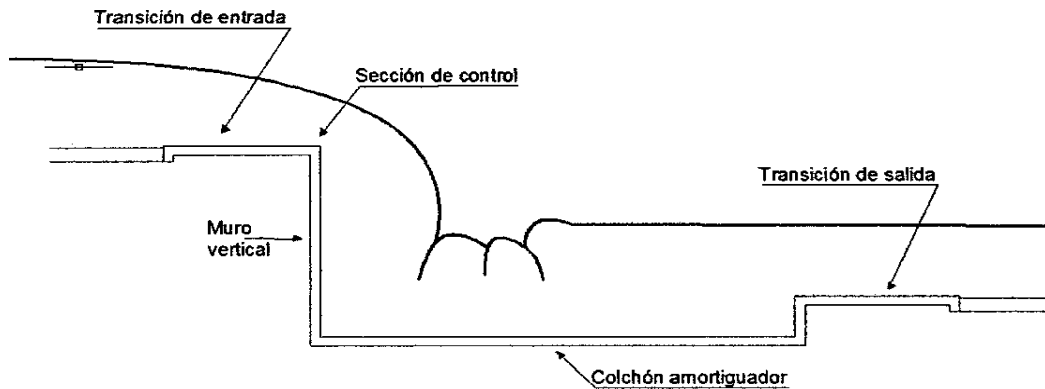
Existen varios tipos de caídas verticales, las cuales no tienen limitaciones en cuanto al caudal y la altura de la caída. Sin embargo, es importante considerar los siguientes aspectos:

- Para desniveles  $\leq$  a 4 m., será una caída vertical o inclinada, y para desniveles  $>$  a 4 m., la estructura se denominará rápida.
- Las caídas verticales tienen como máximo un desnivel de 1 m., en casos excepcionales se construirán para desniveles mayores.
- Cuando el desnivel es  $\leq$  0.30 m, y el caudal unitario  $\leq$  300 lt/s x m. ancho de canal, no es necesario poza de disipación.

## 1) Elementos de una caída

### Figura 21

#### *Elementos de una caída vertical sin obstrucciones*



- Transición de entrada: une por medio de un estrechamiento progresivo la sección del canal superior con la sección de control.
- Sección de control: es la sección correspondiente al punto donde se inicia la caída, cercano a este punto se presentan las condiciones críticas.
- Caída: la cual es de sección rectangular y puede ser vertical o inclinada.
- Poza o colchón amortiguador: es de sección rectangular, siendo su función la de absorber la energía cinética del agua al pie de la caída.
- Transición de salida: une la poza de disipación con el canal aguas abajo.

## 2) Procedimiento para el diseño de una caída sin obstáculos

### a. *Diseño del canal, aguas arriba y aguas debajo de la caída:*

Es necesario contemplar los aspectos prácticos involucrados en el proceso de diseño:

- Estabilidad Estructural: Asegurar que las estructuras de las caídas sean lo suficientemente resistentes para soportar la fuerza del agua y evitar erosiones o daños que afecten el funcionamiento y la durabilidad.
- Control de Erosión: Implementar medidas para minimizar la erosión en la base de la caída y en las paredes del canal, utilizando materiales resistentes y técnicas adecuadas.

- Eficiencia Hidráulica: Diseñar la caída para maximizar la eficiencia en la disipación de energía y el control del flujo de agua, evitando turbulencias excesivas.
- Seguridad y Mantenimiento: Asegurar que las caídas sean accesibles para el mantenimiento y que cuenten con elementos de seguridad para prevenir accidentes.

b. *Cálculo del ancho de la caída y el tirante en la sección de control:*

- Se deben considerar las condiciones críticas del flujo. A continuación, se presentan las ecuaciones relevantes para esta situación:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$y_c = \frac{2}{3} E_{min}$$

$$b = \sqrt{\frac{27Q^2}{8E_{min}^2 g}}$$

*Donde:*

*y: nivel de agua crítico (tirante)*

*q: flujo unitario*

*g: aceleración de la gravedad*

*Q: volumen total de flujo (caudal)*

Hay otras fórmulas basadas en observaciones empíricas:

$$b = 0.765 * Q^{\frac{2}{5}}$$

$$b = \frac{18.78 * \sqrt{Q}}{10.11 + \sqrt{Q}}$$

c. Diseño de la transición de entrada y salida:

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2 * \text{tag}(22.5^\circ)}$$

Dónde:

*T1: espejo de agua en el canal*

*T2: ancho de solera en la caída*

d. Cálculo del número de la caída vertical, utilizando la siguiente relación:

$$D = \left(\frac{y_c}{h}\right)^3 = \frac{q^2}{g * h^3}$$

Donde:

*D: número de caída o de salto*

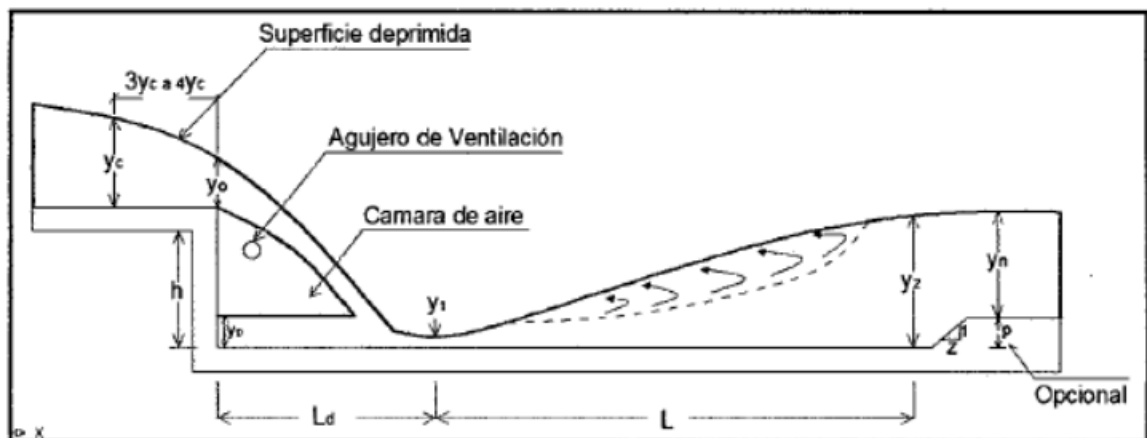
*Yc: tirante crítico de la sección de control*

*h: desnivel*

*q: caudal unitario*

## Figura 22

Conducta del flujo en una caída vertical sin elementos obstructivos



e. Cálculo de los parámetros de la caída vertical, según Rand (1955), se calculan con un error inferior al 5%, con las siguientes ecuaciones:

$$y_1 = 0.54hD^{0.425} \qquad L_d = 4.30hD^{0.27}$$

$$y_2 = 1.66hD^{0.27} \qquad y_p = hD^{0.22}$$

Donde:

*L<sub>d</sub>*: Longitud del pie de caída hasta el punto de impacto.

*Y<sub>1</sub>*: tirante conjugado menor

*Y<sub>2</sub>*: tirante conjugado mayor

*y<sub>p</sub>*: altura de depósito de agua

f. Cálculo de la longitud del resalto, se puede calcular con la fórmula de Sieñchin:

$$L = 5(y_2 - y_1)$$

g. Cálculo la longitud total del colchón, la cual será:

$$L_t = L_d + L$$

h. Cálculo de la profundidad del colchón:

$$P = 1.15(y_2 - y_n) \dots (2.55)$$

Otra consideración práctica:

$$P = \frac{y_2}{6} \dots (2.56)$$

### III. DISEÑO DE TOMA LATERAL

Las tomas laterales en canales son estructuras hidráulicas cruciales en la gestión de recursos hídricos. Su función principal es desviar una parte del caudal del canal principal hacia un canal secundario, asegurando un suministro controlado de agua para riego, consumo humano o industrial.

Además de su función hidráulica principal, estas estructuras pueden emplearse para la medición del caudal que circula a través de ellas, permitiendo controlar y registrar el volumen de agua derivado hacia las áreas de distribución. Para alcanzar una mayor precisión en la estimación del caudal, las tomas se diseñan comúnmente con un sistema de doble compuerta.

La primera compuerta, denominada compuerta de orificio, tiene la función de controlar el paso inicial del flujo y generar una carga estable aguas arriba. La segunda compuerta, conocida como compuerta de toma, regula el ingreso efectivo del caudal hacia la conducción o canal principal.

Entre ambas se dispone una cámara de regulación, la cual actúa como zona de amortiguamiento hidráulico, permitiendo disipar turbulencias, estabilizar el nivel de agua y garantizar condiciones uniformes para una medición más confiable del caudal derivado.

En casos donde los caudales son reducidos y se busca optimizar los costos de implementación, es común emplear tomas con una sola compuerta. Aunque este diseño no permite una medición exacta del caudal, ofrece una estimación suficientemente aproximada para fines operativos.

#### Función y Objetivos

El diseño de una toma lateral se centra en tres objetivos principales:

- Captación de Caudal: Garantizar la derivación eficiente del caudal necesario desde el canal principal.
- Control de Sedimentos: Minimizar la entrada de sedimentos y sólidos al canal secundario.
- Protección y Mantenimiento: Facilitar el acceso para labores de mantenimiento y asegurar la durabilidad de la estructura.

#### Componentes de la Toma Lateral

- Estructura de Entrada: Generalmente incluye una compuerta que regula el flujo de agua hacia la toma lateral.
- Canal de Derivación: Conduce el agua desde la estructura de entrada hacia el canal secundario.
- Rejillas y Barreras: Estas estructuras ayudan a filtrar sedimentos y desechos.

#### Criterios de Diseño

- Dimensionamiento del Canal de Derivación: Basado en el caudal requerido y la capacidad del canal principal.
- Selección del Material: Materiales resistentes a la erosión y al desgaste.
- Medidas de Seguridad: Incluir sistemas de bloqueo y señalización para prevenir accidentes.

#### Procedimientos de Diseño

- Análisis del Caudal: Determinar el caudal máximo y mínimo a derivar.
- Cálculos Hidráulicos: Uso de fórmulas de flujo para dimensionar la toma lateral y el canal de derivación.
- Simulación y Modelado: Utilización de software para modelar el comportamiento del flujo y prever posibles problemas.

#### Consideraciones Ambientales

- Impacto en Ecosistemas Locales: Evaluar y mitigar los efectos sobre la fauna y flora locales.
- Gestión de Sedimentos: Implementar métodos para evitar la acumulación de sedimentos en el canal secundario.

#### Mantenimiento y Operación

- Limpieza Regular: Retiro periódico de sedimentos y desechos.
- Inspección Estructural: Revisión de la integridad de la estructura y reparación de daños.

## Figura 23

### Mantenimiento y operación

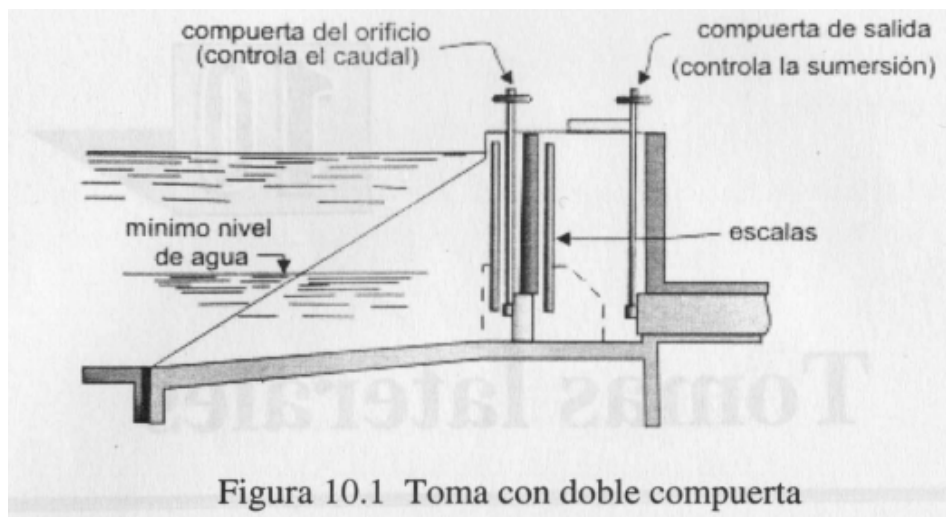


Figura 10.1 Toma con doble compuerta

**Nota.** Obtenido de Villón (2005)

### Consideraciones hidráulicas

En una red de riego, especialmente en los canales secundarios o terciarios, las tomas se instalan perpendiculares al canal alimentador, lo cual facilita la construcción de la estructura.

Generalmente, se utilizan compuertas cuadradas que se acoplan a una tubería. Las dimensiones de las compuertas son iguales al diámetro de la tubería, la cual tendrá una longitud variable dependiendo del caso específico. Por ejemplo, cuando la toma deba atravesar una carretera o cualquier otra estructura, se puede fijar una longitud de 5 m para permitir un sobreechanco de la berma del canal en el sitio de toma por razones de operación.

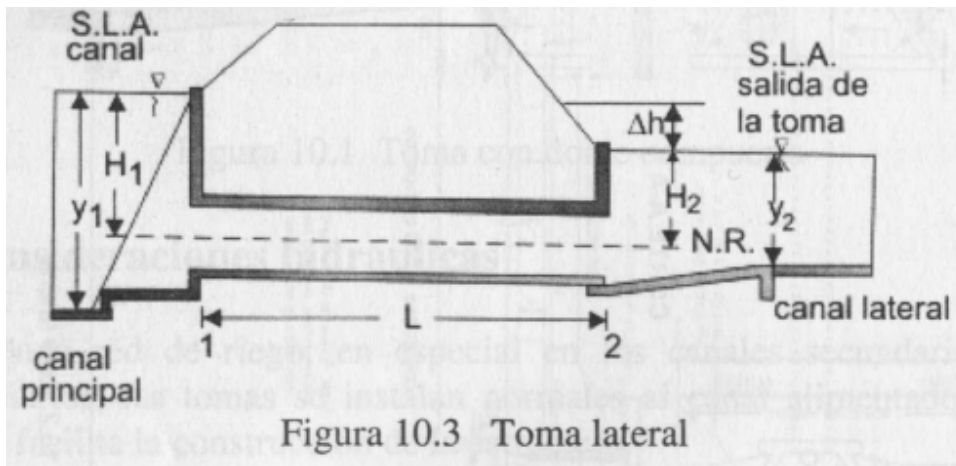
### Cálculos hidráulicos

#### 01. Ecuación de las pérdidas de carga total ( $\Delta h$ )

Aplicamos la ecuación de Bernoulli en las secciones 1 (entrada al conducto), y 2 (salida) y considerando como nivel de referencia al eje del conducto, se tiene:

## Figura 24

### Hidráulica de canales



**Nota.** VILLÓN BEJAR, Máximo, Hidráulica de canales

$$H_1 + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_{1-2}$$

Dado que la corriente en el canal circula en un sentido que es prácticamente perpendicular al flujo de entrada a la toma lateral, la componente de velocidad  $V_1$  puede considerarse insignificante ( $V_1 \approx 0$ ); en consecuencia, se obtiene que:

$$H_1 = H_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_{1-2}$$

$$H_1 - H_2 = \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_{1-2}$$

De la figura 10.3:  $\Delta h = H_1 - H_2$

$$\Delta h = \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_{1-2} \dots \dots (10.1)$$

Donde:

$\Delta h$ : Carga total

- Se entiende como la variación de nivel existente entre la lámina de agua del canal principal y la del canal lateral. Esta diferencia de alturas constituye la energía hidráulica disponible que permite el desplazamiento del caudal desde el canal principal hacia el lateral, influyendo directamente en el régimen de flujo y en el rendimiento del sistema de conducción.

$$\frac{v_2^2}{2g} : \text{Carga de velocidad en la tubería}$$

- Corresponde a la energía cinética por unidad de peso del agua en movimiento dentro de la tubería, representada como la altura equivalente asociada a la velocidad del flujo, la cual influye directamente en el comportamiento hidráulico del sistema.

$$\sum h_{1-2} : \text{sumatoria de pérdidas totales entre } p1 \text{ y } p2$$

- En el cálculo total de pérdidas es necesario incluir: la pérdida de carga por salida ( $h_s$ ), la pérdida de carga por entrada ( $h_e$ ) y la pérdida de carga por fricción ( $h_f$ ), considerándose esta última como insignificante, es decir, se tiene:

$$\sum h_{1-2} = h_e + h_f \dots \dots (10.2)$$

a. Las pérdidas por entrada se calculan con la siguiente relación:

$$h_e = K_e \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (10.3)$$

Donde:

$h_e$ : pérdidas por entrada

$v_2$ : velocidad en la tubería

$K_e$ : coeficiente que depende de la forma de entrada. (Tabla 10.1)

**Figura 25**

Valores de  $K_e$

Forma de entrada	$K_e$
Compuerta en pared delgada-contracción suprimida en los lados y en el fondo	1.00
Tubo entrante	0.78
Entrada con arista en ángulo recto	0.50
Entrada con arista ligeramente redondeada	0.23
Entrada con arista completamente redondeada $r/D = 0.15$	0.10
Entrada abocinada circular	0.004

b. Para estimar las pérdidas de carga ocasionadas por fricción, se emplea la siguiente ecuación:

$$H_f = S_E L$$

Donde:

$H_f$ : pérdida de carga por fricción (m)

$L$ : longitud total de la tubería (m)

$S_E$ : pendiente de la línea de energía (m/m)

Según la formulación desarrollada por Manning, la ecuación se expresa como:

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

Siendo:

$$S_e = \left\{ \frac{vn}{R^{2/3}} \right\}^2$$

Para el caso de una tubería que funciona bajo condiciones de flujo completamente lleno, se establece lo siguiente:

$$R = \frac{D}{4}$$

Después, la pendiente de la línea de energía se manifiesta:

$$S = \left\{ \frac{vn}{\frac{D^{2/3}}{4}} \right\}^2 = \frac{4^{4/3} V^2 n^2}{D^{4/3}}$$

Por lo tanto, las pérdidas por fricción, será:

$$hf = \frac{4^{4/3} V^2 n^2 L}{D^{4/3}}$$

Organizando los factores en forma adecuada, se obtiene:

$$hf = \frac{4^{4/3} n^2 L}{D^{4/3}} 2g \frac{V^2}{2g}$$

$$hf = \frac{124.579^2 n^2 L V^2}{D^{1.333}} \frac{1}{2g} \dots \dots \dots (10.4)$$

Sustituyendo (10.3) y (10.4) en (10.2), resulta:

$$\sum h_{1-2} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{124.579 n^2 L v_2^2}{D^{1.333}} \frac{1}{2g} \dots \dots \dots (10.5)$$

Reemplazando (10.5) en (10.1), se obtiene:

$$\Delta h = \frac{v_2^2}{2g} + Ke \frac{v_2^2}{2g} + \frac{124.579 n^2 L v_2^2}{D^{1.333}} \frac{1}{2g}$$

$$\Delta h = 1 + Ke + \frac{124.579 n^2 L v_2^2}{D^{1.333}} \frac{1}{2g}$$

Haciendo:  $\frac{v_2^2}{2g} = hv$

Al considerar que la conducción se realiza mediante una tubería de concreto, se adopta un coeficiente de rugosidad de Manning de  $n=0.015$ . Asimismo, la entrada presenta una arista en ángulo recto, lo que implica un coeficiente de pérdida localizada  $K_e= 0.5$ . Con estos parámetros, se procede a determinar la carga total necesaria para garantizar el correcto funcionamiento hidráulico del sistema.

$$\Delta h = \left\{ 1 + 0.5 + \frac{124.579 \times 0.015^2 L}{D^{1.333}} \right\} h_v$$

$$\Delta h = \left\{ 1 + 0.028 + \frac{L}{D^{1.333}} \right\} h_v \dots \dots (10.6)$$

que es la expresión para la carga total.

### 02. Velocidad en el conducto ( $v$ ).

Según las recomendaciones del *Bureau of Reclamation (USBR)*, la velocidad del flujo en conductos cerrados no debe exceder los 1.07 m/s, con el objetivo de evitar fenómenos adversos, como la erosión interna del material, pérdidas de carga elevadas o ruidos hidráulicos, y garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de conducción.

### 03. Diámetro ( $D$ ) y área ( $A$ ) del conducto.

Aplicando la ecuación de continuidad:

$$Q = VA$$

$$A = \frac{Q}{v} \dots (10.7)$$

De otro lado

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \qquad D = \left[ \frac{4A^{1/2}}{\pi} \right] \dots \dots (10.8)$$

Para el desarrollo de los cálculos, partiendo del caudal ( $Q$ ) e infiriendo  $v = 1.07$  m/s, de la ecuación (10.7) se determina  $A$ , con la ecuación (10.8) se obtiene el diámetro ( $D$ ), el cual se ajusta al valor comercial inmediatamente superior disponible según los catálogos de los fabricantes. Con dicho diámetro se vuelve

a calcular el área efectiva, a fin de garantizar los parámetros hidráulicos del diseño.

#### 04. Evaluación de la Inmersión en el Ingreso (Sme)

Para determinar el nivel de sumergencia o ahogamiento necesario en la boca de entrada, es viable optar por una de las dos metodologías de cálculo que se presentan a continuación:

$$Sme: D \dots \dots \dots (10.9)$$

$$Sme: 1.78hv + 0.0762 \dots \dots \dots (10.10)$$

#### 05. Nivel de Inmersión en la Descarga (SmS)

$$SmS: 0.0762$$

#### 06. Dimensionamiento Transversal de la Estructura de Captación (B)

$$B: D + 0.305$$

#### 07. Cálculo de la carga hidráulica (h)

El comportamiento del nivel de agua dentro de la caja se analiza asumiendo que el flujo actúa bajo los principios hidráulicos de un vertedero de pared aguda (o delgada).  $Q = 1.84Bh^{3/2}$

$$h = \left\{ \frac{Q}{1.84 B} \right\}^{2/3}$$

#### Criterios y Procedimiento de Diseño de Tomas Laterales

El diseño de una toma lateral requiere el dimensionamiento preciso de la tubería, incluyendo el cálculo de su diámetro y longitud, así como la determinación de la velocidad de flujo dentro del conducto. Asimismo, es necesario definir las dimensiones geométricas de la transición de salida, junto con la pendiente o inclinación correspondiente y las cotas de fondo asociadas, de manera que se asegure una unión hidráulicamente eficiente con la red principal de conducción.

## Figura 26.

### Elementos de una toma lateral

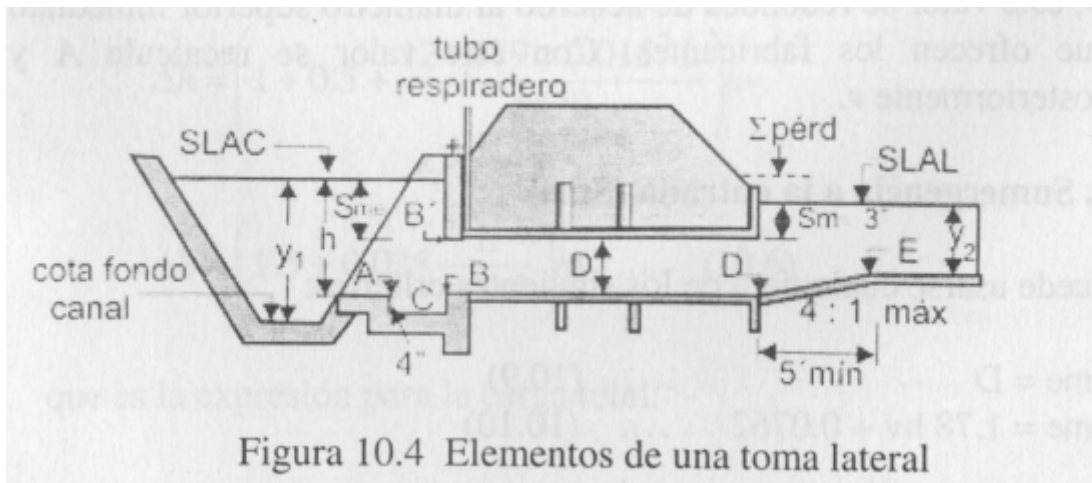


Figura 10.4 Elementos de una toma lateral

El U.S. Bureau of Reclamation nos brinda recomendaciones para el diseño, del cual se obtiene el siguiente proceso de cálculo.

1. Aceptar la recomendación para la velocidad del conducto  $V = 1.07 \text{ m/s}$  para iniciar cálculos.
2. Determinar el área  $A: Q/V$
3. Determinar el diámetro de la tubería.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad D = \left[ \frac{4A^{1/2}}{\pi} \right]$$

4. Redondear el diámetro a uno inmediatamente superior que esté disponible en el mercado.
5. Recalcular el área.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

6. Recalcular la velocidad  $V: Q/A$

7. Determinar la carga de velocidad en la tubería

$$hv = \frac{v^2}{2g}$$

8. Determinar la carga total  $\Delta h$

$$\Delta h = \left\{ 1.5 + 0.028 + \frac{L}{D^{1.333}} \right\} hv$$

9. Determinar la sumergencia a la entrada (Sme).

$$Sme = 1.78hv + 0.25 \text{ pies} \dots\dots\dots (10.9)$$

$$Sme = 1.78 hv + 0.0762 \text{ m} \dots\dots\dots (10.10)$$

10. Determinar la sumergencia de la salida (SmS).

$$SmS = 0.0762$$

11. Determinar los lados de la caja de entrada.

$$B = D + 0.305 (D + 1')$$

12. Determinar la carga en la caja.

$$Q = 1.84Bh^{3/2}$$

$$h = \left\{ \frac{Q}{1.84 B} \right\}^{2/3}$$

Donde B, es la longitud de la cresta

13. Determinar cotas

SLAC: Cota Fondo del canal + y1

Cota A: SLAC – h

Cota B: SLAC – Sme – D

Cota B'': COTA B – 4 pulg. = cota B – 0.1016 m

SLAL: SLAC -  $\Delta h$

Cota D= SLAL – SmS – D

Cota E= SLAL – Y2

14. Determinar la longitud de salida

Lmín: 1.525 m

De acuerdo con Hinds

$$L = \frac{T - D}{2 Tg 22.5^\circ}$$

Donde: T= espejo de agua en el canal

D= diámetro de la tubería

15. Determinar el talud de la transición de salida.

Talud máximo 4: 1A

### **2.3. Definición de términos**

A partir del análisis de diversas fuentes bibliográficas y fundamentos teóricos, se recopilan definiciones, conceptos y enfoques que permiten delimitar el alcance de la investigación y facilitar la interpretación de los resultados y conclusiones obtenidos.

- a. *Canal*: Se define como una estructura hidráulica destinada al transporte de agua mediante la acción de la gravedad. Su funcionamiento se desarrolla a superficie libre, lo que implica que la presión atmosférica actúe directamente sobre el líquido. Debido a ello, no trabaja bajo presión interna ni presenta el comportamiento propio de una tubería o conducción cerrada. (Estela y otros, 2022).
  
- b. *Canal lateral*: Se define como una infraestructura menor de riego, estos se van subdividiendo de forma jerárquica de acuerdo a las órdenes existentes en un sistema de riego y comenzando en laterales de primer orden que surgen de un canal de derivación, hasta llegar a laterales de segundo orden, continuando

así sucesivamente.(Dirección de Normatividad de Infraestructura Hidráulica y Riego - DNIHR, 2023)

- c. *Infraestructura Hidráulica*: Hace referencia al conjunto de infraestructuras que se proponen para la captación, regulación, distribución y abastecimiento de agua que permiten la satisfacción de las demandas de recursos hídricos para un objeto concreto y dentro de un ámbito determinado. Dicha infraestructura se clasifica en 02 tipos: Infraestructura mayor e Infraestructura menor. (Dirección de Normatividad de Infraestructura Hidráulica y Riego - DNIHR, 2023)
- d. *Junta de Usuarios de Agua*: Esta se establece sobre la base de un sistema hidráulico común, según con los criterios técnicos de la Autoridad Nacional. Asimismo, la junta de usuarios comprende las funciones siguientes (Dirección de Normatividad de Infraestructura Hidráulica y Riego - DNIHR, 2023):
- Operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.
  - Distribución de agua
  - Cobro y administración de las tarifas de agua.
- e. *Obras de arte*: Son infraestructuras hidráulicas utilizadas para conducir el agua en un sistema de riego. Entre ellas se consideran: sifones, rápidas, caídas, partidores, túneles, conductos cubiertos, acueductos, alcantarillas y canoas. (Dirección de Normatividad de Infraestructura Hidráulica y Riego - DNIHR, 2023)
- f. *Flujo en un canal*: Puede este originarse de forma natural o ser producido de obras construidas por el ser humano, según su procedencia. Los arroyos, ríos y similares es ejemplo de canales naturales, mientras que los creados por el ser humano, como los diques, canales de riego y vertederos son artificiales (Rosas y otros, 2021).

- g. **Velocidad máxima:** Se presenta en una sección del canal, variando entre el 5% y el 25% de su profundidad tirante. El movimiento circulatorio secundario, generados por la influencia de las paredes laterales, da como resultado estos valores que son aproximadamente. (Santiago & Silva, 2019).
  
- h. **Distribución de velocidades:** Dentro de un canal, la velocidad del flujo varía en toda la sección transversal debido a la influencia de la rugosidad de las paredes y el fondo, la forma de la sección, así como la viscosidad y fricción del fluido, las cuales afectan el comportamiento hidráulico (Mendoza & Aguilar, 2020).
  
- i. **Velocidad media:** Varía en función de la forma y el ancho del canal. En secciones reducidas, se halla en el medio a una altura de 0.6 veces el tirante. En secciones amplias, se recomienda dividir el ancho en partes iguales y realizar mediciones a 0.2 y 0.8 veces el tirante (Mendoza & Aguilar, 2020).
  
- j. **Velocidad mínima:** Su ubicación depende tanto de la geometría como del ancho del canal. En secciones relativamente estrechas, suele localizarse aproximadamente a una profundidad equivalente al 60% del tirante. En secciones más anchas, se sugiere dividir el canal en franjas de igual dimensión y efectuar las mediciones a profundidades de 0.2 y 0.8 veces el tirante.(Mendoza & Aguilar, 2020).
  
- k. **Régimen de flujo:** La clasificación del régimen de flujo se realiza mediante el número de Reynolds, el cual constituye un parámetro adimensional que distingue entre flujo laminar y turbulento. Su valor depende del equilibrio existente entre las fuerzas viscosas y fuerzas inerciales que actúan sobre el fluido, determinando así su naturaleza y comportamiento hidráulico (Serrano y otros, 2021).

- l. *Energía específica*: Corresponde a la energía por unidad de masa del fluido que circula a través de una sección del canal, considerando como referencia el fondo de este. Este concepto resulta fundamental para el análisis del flujo en canales abiertos, ya que permite establecer relaciones entre la profundidad, la velocidad y la forma de la sección (Arrógila & Betanco, 2021).
  
- m. *Flujo uniforme*: Corresponde a aquel en el que las propiedades hidráulicas del flujo como el caudal, la velocidad y la profundidad del agua, se mantienen constantes a lo largo del tramo analizado del canal, lo que implica que no ha habido cambios en la pendiente hidráulica en comparación con el canal. (Gonzalez, 2020).
  
- n. *Flujo permanente*: Se define como aquel en el que, para una sección específica del canal, las propiedades hidráulicas del fluido como el caudal, la velocidad y la profundidad del flujo permanecen inalterables a lo largo del tiempo, indicando que no existen cambios temporales en su comportamiento hidráulico (Tacle & Tacle, 2021).
  
- o. *Flujo no constante*: Se caracteriza por ser la condición inversa al flujo estable, ya que en este tipo de régimen tanto la velocidad como las demás propiedades hidráulicas experimentan variaciones a lo largo del tiempo. (Tacle & Tacle, 2021).
  
- p. *Modelación numérica*: En hidráulica, especialmente en el análisis de flujos en canales, se utiliza para simplificar cálculos a través de la dimensionalidad numérica, considerando el movimiento del fluido en el espacio. Un fluido puede clasificarse según su movimiento en unidimensional, bidimensional o tridimensional (Tacle & Tacle, 2021).
  
- q. *Pérdidas por fricción*: La pérdida por fricción es la pérdida de presión de un líquido como resultado del contacto entre el líquido en movimiento y el medio en el que se mueve (Grundfos Ecademy, 2020).

- r. *Coefficiente de Manning*: Es la resistencia que presenta el lecho y los márgenes del río al paso del agua, es un proceso esencial para comprender, modelar y calcular la velocidad del flujo en ríos y canales abiertos (Moreira y otros, 2024).

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

- Un diseño hidráulico optimizado mejorará la eficiencia de conducción en canales de riego: Once y Pampilla, Cayaltí – Zaña, Lambayeque

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- Las pérdidas por infiltración en canales no revestidos disminuyen significativamente la eficiencia de conducción
- Los criterios hidráulicos ayudaran a plasmar un adecuado diseño de canal de riego
- El diseño de obras de arte optimizará la eficiencia hidráulica.

## **2.5. Variables:**

### **2.5.1. Definición conceptual de la variable.**

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico de canales se refiere al proceso de planificación, dimensionamiento y construcción de canales abiertos para el transporte eficiente y seguro de agua. Este proceso se basa en la aplicación de principios hidráulicos y matemáticos para determinar las características óptimas del canal, que incluyen la sección transversal, la pendiente, el revestimiento y otros elementos estructurales asegurando que la infraestructura se integre de manera sostenible.

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION

La eficiencia hidráulica es una medida de la eficacia con la que un sistema de distribución de agua, como un canal o un sistema de riego, transporta el agua desde la fuente hasta el lugar de uso, minimizando las pérdidas por evaporación, filtración, fugas y desbordes. Un canal con alta eficiencia hidráulica asegura que la mayor parte del agua llegue a su destino, optimizando el uso del recurso hídrico.

## 2.5.2. Definición operacional de la variable

### VARIABLE INDEPENDIENTE (X)

DISEÑO HIDRÁULICO: se fundamenta en el análisis de diversos parámetros que permiten dimensionar adecuadamente las estructuras y componentes del sistema. Entre los principales indicadores considerados se encuentran la sección del cauce, el caudal de diseño, la velocidad del flujo y otros factores hidráulicos que aseguran el funcionamiento eficiente y seguro de la red de riego.

### VARIABLE DEPENDIENTE (Y)

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION: El proceso para valorar el mejoramiento de la eficiencia hidráulica se realizó a partir del análisis de sus principales indicadores. En el caso de la eficiencia de conducción, el cálculo se basó en la información recolectada a través de mediciones de flujo (aforos) suministrados y repartidos en los canales Once y Pampilla, abarcando desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva final de cada canal. Los resultados fueron expresados en términos porcentuales, aplicando la siguiente expresión matemática:

*Definición de variables:*

*Qd: Representa el flujo o caudal efectivamente distribuido.*

*Qr: Corresponde al flujo o caudal captado o recibido inicialmente.*

*Ec: Índice de Eficiencia de conducción.*

Observación técnica: Es importante notar que esta misma relación matemática conserva su validez si se sustituyen las variables de caudal por datos de volumen total

$$Ec(\%) = \left[ \left( \frac{Qd}{Qr} \right) \times 100 \right]$$

### 2.5.3. Operacionalización de la variable

Variables	Dimensiones	Indicadores
DISEÑO HIDRÁULICO	<ul style="list-style-type: none"><li>- Características geométricas</li><li>- Características hidráulicas</li><li>- Características estructurales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pendiente</li><li>- Caudal</li><li>- Velocidad</li><li>- Sección hidráulica</li><li>- Tirantes</li><li>- Coeficiente de Manning</li><li>- Espejo de agua</li><li>- Borde libre</li></ul>
MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION	<ul style="list-style-type: none"><li>- Propiedades de hidráulicas</li><li>- Propiedades de estructurales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Revestimiento</li><li>-Eficiencia de conducción</li><li>-Perdidas de infiltración</li><li>-Perdidas por evaporación</li><li>-Perdidas por fricción</li><li>-Caudal de entrada y salida</li></ul>

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

Tipo de investigación: La presente investigación corresponde a un estudio de tipo aplicada, ya que se emplean conocimientos teóricos previamente desarrollados con el propósito de implementar soluciones tecnológicas orientadas al cumplimiento de los objetivos planteados (Aceituno, 2020). En este sentido, se hizo uso de los principios y teorías hidráulicas, entre ellas la fórmula de Manning, la ecuación de continuidad y otras teorías asociadas al comportamiento de canales de riego y su revestimiento. Estas bases teóricas permitieron obtener resultados técnicos que contribuyen a contrastar y validar la hipótesis de la investigación.

Diseño de investigación: El diseño metodológico adoptado fue de carácter cuasiexperimental, dado que manipuló de forma intencionada una o más variables independientes con el fin de observar sus efectos sobre variables dependientes. Este tipo de diseño resulta especialmente adecuado para analizar intervenciones en contextos reales, donde el control total de las condiciones experimentales no siempre es posible. (Arias y otros, 2022). En la presente investigación, se modificó deliberadamente la variable independiente (X) diseño hidráulico, con el objetivo de evaluar su influencia sobre la variable dependiente (Y), identificada como el mejoramiento de la eficiencia de conducción. El procedimiento se realizó bajo un control limitado, propio de los estudios cuasiexperimentales.

Enfoque de investigación: El trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, siguiendo los lineamientos expuestos por Aceituno (2020), ya que se fundamenta en la recolección y el análisis de datos numéricos para describir, comprender y contrastar las preguntas de investigación y las hipótesis planteadas. Durante el desarrollo del estudio se obtuvieron datos de campo y la recolección de respuestas a través de ensayos de laboratorio, los cuales fueron analizados mediante un software e in situ. Este proceso permitió analizar los resultados de forma objetiva y comprobar las hipótesis formuladas en la investigación.

Nivel de la investigación: La investigación fue de nivel explicativo y, además, alcance explicativo, ya que se busca identificar causa efecto (Arias & Covino, 2021), Se tuvo como variable independiente: Diseño hidráulico y como variable dependiente: Mejoramiento de la eficiencia de conducción.

### **3.2. Descripción del ámbito de la investigación**

Lambayeque, ubicada estratégicamente en la costa norte del Perú, posee condiciones excepcionales para el desarrollo de la agroexportación. Sus suelos fértiles, clima favorable y abundantes recursos hídricos, como los provenientes del río Zaña y el río Chancay-Lambayeque, respaldan una agricultura diversa y productiva.

El río Zaña, cuya cuenca abarca aproximadamente 2,000 km<sup>2</sup>, es esencial para el riego de cultivos en el valle de Zaña, donde se han establecido cerca de 2,000 hectáreas destinadas a productos de agroexportación como mandarinas, arándanos y palta. Este desarrollo ha generado un impacto positivo en la economía local y en la sostenibilidad ambiental (Agencia Peruana de Noticias, 2024).

Además de los cultivos de exportación, Lambayeque destaca en la producción de alimentos básicos. Es el mayor productor de arroz en el Perú, con más de 466 mil toneladas producidas en el primer semestre de 2024. La región también ha experimentado un notable incremento en la producción de caña de azúcar, con un crecimiento del 91.9% en marzo de 2024 respecto al año anterior. Asimismo, la producción de maíz amarillo duro alcanzó 15,144 toneladas en abril de 2024, representando un aumento del 285.1% en comparación con el mismo mes de 2023. En cuanto al camote, Lambayeque registró un crecimiento del 8.86% en su producción, destacándose entre las principales regiones productoras (Redes, 2025).

Para garantizar un aprovechamiento eficiente y sostenible del agua en estas cuencas, es imprescindible implementar medidas que incluyan la modernización de la infraestructura de riego, la tecnificación del uso del agua a nivel parcelario y la organización eficiente de las juntas de usuarios. Con una gestión adecuada

del recurso hídrico, Lambayeque tiene el potencial de consolidarse como un polo agroexportador de clase mundial, competitivo y resiliente frente al cambio climático (Ministerio de Agricultura, 2008).

## **DISTRITO DE CAYALTÍ**

### Ubicación Geográfica:

El distrito de Cayaltí se sitúa en la zona sur de la provincia de Chiclayo, en el departamento de Lambayeque, en la costa norte del Perú. Geográficamente, se encuentra entre las coordenadas 6°53'30" de latitud sur y 79°33'42" de longitud oeste, a una altitud de 78 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con los distritos de Zaña y Lagunas, al este con la provincia de Ferreñafe, al sur con el distrito de Oyotún y al oeste con el distrito de Nueva Arica.

### Demografía:

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el distrito de Cayaltí cuenta con una población total de 14,809 habitantes, de los cuales 12,688 residen en la localidad capital.

### Ámbito Agrícola:

La economía de Cayaltí se sustenta principalmente en la actividad agrícola. El distrito se caracteriza por sus tierras fértiles, irrigadas por canales derivados del río Zaña, y en menor medida por aguas subterráneas. Su clima cálido y seco permite el cultivo durante todo el año, lo que favorece tanto la agricultura tradicional como la agroindustria.

Entre los principales cultivos destacan:

- Caña de azúcar: Históricamente el cultivo dominante, asociado al desarrollo de la hacienda azucarera.
- Arroz: Cultivado en zonas con riego controlado, especialmente durante los meses de mayor disponibilidad hídrica.
- Maíz amarillo duro: Usado tanto para el mercado interno como para forraje.
- Camote: Cultivo alternativo con creciente demanda en mercados locales y regionales.

## Ámbito Social:

Los problemas sociales y económicos son originados por diversos factores:

- La dotación de agua para la población es dos horas al día.
- Existe un déficit de equipos y atención médica e infraestructura hospitalaria.
- La infraestructura del mercado central, como también de la parada y de la municipalidad está muy deteriorada.
- Los servicios de salud, educación, alimentación y vivienda presentan limitadas capacidades operativas en la prestación de los servicios como consecuencia de una total falta de gestión ante los entes rectores por la falta de planificación.
- El transporte de acceso rápido como los mototaxis atienden desordenadamente por que no están formalizadas como empresas y /o asociaciones.
- Los trabajadores que recogen la basura no cuentan con Equipo de Protección al Personal (EPP).

Vías de Acceso:  
Cayaltí cuenta con una red vial que la conecta con importantes centros urbanos y distritos aledaños. La vía Mocupe – Cayaltí – Oyotún es una de las principales rutas de acceso, facilitando el transporte de productos agrícolas y el desplazamiento de la población.

Además, se ha proyectado la vía Saltur – Zaña – Cayaltí, que se convertirá en una ruta alterna para Chiclayo, mejorando la conectividad y dinamizando la economía local.

## Hidrografía:

La jurisdicción de Cayaltí se sitúa geográficamente dentro del sistema hidrográfico del río Zaña, curso fluvial que fluye en dirección este a oeste, descendiendo por la vertiente occidental de la cordillera de los Andes hasta desembocar en el Océano Pacífico. El río Zaña cuenta con dos tributarios importantes: Udimá y Nanchoc, los cuales garantizan la disponibilidad de agua superficial en la cuenca. En cuanto al aprovechamiento del recurso, se

calcula que el valle posee una capacidad de captación tope cercana a los 9 m<sup>3</sup>/s. Este volumen es crítico para el sostenimiento de la actividad agrícola regional, asegurando el suministro de riego no solo para Cayaltí, sino también para los distritos vecinos de Oyotún, Nueva Arica, Zaña y Lagunas.

Climatología:

Cayaltí presenta un clima cálido y seco, característico de la costa norte peruana. Las temperaturas promedio oscilan entre los 17°C y 30°C, con cielos despejados y escasa precipitación durante la mayor parte del año. Este clima es favorable para el cultivo de caña de azúcar y otros productos agrícolas.



## **DISTRITO DE ZAÑA**

### Ubicación geográfica

El distrito de Zaña se localiza al sureste de la ciudad de Chiclayo, dentro del departamento de Lambayeque. Se ubica en la costa norte del Perú, específicamente en el fértil valle del río Zaña, en la región natural conocida como Chala. Geográficamente, se encuentra a una altitud aproximada de 46 m.s.n.m, y sus coordenadas geográficas son 6°55'15" de latitud sur y 79°34'54" de longitud oeste. Limita por el norte con los distritos de Tumán y Pucalá, al este con Cayaltí, al sur con Lagunas, y al oeste con el distrito de Reque.

### Demografía:

De acuerdo con datos del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2017, el distrito alberga a 11,617 personas. La mayor concentración poblacional se encuentra en la ciudad de Zaña, que funge como capital del distrito, con más de 4,500 residentes.

### Ámbito agrícola

La economía del distrito está fuertemente vinculada a la actividad agrícola, siendo el cultivo de caña de azúcar uno de los principales rubros, junto con la producción de arroz, maíz y frutales. Adicionalmente, se desarrollan actividades complementarias como la ganadería y la avicultura. El distrito también presenta una incipiente industria de materiales de construcción, como ladrillos artesanales.

Pese a sus suelos fértiles, el desarrollo agrícola del distrito enfrenta serias limitaciones, siendo la disponibilidad hídrica uno de los problemas más críticos. Las condiciones climáticas de Zaña se caracterizan por ser cálidas y secas, con precipitaciones anuales que en promedio no superan los 200 mm. Esta escasez de lluvias ha generado una alta dependencia de fuentes subterráneas para el riego, lo cual ha producido una creciente sobreexplotación de los acuíferos locales. Estudios del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2019) advierten que, en años normales, la recarga hídrica no compensa los volúmenes extraídos, lo que conlleva a una reducción sostenida

del nivel freático y pone en riesgo la sostenibilidad del sistema agrícola en el mediano plazo.

### Climatología

El distrito de Zaña presenta un clima predominantemente cálido y seco durante la mayor parte del año. La temperatura media anual se aproxima a los 22.5 °C, registrándose valores máximos cercanos a los 34 °C en la temporada de verano y mínimos que pueden descender hasta los 15 °C durante el invierno. Estas condiciones climáticas favorecen el desarrollo de actividades agrícolas propias de zonas costeras áridas, donde la disponibilidad de agua para riego desempeña un papel esencial.



**Figura 27.***Declaración de intención de siembra Has. Campaña agrícola 2023 – 2024.*

CULTIVOS	CAYALTI	ZAÑA
AJI PANCA	0.00	0.00
AJI EMPRESA	0.00	0.00
ALFALFA	17.76	1.45
ALGODÓN	0.00	0.00
ARROZ C. CH	100.00	30.00
ARROZ C. G	269.29	197.33
CAIGUA	0.00	0.00
CAMOTE	0.68	0.00
CAÑA EMPRESA	772.04	26.00
CAÑA INDIVIDUAL	634.83	28.46
CEBOLLA DE CABEZA	0.00	0.00
FRIJOL BOCANEGRA	1.09	0.00
FRIJOL CHILENO	2.92	0.00
FRIJOL LENTEJA	0.50	0.00
FRIJOL EMPRESA	0.00	0.00
FRUTALES	238.69	0.00
FRUTALES ARANDANOS	700.50	0.00
FRUTALES PALTOS	352.75	0.00
FRUTALES MANDARINA	247.98	35.00
MAIZ AM. C.CH	84.00	20.00
MAIZ AMARILLO C. G	363.29	87.52
MAIZ BLANCO	0.99	0.00
PASTOS	38.31	0.00
REPOLLO	0.00	0.00
SORGO	0.00	0.00
STEVIA	227.96	0.00
TABACO	0.00	0.00
TOMATE	1.66	0.00
YUCA	1.39	0.00
ZAPALLO	0.00	0.00
ESPARRAGO	2.50	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>4,059.13</b>	<b>425.76</b>

## Demarcación Hidrográfica de la Cuenca

La cuenca del río Zaña forma parte de la vertiente del océano pacífico y limita con las siguientes cuencas:

- Por el Norte: Cuenca del Río Chancay-Lambayeque
- Por el Este: Cuenca del Río Jequetepeque y Chancay-Lambayeque
- Por el Sur: Cuenca del Río Jequetepeque
- Por el Oeste: Océano Pacífico

## Demarcación Política

- Región Lambayeque:  
Provincia de Chiclayo:  
Distritos de Oyotún, Nueva Arica, Zaña, Lagunas-Mocupe y Cayaltí.
- Región Cajamarca:  
Provincias de Santa Cruz y San Miguel:  
Distritos de La Florida, Nanchoc y Niepos.

## Descripción del sector hidráulico

### Sistema hidráulico común

#### Río Zaña:

El río Zaña constituye la principal fuente de abastecimiento hídrico del valle, y sus nacientes se ubican en las cumbres de los cerros Cushuro y Rongara. La extensión territorial que abarca el área de aporte (cuenca hidrográfica) se calcula en 1,754.70 km<sup>2</sup>, El río describe una trayectoria transversal a la Cordillera Occidental de los Andes, fluyendo en sentido Este-Oeste a lo largo de 125.3 km.

El sistema inicia su descenso desde una altitud cercana a los 3,800 m s. n. m. A partir de este punto, el río conforma una red de drenaje compuesta por más de quince cauces secundarios, además de numerosos riachuelos y quebradas menores.

Red de Drenaje y Caudal Promedio El sistema hidrográfico se alimenta de dos fuentes principales según su ubicación altitudinal:

Zona Alta: Recibe las aguas de los ríos La Manzana, La Toma, Centurí, Las Argollas y La Laja.

Zona Baja: Se integran aportes de mayor envergadura provenientes de los ríos Nanchoc y Udima. El balance hídrico resultante de estas contribuciones genera una descarga anual promedio estimada en 230 Hm<sup>3</sup>.

Asimismo, Quebradas y Avenidas Eventuales Adicionalmente, en la cuenca baja existe una red de drenaje efímera compuesta por las quebradas Las Delicias, Leque Leque, El Examen y La Viña. Estos cauces suelen tener recargas mínimas y solo transportan flujos significativos durante eventos de avenidas extraordinarias.

Realidad del área de estudio:

Entre los principales problemas hídricos de la cuenca de Zaña, se señalan las pérdidas en los canales por falta de revestimiento, márgenes del río erosionados por la tala indiscriminada, falta de previsión o protección ante fenómenos naturales.

Se requiere la participación de la Junta de Usuarios de Zaña en la AACHLZ (Autoridad Autónoma de Cuenca Hidrográfica) y se requiere una nueva Ley de Aguas que favorezca la participación privada para mejorar la infraestructura.

### **Canal Lateral de Orden 2° El Once**

Origen y Jerarquía: Esta estructura opera como una derivación del canal de primer orden "San Cristóbal" y forma parte del Subsector Hidráulico Cayaltí.

Ubicación Geográfica: El tramo se delimita entre las coordenadas E: 659690 - N: 9234833 y E: 659518 - N: 9235226.

Punto de Captación: La toma se sitúa en la progresiva 6+476.321 sobre la margen derecha, construida con material noble (concreto).

Capacidad y Estado: Diseñado para transportar un caudal de 0.20 m<sup>3</sup>/s. No obstante, el canal discurre sobre un lecho de suelo con textura permeable, lo que ocasiona mermas considerables por filtración.

Área de Influencia: Actualmente garantiza el riego para una superficie de 81.7 hectáreas.

### **Canal Lateral de Orden 2° Pampilla**

Origen y Jurisdicción Esta obra hidráulica funciona como un sistema de derivación que capta sus aguas del canal de primer orden denominado "Colchado". Administrativamente, forma parte de la red del Subsector Hidráulico Zaña.

Ubicación Espacial El trazado del canal se delimita geográficamente entre los siguientes puntos de coordenadas UTM: Inicio: 655975 E – 9234111 N Fin: 654885 E – 9234356 N

Características de la Captación El punto de inicio se localiza específicamente en la progresiva 2+197 km del canal madre (Colchado). La estructura de toma está construida con material noble (concreto) y se sitúa sobre la margen izquierda.

#### Parámetros Hidráulicos y Físicos

Caudal de diseño: El canal tiene capacidad para transportar un flujo de 0.20 m<sup>3</sup>/s.  
Longitud total: El recorrido abarca una extensión de 1.450 km.

Condición del lecho: La infraestructura está excavada directamente sobre terreno natural de alta permeabilidad. Esta falta de revestimiento genera mermas importantes en la eficiencia de conducción debido a la infiltración.

Alcance Social y Agrícola El sistema abastece actualmente a un padrón de 18 usuarios, garantizando el riego para una superficie cultivable de 50.5 hectáreas

### **3.3. Población y muestra**

#### Población

La población es asumida como la representación total de los objetos, elementos o sujetos de quienes se extraerá la información requerida para el desarrollo del estudio; es decir, hace referencia a la totalidad de individuos a estudiar (Arias & Covino, 2021). Por ello, la investigación estará conformada por los laterales de

segundo orden Once 2.345 km y Pampilla 1.5 km sin revestimiento del distrito de Cayaltí-Zaña, Lambayeque 2023.

## Muestra

Se centra en seleccionar un subconjunto representativo de una población más amplia para evaluar, probar o analizar variables de interés. La selección de la muestra es crucial, ya que influye en la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos (Arias & Covino, 2021). Ante ello, la muestra en el actual estudio será un tramo del canal de segundo orden Once 2.345 km y Pampilla 1.5 km sin revestir.

### **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### a. Técnica

Las técnicas de investigación son el conjunto de herramientas, procedimientos e instrumentos utilizados para obtener información y conocimiento. Se utilizan de acuerdo con los protocolos establecidos en una metodología de investigación determinada.

Las técnicas de investigación son los recursos disponibles para un investigador, que le permiten obtener datos e información. Las técnicas no garantizan por sí mismas que la interpretación o las conclusiones obtenidas sean correctas. Para esto último es necesario que la técnica se aplique en el marco de un método.

#### b. Instrumento de recolección de datos

Un instrumento de investigación sirve para recopilar y analizar información en un proceso de investigación. Los instrumentos de investigación ayudan a los investigadores a obtener información precisa y confiable sobre su tema de estudio y a llegar a conclusiones válidas y confiables. Algunos de los objetivos de los instrumentos de investigación incluyen:

- Facilitar la recopilación de datos: Los instrumentos de investigación permiten a los investigadores recopilar información de una manera sistemática y estandarizada.

- Asegurar la precisión de los datos: Los instrumentos de investigación ayudan a los investigadores a obtener información precisa y confiable.
- Garantizar la consistencia de los datos: Al utilizar un instrumento de investigación, los investigadores pueden garantizar que la información sea recopilada de manera consistente de una persona a otra.
- Mejorar la validez de los resultados: Los instrumentos de investigación ayudan a los investigadores a obtener resultados precisos y confiables, lo que aumenta la validez de sus conclusiones.

En este trabajo se utilizará cinta métrica, cámara fotográfica, fichas de registro, fichas técnicas, correntómetro, aplicación de fórmulas empíricas y software (Hcanales, Civil 3D, HY-8, Rápidas V1.0, Google Earth) que irán en anexo.

Según lo señalado por el autor, el instrumento de medición utilizado debe ajustarse a ciertos criterios y especificaciones técnicas que garanticen la precisión y confiabilidad de los resultados, los cuales se describen a continuación:

**Confiabilidad:** La confiabilidad de un instrumento de investigación es una medida de su consistencia y estabilidad. La confiabilidad se refiere a la capacidad de un instrumento de producir resultados consistentes y precisos cada vez que se utiliza en condiciones similares.

Hay diferentes formas de evaluar la confiabilidad de un instrumento de investigación, incluyendo:

- Prueba-retest: Se aplica el instrumento en dos ocasiones y se comparan los resultados para evaluar su consistencia a lo largo del tiempo.
- Análisis de consistencia interna: Se utiliza un análisis estadístico para evaluar la consistencia de los resultados dentro del mismo instrumento.
- Intervalo de confianza: Se utiliza para determinar el margen de error que se considera aceptable en los resultados

**Validez:** La validez de un instrumento de investigación constituye un indicador de su precisión y fiabilidad. Este concepto hace referencia a la capacidad del instrumento para medir adecuadamente el fenómeno o variable que se pretende

evaluar, garantizando que los resultados obtenidos sean coherentes, exactos y representativos de la realidad estudiada.

En la actualidad, los métodos de procesamiento de datos se han diversificado significativamente gracias al avance de las tecnologías de la información. Las alternativas disponibles varían en función de la velocidad requerida para el análisis y del nivel de inversión necesario para su implementación.

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon las estrategias y procedimientos que se detallan a continuación, buscando optimizar la gestión y el tratamiento de los datos recolectados.

**Tabla 1**

Cuadro de operacionalización

<b>Tesis</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Verificaciones de campo	Observación	Equipo Topográfico
	Entrevista	Formatos, cámara fotográfica
Verificaciones de gabinete	Recopilación documental	Formatos especializados
	Cuestionarios	Formatos
Cálculos y modelación	Modelamiento prospectivo	Software HCANALES
Análisis de los resultados	Análisis	Fichas y tablas específicas
	Comparativo	

**Nota.** Elaboración propia.

Siguiendo las técnicas mencionadas, se emplearán adecuadamente para obtener información relevante que sirva a los objetivos de la investigación colectiva. En este estudio se emplearán los siguientes

### **La observación**

Fundamental en todo principio científico, la observación es una técnica cualitativa que consiste en la percepción atenta de un fenómeno y su descripción. Para realizarla, se suelen emplear diversos medios: instrumentos (termómetro, balanza, microscopio), diarios de trabajo, cuadernos de notas, etc. La observación se aplica en las diversas etapas del proceso de investigación, desde la formulación del problema hasta la verificación de la hipótesis y la elaboración de las conclusiones. A medida que se avanza en la investigación, se emplean medios de observación más precisos.

### **3.5. Validez y confiabilidad del instrumento**

Se realizará inicialmente la verificación de la longitud total de los canales, con el propósito de identificar el tramo específico a evaluar, el cual abarcará una distancia de 3.8 km. En esta zona se procederá a levantar la información actual de las secciones transversales, para lo cual será necesario diseñar y emplear un formato de registro de campo.

Para la determinación de la pendiente del canal, se llevará a cabo un levantamiento topográfico, cuyos datos serán procesados y analizados mediante el software Civil 3D. Del mismo modo, se efectuará un ensayo de permeabilidad, conforme a los lineamientos establecidos en la norma NTP 339.238, con el fin de obtener el coeficiente de permeabilidad (cm/s) del material, parámetro esencial para el cálculo de las pérdidas por infiltración.

Asimismo, se verificará la resistencia del material de revestimiento, la cual debe alcanzar  $175 \text{ kg/cm}^2$ , según lo establecido en la norma NTP 339.034. Posteriormente, se procederá al análisis de gabinete, etapa en la cual se procesará la información recopilada en campo para determinar los distintos parámetros hidráulicos.

La velocidad del flujo (m/s) se determinará empleando la ecuación de Manning, mientras que el caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) será obtenido mediante la ecuación de continuidad. Además, utilizando el software Hcanales, se evaluarán las pérdidas por infiltración y, a partir de dichos resultados, se calculará la eficiencia de conducción (%) del canal.

Finalmente, se llevará a cabo la evaluación del tipo de flujo —también apoyada en el uso del software Civil 3D y se contrastarán los resultados obtenidos con las hipótesis planteadas al inicio del estudio, con el objetivo de validar la investigación desarrollada.

### **3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos**

Inicialmente se realizó el reconocimiento de campo del área de proyecto, con fines de extraer información de carácter superficial, como el conocimiento de las características topográficas del suelo por donde se pretende pasar con el trazo

de los canales, recomendándose la elaboración de un perfil estratigráfico con ayuda de lecturas en calicatas, identificándose el tipo de material y características físico mecánicas del suelo en el que se ubicaran las estructuras previstas, debiéndose verificarse en obra la capacidad portante resultante con la estimada para fines de diseño.

Los levantamientos topográficos efectuados para comprobar los tramos del canal se ejecutaron siguiendo el procedimiento general que se detalla a continuación.

a) Reconocimiento del terreno.

Se efectuó un recorrido detallado por el área de estudio con el propósito de identificar las condiciones físicas del terreno y los factores que pudieran influir en la definición del eje del canal. Durante esta etapa se registraron las características más relevantes del entorno y se determinaron los puntos de inicio y finalización del tramo a evaluar.

b) Trazo preliminar.

Posteriormente, se llevó a cabo el levantamiento preliminar del terreno mediante brigadas topográficas, marcando los puntos de control y las estaciones en ubicaciones estables a lo largo de la poligonal definida. El levantamiento se realizó utilizando una estación total, complementada con la obtención de coordenadas geográficas mediante GPS portátil, con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de los datos recopilados.

c) Levantamiento topográfico.

En esta fase, se aplicó el método de poligonal abierta, y en los casos donde fue necesario establecer una estación, se empleó el método de radiación. Para la nivelación del canal en los tramos analizados, se efectuaron mediciones cada 20 metros, siguiendo el procedimiento de ida y vuelta, asegurando así un control adecuado de precisión en los registros de cotas y pendientes.

d) Las secciones transversales.

La toma de datos se ejecutó adaptándose a la configuración irregular del relieve. Debido a la variabilidad topográfica del terreno, se estableció que la distancia entre cada sección de control no excediera los 20 metros.

Definición del trazado definitivo. - Se pasó al trazado definitivo a partir de la información de escalas conforme a la topografía y a la precisión requerida:

- Zonas de alta pendiente: En áreas donde la inclinación transversal es mayor al 25%, se utilizó una escala detallada de 1:500.
- Zonas de pendiente moderada: Para sectores con una inclinación transversal inferior al 25%, se optó por escalas comprendidas entre 1:1000 y 1:2000.

e) Radios de curvatura mínimo en canales

Durante el diseño geométrico, se reemplazaron los cambios bruscos de dirección por curvas de transición, cuyo radio de giro fue definido dentro de los límites técnicos establecidos. Se determinó emplear un radio mínimo permitido, dado que utilizar radios superiores no representaba una mejora significativa en la eficiencia hidráulica ni una reducción en la pérdida de energía. Por el contrario, optar por radios mayores habría implicado incrementar innecesariamente la longitud del trazado, generando mayores costos constructivos sin un beneficio funcional relevante.

f) Diseño de la rasante (perfil longitudinal).

Una vez establecida la ruta en planta del canal, se procedió a calcular y dibujar el perfil longitudinal correspondiente. Para la determinación de la rasante, se consideraron las ubicaciones de los puntos de captación que derivan el caudal desde el canal principal. El objetivo principal fue proyectar una pendiente de fondo que se asemeje, en la medida de lo

posible, a la inclinación natural predominante del terreno. Esta estrategia busca asegurar la estabilidad del flujo y la eficiencia hidráulica, minimizando el movimiento de tierras y respetando las condiciones originales del entorno.

Adicionalmente se recopiló información básica elaborada en gabinete, obteniéndose lo siguiente:

- Perfiles longitudinales de los canales proyectados mostrando trazo de rasante, cotas de rasante y terreno, tipo y progresiva de estructuras complementarias.
- Cuadro de características hidráulicas y geométricas de las secciones transversales previstas por canales.
- Relación de obras de arte previstas en cada canal indicando tipo, progresiva, caudal que soportan, cota de rasante, características hidráulicas y geométricas, cuantificándose un total de 10 estructuras complementarias en los canales once y 25 en el canal pampilla.

### **Descripción de las obras de arte**

Las obras de arte previstas tienen como finalidad básicamente las siguientes características:

- Garantizar la normal operación del sistema proyectado, interconectando el canal principal en los laterales, sublaterales y parcelas, a través de tomas, caídas, alcantarillas.
- Optimizar las labores de mantenimiento de la red de conducción y distribución, garantizando la funcionalidad del sistema incluso en zonas donde los canales interceptan con vías de acceso, para lo cual se proyectan estructuras de cruce, como puentes o alcantarillas, según corresponda.
- Procurar asegurar el mantenimiento de programas adecuados de suministro, mediante el control de agua para riego, factor esencial y determinante para la distribución equitativa y uso económico, permitiendo a la vez reconocer la cantidad de agua suministrada y empleada debidamente en el campo.

- Con la finalidad de que estas obras de arte en gran medida tengan acogida de parte del agricultor, se ha proyectado obras que por su diseño e instalación de estructuras no resulten demasiado complicadas o difícil de manejar.

De acuerdo con la función que cumplen en la infraestructura hidráulica, las obras pueden agruparse en:

- Hidráulicas: tomas, caídas.
- De acceso: alcantarilla y puentes peatonales.

**Tabla 2**  
*Canal once*

<b>CANAL ONCE</b>	
<b>Obra de arte</b>	<b>Progresiva</b>
- COMPUERTA	0+012
- CAÍDA VERTICAL	0+050
- ESTRUCTURA CONCRETO	0+110
- ALCANTARILLA	0+160
- ALCANTARILLA	0+320
- TOMA CANAL	0+388
- TOMA CANAL	0+429
- TOMA CANAL	0+534
- TOMA CANAL	0+536
- TOMA PARCELARIA	1+804
- TOMA PARCELARIA	2+031

**Tabla 3**  
*Canal Pampilla*

<b>CANAL PAMPILLA</b>	
<b>Obra de arte</b>	<b>Progresiva</b>
- TOMA LATERAL	0+000
- COMPUERTA	0+042
- TOMA LATERAL	0+136
- CANAL PASE AEREO	0+280
- ALCANTARILLA	0+286
- TOMA LATERAL	0+296
- COMPUERTA	0+440
- ALCANTARILLA	0+547
- ESTRUCTURA	0+570
- ESTRUCTURA	0+580
- TOMA LATERAL	0+630
- TOMA LATERAL	0+683
- ALCANTARILLA	0+710
- TOMA CANAL	0+718

- COMPUERTA	0+730
- ALCANTARILLA	0+790
- TOMA LATERAL	0+796
- TOMA	0+834
- TOMA LATERAL	0+920
- TOMA LATERAL	0+927
- TOMA LATERAL	1+033
- TOMA LATERAL	1+126
- TOMA LATERAL	1+300
- TOMA LATERAL	1+494
- TOMA LATERAL	1+560

### Tipo de suelo

Canal Once	<p>Tipo de suelo: arenas limosas  Angularidad(Grano grueso): .angulosos  Color(general):marron oscuro  Olor(general):Organico  Condicion de humedad(general):Media. La muestra humedece la mano al presionarla  Reaccion al HCL(general): Ninguna; no hay reaccion visible  Tamaño maximo particulas TM (general):1/2"  Plasticidad(Grano fino):No presenta  Otros(general): Arenas limosas con presencia de algunos clastos angulosos. Suelo de facil excavabilidad.</p> <table> <thead> <tr> <th>Granulometria</th> <th colspan="2">Limites consistencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-Grava 9%</td> <td>-LL 19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-Arena 60%</td> <td>-LP 16</td> <td>SUCS: SM</td> </tr> <tr> <td>-Finos 31%</td> <td>-IP 3</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Granulometria	Limites consistencia		-Grava 9%	-LL 19		-Arena 60%	-LP 16	SUCS: SM	-Finos 31%	-IP 3	
Granulometria	Limites consistencia												
-Grava 9%	-LL 19												
-Arena 60%	-LP 16	SUCS: SM											
-Finos 31%	-IP 3												
Canal Pampilla	<p>Suelo de altamente organico compuesto por limos arenoso de color marrón con plasticidad baja, Humedad media. Suelo medianamente compacto con presencia de materia organica (raices). Además, el estrato presenta un olor a tierra húmeda y sus paredes son estables.</p>												

**Nota.** Tomado de Mejoramiento y regulación para el sistema de riego del valle del río Zaña (Calicata C-PA-01), por Consorcio Río Zaña & PSI, 2022.

## Uso y demanda de Agua

Se realizó el cálculo de la demanda de agua para el Valle de Zaña, a nivel de comisiones de regantes.

**Tabla 4**  
*Campaña agrícola 2023-2024*

COMISION DE USUARIOS	AREA (has)		VOLUMEN (Hm <sup>3</sup> )			
	DIS	DIS AJUSTADO	DIS		DIS AJUSTADO	
			NETO	BRUTO	NETO	BRUTO
<b>Oyotun</b>	<b>1,296.98</b>	<b>1,296.98</b>	<b>22.90</b>	<b>28.63</b>	<b>22.90</b>	<b>28.63</b>
<b>Nueva Arica</b>	<b>1,940.09</b>	<b>1,940.09</b>	<b>22.19</b>	<b>27.74</b>	<b>22.19</b>	<b>27.74</b>
<b>Cayalti</b>	<b>3,875.13</b>	<b>3,875.13</b>	<b>45.41</b>	<b>64.86</b>	<b>45.41</b>	<b>64.86</b>
<b>La Otra Banda</b>	<b>1,773.04</b>	<b>1,773.04</b>	<b>19.63</b>	<b>30.20</b>	<b>19.63</b>	<b>30.20</b>
<b>Zaña</b>	<b>375.76</b>	<b>375.76</b>	<b>4.24</b>	<b>5.30</b>	<b>4.24</b>	<b>5.30</b>
<b>Mocupe</b>	<b>936.19</b>	<b>936.19</b>	<b>8.70</b>	<b>12.43</b>	<b>8.70</b>	<b>12.43</b>
<b>Ucupe</b>	<b>678.87</b>	<b>678.87</b>	<b>7.50</b>	<b>11.54</b>	<b>7.50</b>	<b>11.54</b>
<b>Lagunas</b>	<b>1,300.95</b>	<b>1,300.95</b>	<b>14.19</b>	<b>23.65</b>	<b>14.19</b>	<b>23.65</b>
<b>TOTAL</b>	<b>12,177.01</b>	<b>12,177.01</b>	<b>144.76</b>	<b>204.35</b>	<b>144.76</b>	<b>204.35</b>

La DIS (Declaración de Intensión de Siembra) es el instrumento mediante el cual los usuarios declaran ante la Junta de Usuarios las áreas que proyectan sembrar, permitiendo estimar los requerimientos hídricos para la campaña.

En la tabla 4 se presentan las áreas (ha) y volúmenes (Hm<sup>3</sup>) declarados por las Comisiones de Usuarios durante la campaña agrícola 2023-2024.

Tras la revisión efectuada por la Junta de Usuarios, los valores de la DIS Ajustada coincidieron con los declarados originalmente por ambas comisiones, lo que indica que las declaraciones no presentaron observaciones y fueron validadas sin modificación alguna. Esto refleja una adecuada planificación por parte de los usuarios en la estimación de sus requerimientos hídricos para la campaña.

**Tabla 5**  
*Comparativo PADH Junta de Usuarios Valle Zaña*

La tabla presentada refleja el plan de aprovechamiento hídrico de las ocho comisiones de usuarios que conforman la Junta de Usuarios del Valle de Zaña, abarcando cuatro campañas agrícolas consecutivas: 2021-2022, 2022-2023, 2023-2024 y 2024-2025, expresando los valores en hectáreas bajo riego (has/PCR), volumen en hectómetros cúbicos (Hm<sup>3</sup>) y dotación específica (m<sup>3</sup>/ha).

En términos generales, los datos evidencian una ligera tendencia a la reducción de la superficie bajo riego y del volumen asignado a partir de la campaña 2022-2023, lo que subraya la importancia de implementar medidas de eficiencia hídrica y modernización de la infraestructura de riego para garantizar la sostenibilidad productiva del valle ante la creciente variabilidad climática y la presión sobre los recursos hídricos disponibles.

PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LAS DISPONIBILIDADES HIDRICAS POR CAMPAÑA AGRICOLA  
JUNTA DE USUARIOS DEL VALLE DE ZAÑA

Campaña Agrícola → Comisión de Usuarios	2021 - 2022			2022 - 2023			2023 - 2024			2024 - 2025		
	has (PCR)	Hm3	m3/ha	has (PCR)	Hm3	m3/ha	has (PCR)	Hm3	m3/ha	has (PCR)	Hm3	m3/ha
Oyotun	1,135.97	26.96	23,737	1,437.52	31.08	21,624	1,296.98	28.63	22,074	1,296.98	28.47	21,951
Nueva Arica	1,868.28	22.98	12,299	1,908.67	28.50	14,931	1,940.09	27.74	14,297	1,940.09	27.08	13,958
Cayalti	3,355.05	48.06	14,325	4,079.68	67.41	16,525	3,875.13	64.86	16,739	3,875.13	62.38	16,098
La Otra Banda	1,575.67	22.13	14,044	1,624.51	24.69	15,197	1,773.04	30.20	17,030	1,773.04	30.63	17,275
Zaña	361.58	5.01	13,843	327.24	4.65	14,214	375.76	5.30	14,112	375.76	4.34	11,550
Mocupe	1,034.52	13.06	12,627	814.63	10.78	13,229	936.19	12.43	13,276	936.19	9.10	9,720
Ucupe	2,471.95	41.63	16,839	2,455.06	40.72	16,587	678.87	11.54	16,999	678.87	23.81	35,073
Lagunas	1,062.32	18.93	17,823	1,395.11	25.40	18,207	1,300.95	23.65	18,178	1,300.95	24.18	18,586
Promedio	12,865.35	198.76	15,449	14,042.42	233.24	16,609	12,177.01	204.35	16,781	12,177.01	209.99	17,245

**Nota.** Elaboración propia en base a los Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas (PADH).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Descripción de resultados

OE1: Identificar si las pérdidas por infiltración en canales no revestidos disminuyen la eficiencia de conducción

#### a) Canal once

#### Figura 28

*Diseño para el Canal once*

Canal			Lateral de Orden 2° Once		
Progresiva			0 + 200		
Fecha			29/04/2025		
Progresiva	NºAforos	Caudal Inicial	P. Pérdida	Ltrs pérdida	Caudal final
0 + 200	1	194	10%	19	175
0 + 850	2	175	13%	23	152
1 + 500	3	152	15%	23	129
2 + 100	4	129	15%	19	110
			13%		

**Nota.** *Elaboración propia*

En el canal Once se realizaron cuatro aforos, en coordinación con el personal técnico de la Junta de Usuarios, con el objetivo de evaluar hidráulicamente el sistema de conducción y cuantificar las pérdidas de caudal en el tramo analizado. Las mediciones se efectuaron bajo condiciones operativas normales, utilizando un correntómetro digital para obtener datos precisos de caudal en puntos estratégicos del canal.

Los valores registrados fueron promediados, con el fin de reducir errores puntuales y garantizar la representatividad del resultado. El análisis permitió determinar una pérdida promedio de agua del 13% %, atribuida principalmente a procesos de infiltración a través del lecho y las paredes del canal, el cual carece de revestimiento en el tramo evaluado.

Desde un enfoque técnico, esta magnitud de pérdida se considera significativa, ya que se encuentra por encima de los niveles aceptables para un sistema eficiente de conducción. Una pérdida del 13.3 % implica que solo el 86,7 % del caudal derivado alcanza su destino, afectando directamente la eficiencia de

conducción del canal y comprometiendo el uso racional del recurso hídrico.

Esta situación evidencia la urgente necesidad de implementar obras de revestimiento y mejoras estructurales en el canal Once, orientadas a reducir las filtraciones y garantizar un transporte más eficiente del agua. Además, este resultado constituye un insumo técnico fundamental para la planificación de intervenciones prioritarias en el sistema de conducción, permitiendo a las autoridades competentes establecer acciones correctivas que aseguren la sostenibilidad y eficiencia del sistema a mediano y largo plazo.

## b) Canal pampilla

### Figura 29

*Diseño para el Canal pampilla*

Canal				Lateral de Orden 2º Pampilla	
Progresiva				0 + 380	
Fecha				29/04/2025	
Progresiva	NºAforos	Caudal Inicial	P. Pérdida	Ltrs pérdida	Caudal final
0 + 380	1	196	9%	18	178
0 + 600	2	178	15%	27	152
1 + 100	3	152	12%	18	133
1 + 350	4	133	14%	19	115
			<b>12.5%</b>		

*Nota. Obtenido de Microsoft Excel*

Este nivel de pérdida implica una eficiencia de conducción del 87,50 %, lo cual representa una condición subóptima respecto a los estándares técnicos recomendados para canales de riego, donde se espera una eficiencia igual o superior al 95 % en tramos correctamente diseñados y mantenidos. La pérdida del 12.50 % indica que una fracción significativa del recurso hídrico no cumple su función dentro del sistema de distribución, afectando la capacidad operativa del canal.

La disminución de eficiencia tiene impactos directos en la gestión hídrica a nivel parcelario y de sistema, ya que:

- Se incrementa el volumen de captación requerido desde la fuente para cubrir la demanda de riego, generando una mayor presión sobre el recurso disponible.
- La disponibilidad de caudal en los tramos aguas abajo se ve comprometida, especialmente en condiciones de déficit hídrico o alta demanda.
- La pérdida acumulada en todo el sistema genera ineficiencias operativas, mayores costos en mantenimiento y una menor equidad en la distribución del agua.

Técnicamente, esta situación justifica la necesidad de implementar medidas correctivas orientadas a mitigar las filtraciones, siendo el revestimiento con concreto u otras soluciones impermeabilizantes una alternativa viable. Además, este resultado se convierte en una herramienta clave para priorizar intervenciones dentro del plan de mejora de infraestructura hidráulica, aportando criterios objetivos para la toma de decisiones por parte de los entes gestores.

OE2: Identificar los criterios hidráulicos para un adecuado diseño de canal de riego.

### a) Canal Once y Canal Pampilla

- Diseño de canal hidráulico:

**Figura 30**

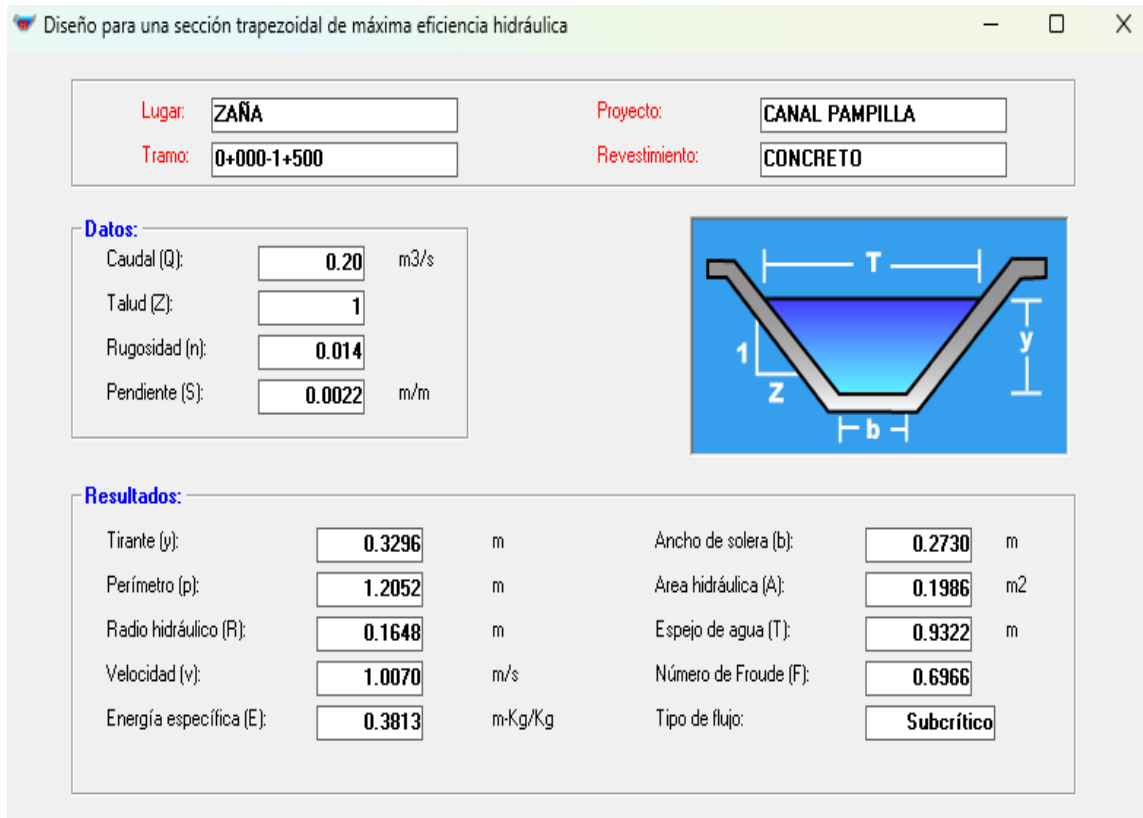
*Diseño para una máxima eficiencia hidráulica*



**Nota.** Obtenido del programa Hcanales v 3.0

De acuerdo a la figura 30 se puede observar que para que se una máxima eficiencia hidráulica se tuvo que diseñar el canal con un ancho de solera 0.27.

**Figura 31**  
*Diseño para una máxima eficiencia hidráulica*



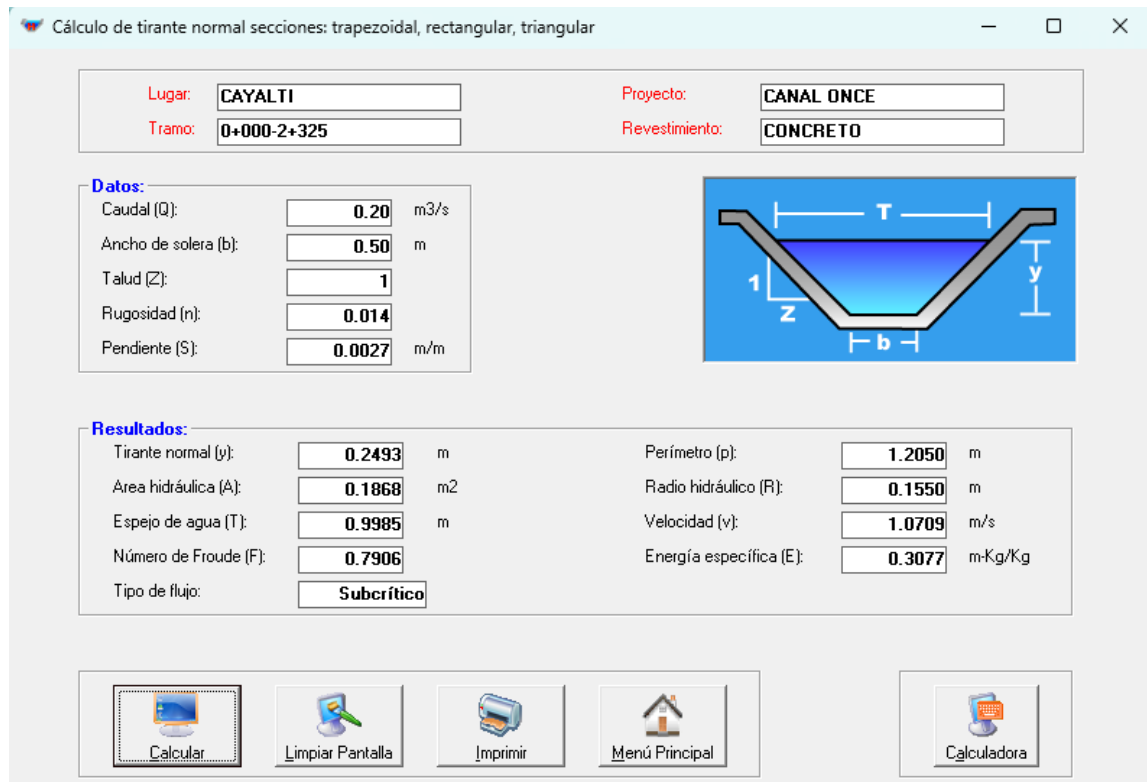
**Nota.** Obtenido del programa Hcanales v 3.0

De acuerdo a la figura 31, se puede observar que para que se una máxima eficiencia hidráulica se tuvo que diseñar el canal con un ancho de solera 0.27.

El diseño hidráulico aplicado en ambos canales cumple con los criterios de eficiencia hidráulica exigidos. Las secciones son capaces de transportar el caudal requerido con velocidades auto limpiantes y sin riesgos de desbordes. El incremento de base a 0.50 m se considera óptimo en términos constructivos y operativos, sin comprometer la capacidad hidráulica de los canales.

- **Criterios hidráulicos:**

**Figura 32**  
*Características hidráulicas del canal Once.*

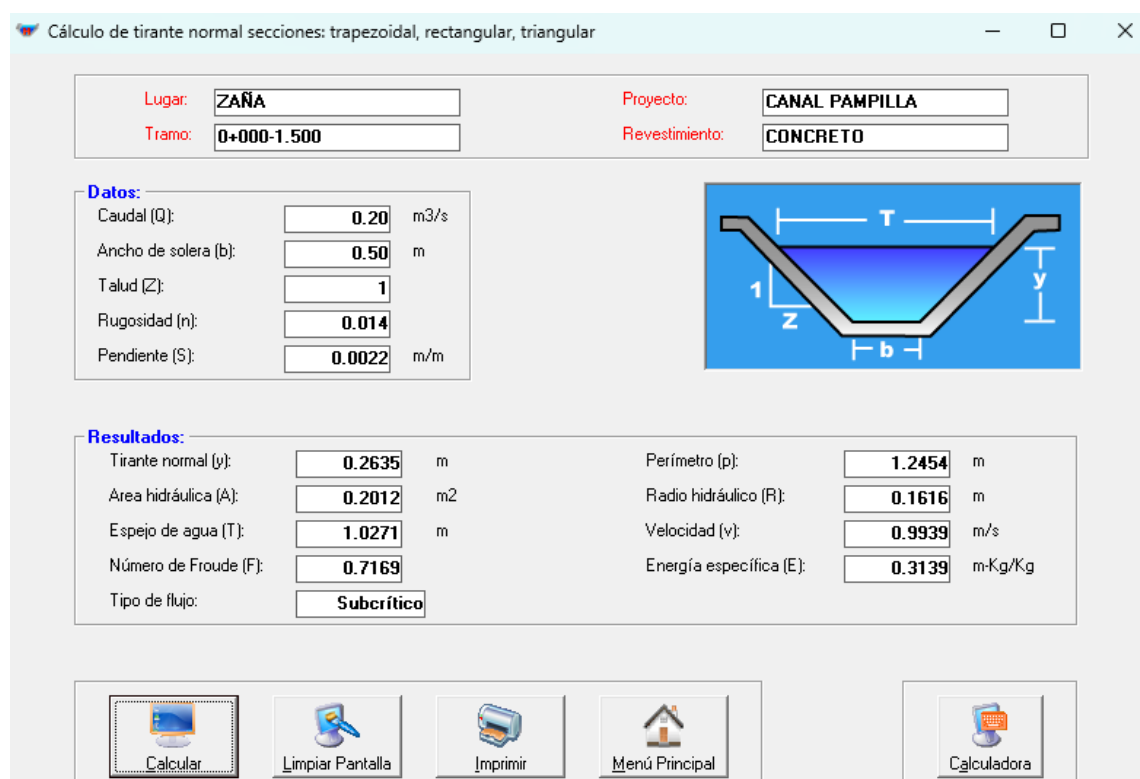


**Nota.** Obtenido del programa Hcanales v 3.0

De acuerdo a la figura 32, se puede observar que el canal trapezoidal diseñado, presenta condiciones hidráulicas óptimas para conducir el caudal de diseño de 0.20 m<sup>3</sup>/s, cumpliendo con los criterios técnicos establecidos. Con un tirante normal de 0.25 m y una sección de 0.50 m de base, el canal transporta el caudal sin riesgo de desborde, asegurando su **capacidad de conducción**. La **velocidad del flujo**, de 1.07 m/s, se encuentra dentro del rango recomendado para canales revestidos de concreto (0.5 a 2.5 m/s), evitando tanto la sedimentación como la erosión en el fondo y taludes. La **pendiente longitudinal**, de 2.7 metros por cada Kilómetro, ligeramente mayor que el valor típico mínimo, sigue siendo adecuada para el revestimiento empleado, favoreciendo el flujo por gravedad. La sección es hidráulicamente eficiente, con un área útil de 0.19 m<sup>2</sup> y un perímetro mojado de 1.21 m, lo cual proporciona un buen **radio hidráulico** de 0.16 m. Además, el flujo es **subcrítico** (número de

Froude 0.79), lo que garantiza estabilidad y facilita el control mediante estructuras hidráulicas. El **coeficiente de rugosidad** adoptado,  $n = 0.014$ , es apropiado para canales de concreto, contribuyendo a una conducción eficiente. El canal presenta un **talud de 1H:1V**, estable y seguro para el tipo de revestimiento utilizado. Dado que el canal está revestido, las **pérdidas por infiltración** se reducen al mínimo, y con la velocidad alcanzada, se controla de forma natural la sedimentación. Finalmente, el diseño hidráulico es totalmente compatible con futuras estructuras de control como compuertas, sifones o tomas laterales, asegurando la operatividad del sistema en condiciones reales de riego.

**Figura 33**  
*Características hidráulicas del canal Pampilla.*



**Nota.** Obtenido del programa Hcanales v 3.0

De acuerdo a la figura 33, se puede observar que el canal trapezoidal diseñado, presenta condiciones hidráulicas óptimas para conducir el caudal de diseño de 0.20 m<sup>3</sup>/s, cumpliendo con los criterios técnicos establecidos. Con un tirante normal de 0.26 m y una sección de 0.50 m de base, el canal transporta el caudal sin riesgo de desborde, asegurando su **capacidad de conducción**. La

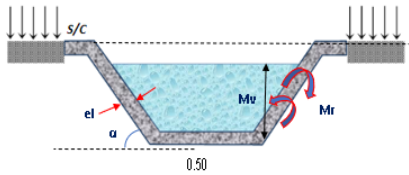
**velocidad del flujo**, de 0.9939 m/s, se encuentra dentro del rango recomendado para canales revestidos de concreto (0.5 a 2.5 m/s), evitando tanto la sedimentación como la erosión en el fondo y taludes. La **pendiente longitudinal**, de 2.2 metros por cada Kilómetro, siendo adecuada para el revestimiento empleado, favoreciendo el flujo por gravedad. La sección es hidráulicamente eficiente, con un área útil de 0.20 m<sup>2</sup> y un perímetro mojado de 1.24 m, lo cual proporciona un buen **radio hidráulico** de 0.16 m. Además, el flujo es **subcrítico** (número de Froude 0.72), lo que garantiza estabilidad y facilita el control mediante estructuras hidráulicas. El **coeficiente de rugosidad** adoptado,  $n = 0.014$ , es apropiado para canales de concreto, contribuyendo a una conducción eficiente. El canal presenta un **talud de 1H:1V**, estable y seguro para el tipo de revestimiento utilizado. Dado que el canal está revestido, las **pérdidas por infiltración** se reducen al mínimo, y con la velocidad alcanzada, se controla de forma natural la sedimentación. Finalmente, el diseño hidráulico es totalmente compatible con futuras estructuras de control como compuertas, sifones o tomas laterales, asegurando la operatividad del sistema en condiciones reales de riego.

- Diseño estructural de canales Once y Pampilla:

Figura 34  
Diseño estructural de canal tipo.

CANAL DE CONCRETO - DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DEL CANAL L2					
Proyecto:	CANAL DE CONCRETO - DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DEL CANAL				
Ubicación:	Lambayeque	Provincia:	Chiclayo	Distrito:	Cayalti

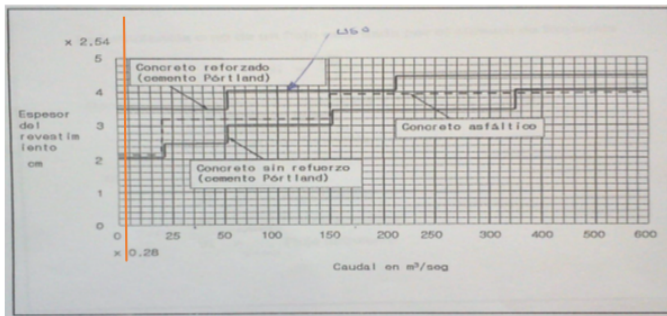
II- DISEÑO ESTRUCTURAL



características físicas del suelo	
$\gamma_s =$	1800 Kg/m <sup>3</sup>
$\Phi =$	30.00 °
características del concreto	
$f'_c =$	175 Kg/cm <sup>2</sup>
$\gamma_c =$	2400 Kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_c =$	2300 Kg/m <sup>3</sup>
$f'_y =$	4200 Kg/cm <sup>2</sup>
sobrecarga	
$S_c =$	300 Kg/m <sup>2</sup>

2.1- espesor de la losa lateral (el), espesor de losa de piso (Ep)

según el gráfico Q vs e



United States Bureau of Reclamation (USBR). (1967). Design Standards No. 3: Canals and Related Structures. U.S. Government Printing Office.

$el = 2.5 \cdot 2.54$   $el = 6.35 \text{ cm}$   $\rightarrow$  se asume  $7.00 \text{ cm}$

Para canales principales y subprincipales (el) es diferente a ep y para otros (el) es igual a Ep.

$ep = el \cdot \sqrt{2}$   $ep = 10.00 \text{ cm}$   $\rightarrow$   $0.1000 \text{ m}$

2.2- momento de vuelco (Mv)

$Mv = EY$

$H = Bl + Yn + 0.5ep$   $\rightarrow$   $H = 0.50 \text{ m}$

$h' = \frac{S}{\gamma S}$   $\rightarrow$   $h' = 0.17 \text{ m}$

coeficiente de empuje activo (Cea)

$$Cea = \left[ \frac{\frac{\text{sen}(\alpha - \Phi)}{\text{sen}\alpha}}{\sqrt{\text{sen}(\delta + \alpha)} + \frac{\sqrt{\text{sen}(\delta + \Phi)\text{sen}(\Phi - \beta)}}{\text{sen}(\alpha - \beta)}} \right]^2$$

donde:

	valores	
$\Phi =$	ángulo de fricción interna (suelo - suelo)	30 °
$\delta =$	ángulo de rozamiento (suelo - losa)	0 °
$\beta =$	ángulo que forma el talud superficial del terraplen	0 °
$\alpha =$	ángulo que forma el talud del canal	45 °

según Coulomb

$0 \leq \delta \leq \Phi$

$\delta = 0$  corresponde a un muro con cara interna lisa.  
 $\delta = \Phi$  supone un deslizamiento cercano a la capa interna del muro.

$$C_{ea} = 0.0650$$

Empuje activo o fuerza horizontal resultante

$$E = 0.5 C_{ea} \gamma s H (H + 2h')$$

$$E = 0.024 \text{ Tn}$$

Brazo o distancia al punto de giro

$$Y = \frac{H^2 + 3Hh'}{3(H + 2h')}$$

$$Y = 0.20 \text{ m}$$

$$M_v = EY$$

$$M_v = 0.005 \text{ Tn-m}$$

### 2.3- Momento de resistencia (Mr)

$$M_r = 0.5 \gamma c e l H^2 \left[ \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \alpha} \right]$$

$$M_r = 0.02 \text{ Tn-m}$$

### 2.4- cálculo del momento flector (M)

$$M = M_v - M_r$$

$$M = -0.02 \text{ Tn-m} \text{ no requiere acero de refuerzo!!}$$

Las fuerzas que genera el MOMENTO DE VUELCO (Mv) y el MOMENTO DE RESISTENCIA (Mr) son los momentos que definen el comportamiento estructural de la losa  $M_v - M_r = M$

Si el momento flexionante M es NEGATIVO, es decir  $M_v < M_r$  ( $M_v - M_r$ ), significa que la losa apoyada sobre el talud NO REQUIERE refuerzo, siempre y cuando se cumpla:

$$\frac{M_r}{M_v} \geq 1.5$$



$$4.5711 \text{ sin refuerzo}$$

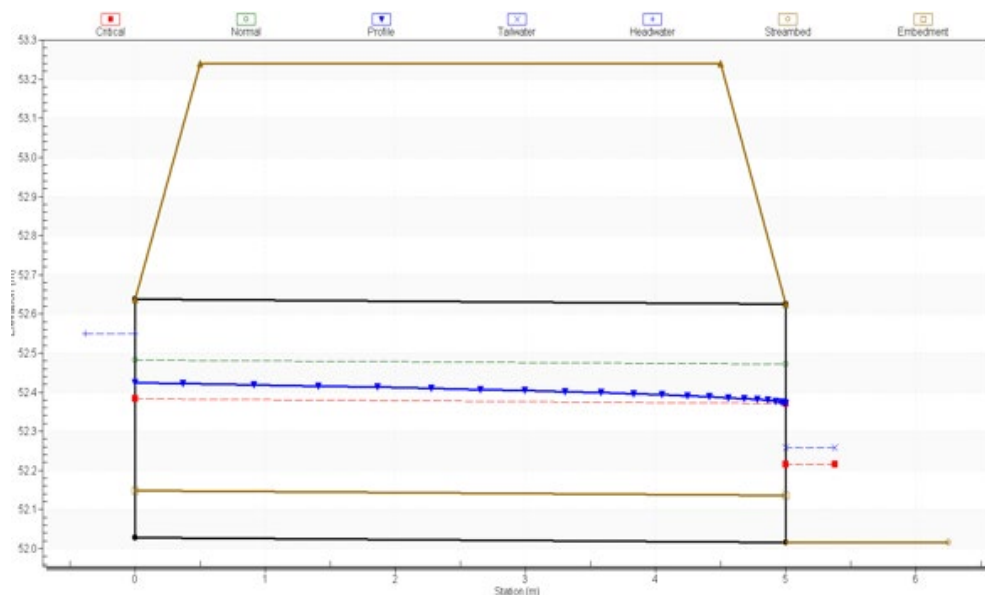
El análisis estructural del revestimiento del Canal L2 confirma que el diseño propuesto es técnica y económicamente óptimo. Basándose en la metodología de Coulomb para la evaluación de empujes laterales y siguiendo los estándares establecidos por el United States Bureau of Reclamation (USBR) para el pre-dimensionamiento, se determinó un espesor lateral de 7 cm. Y un espesor de piso de 10 cm La verificación de estabilidad revela un Factor de Seguridad al vuelco de 4.57, valor que excede ampliamente el mínimo normativo de 1.5, asegurando la estabilidad global de la estructura frente a cargas estáticas y la sobrecarga de diseño de 300 kg/m<sup>2</sup>. Asimismo, el análisis de momentos flectores confirma que el momento resistente Mr supera al momento de vuelco Mv, resultando en un momento flector neto negativo. Esto valida la hipótesis de que la estructura trabaja principalmente por gravedad, haciendo innecesaria la incorporación de acero de refuerzo. En conjunto, estos resultados demuestran que el diseño es eficiente, permitiendo reducir costos de materiales y tiempos de construcción sin comprometer la integridad estructural ni la durabilidad del canal.

OE3: Diseñar obras de arte para optimizar la eficiencia hidráulica.

- **Diseño de alcantarilla en el Canal Once ubicado en la progresiva 0 + 160**

**Figura 35**

*Diseño de alcantarilla tipo.*



**Nota.** Obtenido del programa HY-8

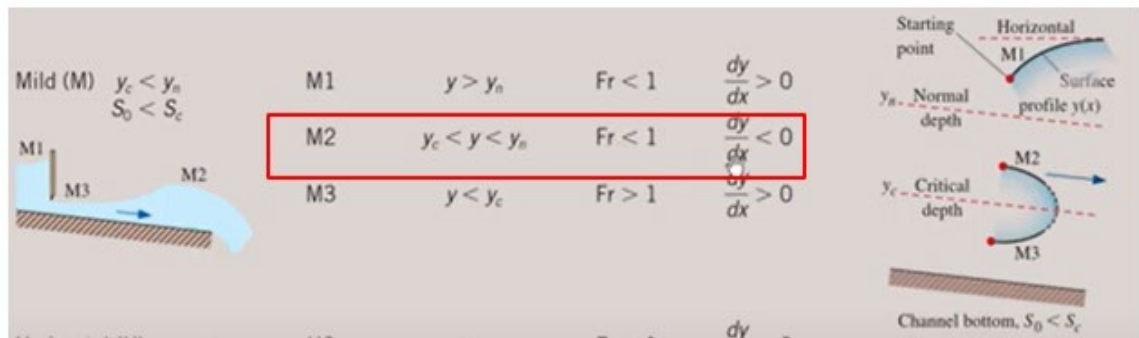
De acuerdo a la figura 35, se puede observar que tiene un tipo de flujo M2 es una de las curvas de remanso o perfiles gradualmente variados que aparecen cuando el flujo subcrítico ( $Fr < 1$ ) se desarrolla en un canal o alcantarilla.

La alcantarilla fue diseñada como una estructura de paso de un ojo circular de concreto armado prefabricado, con un diámetro interior de 0.60 m (24"), adecuada para un caudal de diseño de 200 L/s. De acuerdo con la ficha técnica, el tubo presenta un diámetro externo de 0.76 m, espesor de pared de 7.6 cm y longitudes útiles entre 1.25 m y 2.40 m, con junta hermética de hule para asegurar la estanqueidad y evitar infiltraciones laterales. La alcantarilla cuenta con un blindaje de concreto armado con acero de 3/8", lo que la hace apta para soportar paso vehicular menor. La longitud de la alcantarilla fue determinada considerando la anchura de la vía más los márgenes de transición, resultando en una longitud total del canal once y pampilla de 5 m y 5 m respectivamente. El tubo se instalará con una pendiente mínima en el canal once y pampilla de 0.27% y 0.22% respectivamente, con transición de entrada y salida en talud 4:1, y se protegerán

los extremos con cabezales de concreto ciclópeo y piedra suelta para evitar socavación. El relleno sobre el tubo será de al menos 0.60 m para tránsito rural liviano. Se incluirán juntas selladas para garantizar estanqueidad y evitar infiltraciones laterales.

En la siguiente figura se aprecia sus características:

**Figura 36**  
Flujo M2



**Tabla 6**  
Tabla de resumen de los fluidos en el cruce del canal once.

Elevación de la Cabecera (m)	Descarga Total (cms)	Descarga Alcantarilla circular (cms)	Descarga en la calzada (cms)	Iteraciones
67.35	0.00	0.00	0.00	1
67.46	0.02	0.02	0.00	1
67.51	0.05	0.05	0.00	1
67.56	0.07	0.07	0.00	1
67.60	0.10	0.10	0.00	1
67.64	0.12	0.12	0.00	1
67.68	0.14	0.14	0.00	1
67.71	0.17	0.17	0.00	1
67.75	0.20	0.20	0.00	1
67.77	0.22	0.22	0.00	1
67.81	0.24	0.24	0.00	1
68.44	0.57	0.57	0.00	Desbordamiento

*Nota.* Obtenido del programa HY-8

De acuerdo a la tabla 6 se puede observar que para que exista un desbordamiento en la alcantarilla tiene que haber un caudal de 570 litros por segundo, lo cual nos da un gran nivel de seguridad ya que si hay algún evento extraordinario solo pasaría 240 litros por segundo.

**Tabla 7**  
*Culvert Summary Table - Alcantarilla circular del canal once*

Descarga total (cms)	Descarga de alcantarilla (cms)	Elevacion de cabecera (m)	Profundidad de control de entrada (m)	Profundidad de control de salida (m)	Tipo de flujo	Profundidad normal (m)	Profundidad critica (m)	Profundidad de salida (m)	Profundidad de agua en la cola (m)	Velocidad de salida (m/s)	Velocidad del agua de salida (m/s)
<b>0.00</b>	0.00	67.35	0.00	<b>0.0</b>	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>0.02</b>	0.02	67.46	0.10	<b>0.10</b>	2-M2c	0.08	0.06	0.06	0.07	0.75	0.57
<b>0.05</b>	0.05	67.51	0.16	<b>0.16</b>	2-M2c	0.12	0.10	0.10	0.10	0.93	0.71
<b>0.07</b>	0.07	67.56	0.21	<b>0.21</b>	2-M2c	0.15	0.12	0.12	0.13	1.06	0.80
<b>0.10</b>	0.10	67.60	0.25	<b>0.25</b>	2-M2c	0.18	0.15	0.15	0.15	1.16	0.87
<b>0.12</b>	0.12	67.64	0.29	<b>0.29</b>	2-M2c	0.21	0.17	0.17	0.17	1.25	0.93
<b>0.14</b>	0.14	67.68	0.32	<b>0.32</b>	2-M2c	0.24	0.19	0.19	0.19	1.32	0.98
<b>0.17</b>	0.17	67.71	0.36	<b>0.36</b>	2-M2c	0.27	0.21	0.21	0.21	1.40	1.02
<b>0.20</b>	0.20	67.75	0.40	<b>0.40</b>	2-M2c	0.30	0.23	0.23	0.23	1.48	1.07
<b>0.22</b>	0.22	67.77	0.42	<b>0.42</b>	2-M2c	0.32	0.25	0.25	0.24	1.53	1.09
<b>0.24</b>	0.24	67.81	0.45	<b>0.45</b>	2-M2c	0.36	0.26	0.26	0.25	1.59	1.13

**Nota.** Obtenido del programa HY-8

De acuerdo a la tabla 7, se puede observar que la alcantarilla circular, enterrada con un 20% de su diámetro, presenta un comportamiento hidráulico eficiente al transportar un caudal de 0.20 m<sup>3</sup>/s. Además, señala que, bajo estas condiciones, el flujo es subcrítico tipo M2 con control crítico en la salida (M2c), lo cual indica una estabilización adecuada del flujo dentro de la estructura. La profundidad de entrada de 0.45 m y la profundidad de salida de 0.26 m, esta última coincidiendo con la profundidad crítica, aseguran una descarga eficiente. La velocidad de salida de 1.59 m/s, aunque dentro de límites aceptables, requiere protección contra erosión en la salida. La profundidad normal de 0.36 m también refleja que el flujo se mantiene cercano al equilibrio hidráulico. Los datos, incluyendo la cota de elevación de cabecera de 67.81 m y la transición de energía, respaldan la conclusión de que la alcantarilla funciona de manera óptima, garantizando capacidad de conducción y estabilidad del flujo.

**Tabla 8**

*Tabla de resumen de los fluidos en el cruce del canal pampilla.*

Elevación de la Cabecera (m)	Descarga Total (cms)	Descarga Alcantarilla circular (cms)	Descarga en la calzada (cms)	Iteraciones
52.15	0.00	0.00	0.00	1
52.25	0.02	0.02	0.00	1
52.31	0.05	0.05	0.00	1
52.36	0.07	0.07	0.00	1
52.40	0.10	0.10	0.00	1
52.44	0.12	0.12	0.00	1
52.47	0.14	0.14	0.00	1
52.51	0.17	0.17	0.00	1
52.55	0.20	0.20	0.00	1
52.57	0.22	0.22	0.00	1
52.60	0.24	0.24	0.00	1
53.24	0.58	0.58	0.00	Overtopping

**Nota.** Obtenido del programa HY-8

De acuerdo a la tabla 8 se puede observar que para que exista un desbordamiento en la alcantarilla tiene que haber un caudal de 580 litros por segundo, lo cual nos da un gran nivel de seguridad ya que si hay algún evento extraordinario solo pasaría 240 litros por segundo.

**Tabla 9**

Culvert Summary Table - Alcantarilla circular del canal pampilla

Descarga total (cm)	Descarga de alcantarilla (cm)	Elevación de cabecera (m)	Profundidad de control de entrada (m)	Profundidad de control de salida (m)	Tipo de flujo	Profundidad normal (m)	Profundidad crítica (m)	Profundidad de salida (m)	Profundidad de agua en la cola (m)	Velocidad de salida (m/s)	Velocidad del agua de salida (m/s)
0.00	0.00	52.15	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	0.02	52.25	0.10	0.10	2-M2c	0.08	0.06	0.06	0.08	0.75	0.53
0.05	0.05	52.31	0.16	0.16	2-M2c	0.12	0.10	0.10	0.12	0.93	0.66
0.07	0.07	52.36	0.21	0.21	2-M2c	0.16	0.12	0.12	0.15	1.06	0.75
0.10	0.10	52.40	0.25	0.25	2-M2c	0.19	0.15	0.15	0.18	1.16	0.81
0.12	0.12	52.44	0.29	0.29	2-M2c	0.23	0.17	0.17	0.20	1.25	0.86
0.14	0.14	52.47	0.32	0.32	2-M2c	0.26	0.19	0.19	0.22	1.32	0.91
0.17	0.17	52.51	0.35	0.36	2-M2c	0.29	0.21	0.21	0.24	1.40	0.95
0.20	0.20	52.55	0.40	0.40	2-M2c	0.34	0.23	0.23	0.26	1.48	0.99
0.22	0.22	52.57	0.42	0.42	2-M2c	0.36	0.25	0.25	0.27	1.53	1.01
0.24	0.24	52.60	0.45	0.45	2-M2c	0.41	0.26	0.26	0.29	1.59	1.04

*Nota.* Obtenido del programa HY-8

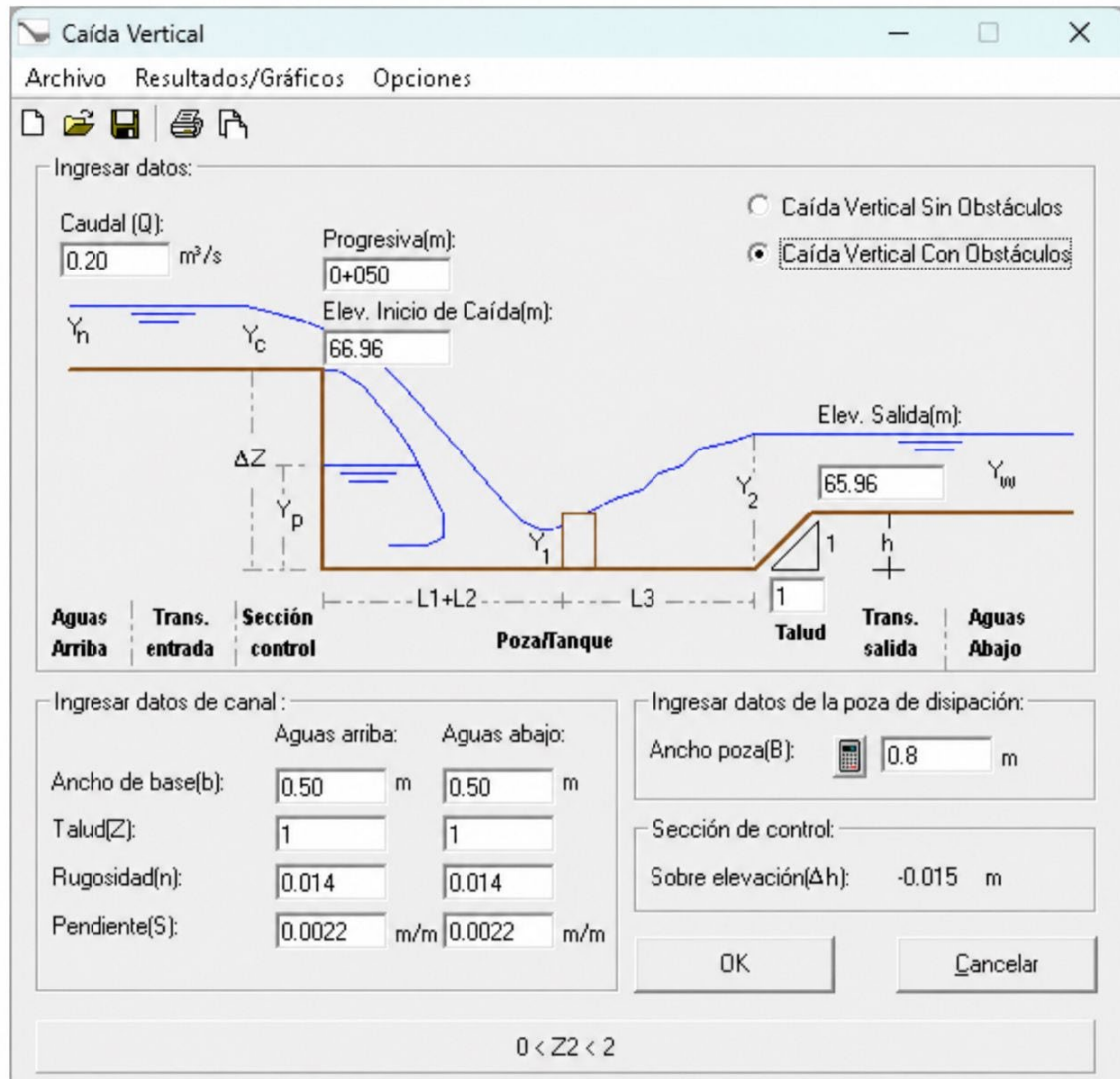
De acuerdo a la tabla 9, se puede observar que la alcantarilla circular, enterrada con un 20% de su diámetro, presenta un comportamiento hidráulico eficiente al transportar un caudal de 0.20 m<sup>3</sup>/s. Además, señala que, bajo estas condiciones, el flujo es subcrítico tipo M2 con control crítico en la salida (M2c), lo cual indica una estabilización adecuada del flujo dentro de la estructura. La profundidad de entrada de 0.45 m y la profundidad de salida de 0.26 m, esta última coincidiendo con la profundidad crítica, aseguran una descarga eficiente. La velocidad de salida de 1.59 m/s, aunque dentro de límites aceptables, requiere protección contra erosión en la salida. La profundidad normal de 0.41 m también refleja que el flujo se mantiene cercano al equilibrio hidráulico. Los datos, incluyendo la cota de elevación de cabecera de 52.60 m y la transición de energía, respaldan la conclusión de que la alcantarilla funciona de manera óptima, garantizando capacidad de conducción y estabilidad del flujo.

a) Canal Pampilla:

- Diseño de caída vertical ubicado en la progresiva 0 + 050:

Figura 37

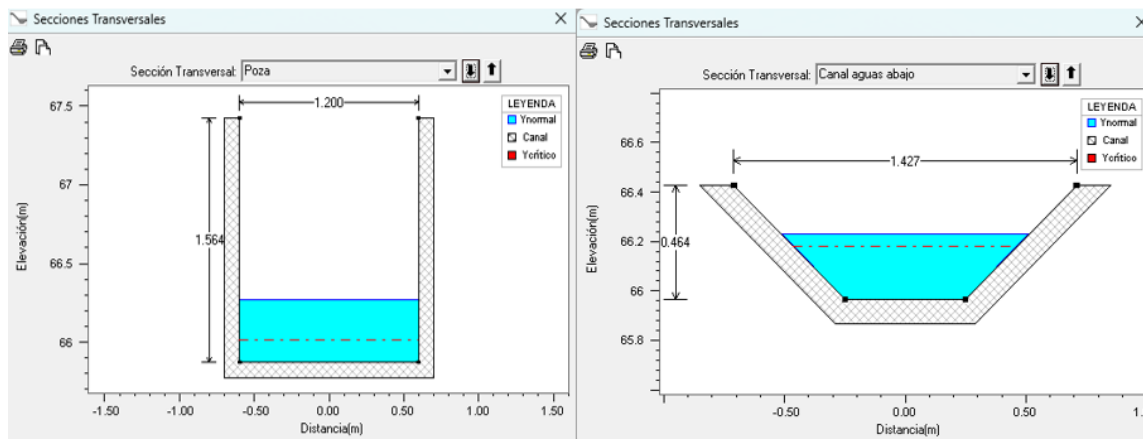
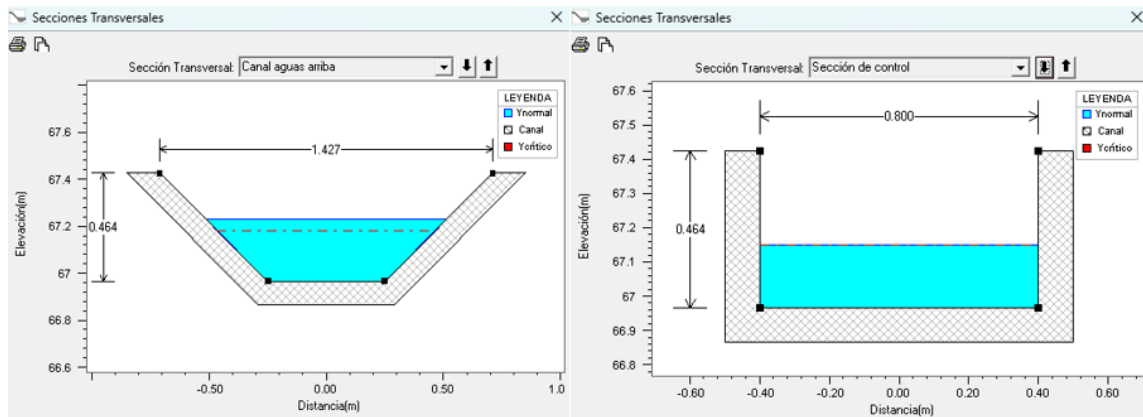
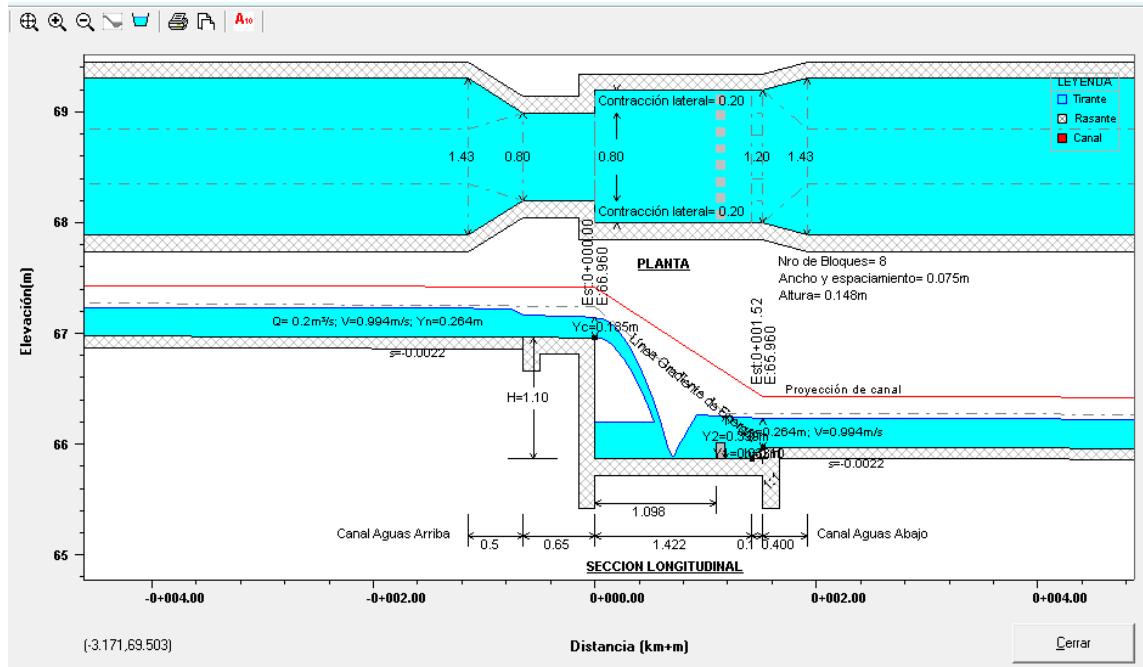
Datos de la caída vertical



**Nota.** Obtenido del programa Rápidas V1.0

De acuerdo a la figura 37 se puede observar los datos de la caída vertical. Se hará una poza con dado para un mejor desarrollo hidráulico.

**Figura 38**  
*Perfil hidráulico de la caída.*



**Nota.** Obtenido del programa Rápidas V1.0

De acuerdo a la figura 38 se puede observar las características de la caída vertical tanto en planta como en perfil y secciones transversales, los cuales no generan ningún problema hidráulico.

El diseño hidráulico de la caída vertical de 1.00 m con bloques disipadores es apropiado y seguro para un caudal de 0.20 m<sup>3</sup>/s en canal revestido.

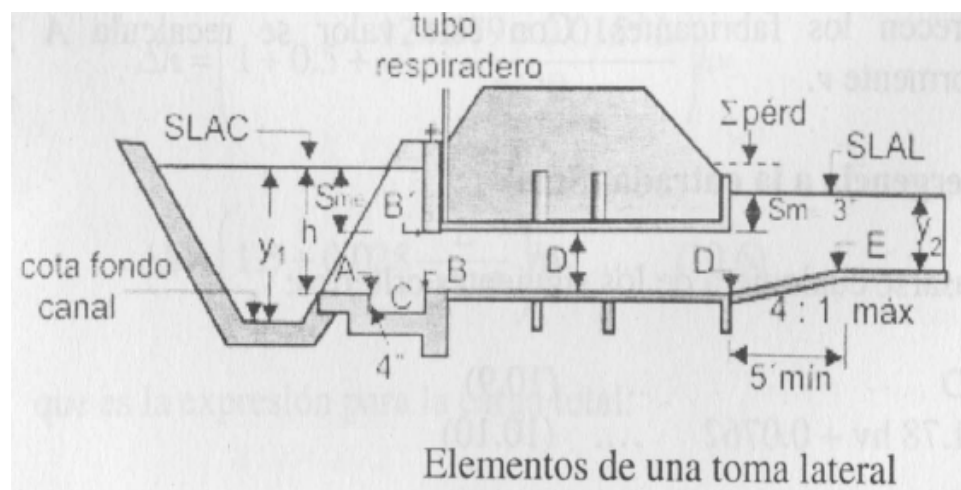
Los obstáculos dentro de la poza aseguran una disipación eficiente de energía, control del flujo y evitan erosión o cavitación.

Cumple los criterios de la Autoridad Nacional del Agua para caída con obstáculos: permite caída >1 m sin necesidad de cambiar a una caída inclinada, porque la energía se disipa eficazmente con la ayuda de los bloques.

La estructura incluye fondo revestido en concreto y muros laterales de protección, asegurando su funcionamiento sin erosión o socavación en condiciones normales de operación.

### Figura 39

#### *Elementos de una toma lateral*



De acuerdo a la figura 39, el análisis hidráulico realizado para la toma lateral ubicado en la progresiva 0 + 136 del Canal Pampilla, demuestra que el diseño propuesto cumple con los parámetros técnicos requeridos para derivar un caudal de 100 L/s desde el canal principal hacia el canal lateral. Se determinó un diámetro de tubería de 0.3048 m (12"), el cual garantiza velocidades adecuadas (1.371 m/s) y pérdidas de carga reducidas (0.209 m en total). Las sumergencias

a la entrada y salida se encuentran dentro de los valores recomendados, y la longitud de la tubería (3 m) respeta las guías técnicas que sugieren entre 6 y 10 veces el diámetro interno. Asimismo, la inclinación de la transición de salida es aceptable, evitando problemas de erosión y asegurando una conexión estable. En conjunto, estos resultados confirman que la estructura funciona hidráulicamente de manera eficiente y segura, cumpliendo con los criterios de diseño establecidos para este tipo de obras.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos acerca del diseño hidráulico del sistema de riego para mejora de la eficiencia de conducción en los canales de riego: once y pampilla, Cayaltí - Zaña, Lambayeque, se pudo realizar la siguiente comparativa que permitió identificar las diferencias y semejanzas:

Relativo al objetivo específico 1, Se identificó que las pérdidas por infiltración en canales no revestidos comprometen la operatividad de la conducción, reduciendo su eficiencia en un 13.3% en el tramo del canal Once y en un 12.5% en el tramo del canal Pampilla. Este efecto se origina principalmente por las filtraciones que ocurren ante la ausencia de revestimiento en las estructuras de conducción. Este resultado tuvo puntos de coincidencias con diversos autores como Wanyma y Bwambale (2024) que dieron a conocer que el hecho de revestir canales de riego conlleva una mejora en la eficiencia de flujo aproximada del 48% y una mejora del 20% en las condiciones de flujo. Asimismo, se tiene el informe de Zakir et al. (2023) que reportaron cifras que oscilaban en mejoras del 37% a 39%. En un plano más regional, estudios como el de Ticona (2024) obtuvieron pérdidas de filtraciones que oscilaban entre el 7 % y el 9 %, afectando de este modo de manera notable la eficiencia hidráulica. En la misma línea, Malca (2023) determina que la infiltración es la principal causa de pérdidas de agua, con cifras que rondan el 11%, cifras que coinciden en el rango y en la misma tendencia con las del estudio de ambos canales que se han analizado.

Estas evidencias subrayan que una de las principales razones para implementar revestimientos en canales de riego es, precisamente minimizar la fuga de caudales debido a la infiltración, propiciando una mejora sustancial en la eficiencia hidráulica. Así, la defensa y aplicación de tecnologías sobre revestimientos en canales de riego es importante para reducir las pérdidas de agua, para mejorar la eficiencia de los sistemas y, por fin, avanzar hacia un mejor manejo sustentable de los recursos hídricos de la región.

Con relación al objetivo específico 2, se identificaron los criterios hidráulicos que aseguran que el canal del riego cumpla correctamente su función, los cuales

fueron: En el análisis del canal Once, se corroboró que las condiciones hidráulicas son óptimas para conducir un caudal de  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , y se cumplen con los requisitos técnicos establecidos ; es más , se logró definir un tirante de  $0.25 \text{ m}$ , una base de  $0.50 \text{ m}$ , una velocidad de  $1.1 \text{ m/s}$ , una pendiente de  $2,7$  metros por kilómetro, un área de  $0.19 \text{ m}^2$  , un perímetro mojado de  $1.20 \text{ m}$ , y el flujo es subcrítico, con un número de Froude de  $0.79$ . La rugosidad del canal se clasifica en  $n=0.014$ , y la relación de los taludes es de  $1\text{H}:1\text{V}$ . Como el canal está revestido con una  $f_c'=175 \text{ kg/cm}^2$  con espesores de  $7$  y  $10 \text{ cm}$  laterales y de base respectivamente, se minimizan las pérdidas por infiltración a un  $0.08\%$ , logrando hacer la operación eficiente y segura. En el caso del canal Pampilla, se evidenció que se cumplen las condiciones hidráulicas necesarias para transportar el caudal de  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , cumpliéndose el tirante correspondiente de  $0.26 \text{ m}$ , espera una base de  $0.50 \text{ m}$ , garantizando así una adecuada capacidad y seguridad contra desbordes. La velocidad de  $0,99 \text{ m/s}$  comprobada se encuentra dentro del margen adecuado, evitando con ello sedimentación y erosión del canal. La pendiente de  $2,2$  metros por kilómetro y sección eficiente aseguran un flujo estable y controlable, manteniendo un flujo subcrítico y bajo riesgo de causar problemas operativos. El revestimiento de concreto  $f_c'=175 \text{ kg/cm}^2$  con espesores de  $7$  y  $10 \text{ cm}$  laterales y de base respectivamente favorece cuando se requiere la operación y futuro cambio del mismo, manteniendo pérdidas mínimas de  $0.08\%$  en el canal y facilitando una mejora en la gestión del sistema de riego.

Estos resultados son conformes con el realizado por Campos (2023) mostrando una visión más global y macroeconómica basada en el diseño y planificación de sistemas de canales de riego a mayor escala en la región, indicando que la correcta determinación de los criterios hidráulicos es clave para el aprovechamiento del agua, minimizando las pérdidas, evitando los problemas relacionados con la sedimentación e igualmente el mantenimiento del sistema a largo plazo, y en esta misma línea , Fatxulloyev et al. (2020) los resultados que llegaron a obtener indicaron que mediante la correcta determinación y optimización de criterios hidráulicos era evidente que se garantizaban los mejores resultados de utilización del agua, mejorando la forma de manejar el recurso , lo

cual se traduce en maximizar la capacidad de distribución , minimizar las pérdidas por filtración y evaporación , y contar con mayor certeza y confiabilidad del suministro hídrico para garantizar una mayor seguridad y estabilidad del acceso al agua por parte de los usuarios.

Por último, el objetivo específico 3 del diseño del arte, para la regularización de la eficiencia conducción, consiste principalmente en comprobar que la alcantarilla circular enterrada con un 20% de su diámetro del canal. Pampilla mostró un rendimiento hidráulico adecuado para el transporte de  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$  tendiendo a flujo subcrítico de tipo M2c, una profundidad de entrada de 0.45 m y salida de 0.26 m, velocidad de salida aceptable de 1.59 m/s y profundidad normal de 0,41 m; en cuanto al diseño de la caída vertical, se diseñó la altura para un caudal de 200 L/s a una altura de 1m y una poza de disipación de aproximadamente 1,5 m de longitud. Se verificó que para el canal once Una vez la alcantarilla circular enterrada con un 20% de su diámetro, tenía un comportamiento hidráulico óptimo con un caudal de  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , con flujo subcrítico tipo M2c, una profundidad de entrada 0.45 m y salida 0.26 m, una velocidad de salida óptima de 1.59 m/s y profundidad normal aproximada de 0.36 m. En cuanto a la toma lateral circular con un diseño de 200 l/s para ambos canales, la toma se dimensionó con una tubería de 5m de longitud y un diámetro de 0.5334m (21") garantizando una velocidad de 0.9 m/s y pérdida de carga total de 0,075 m. Estos resultados se contrastan indistintamente con los trabajos de Asalde (2020), en el que se demuestra que incorpora obras de arte en el diseño hidráulico, murales que están conectados a la importancia del agua, incluso comentando la tecnología e innovación para la gestión del agua podrán generar un impacto que sensibilice a la comunidad y de este modo obtener prácticas más responsables y eficientes sobre el uso de los recursos hídricos. Se contrastan también con las recomendaciones de Tello y Sánchez (2016), donde se indica que el diseño de obras de arte hidráulico es importante para poder garantizar lo óptimo en el transporte y distribución de agua en diversos sistemas de transporte, drenaje y riego, y poner el acento en la incorporación de aspectos funcionales y estéticos en estas obras.

Con todo ello, la expectativa de la comparación de estos estudios y resultados pone de manifiesto la importancia del diseño de obras de arte hidráulico según las características de la propia obra, obteniendo un compromiso entre lo óptimo, la seguridad, los costos y la sostenibilidad de las obras de arte hidráulico producidas. Así mismo, la realización de una correcta selección del diseño de esta extensión convirtiendo de este modo la extensión en algo capaz de hacer optimizar el comportamiento hidráulico y así mismo tener un impacto en la percepción social del extensionismo hidro económico que se puede establecer, además de promulgar prácticas más responsables en la gestión del recurso hídrico.

## CONCLUSIONES

PRIMERA: Respecto al objetivo específico 1, se determinó que las pérdidas por infiltración en canales sin revestimiento afectan de manera significativa la eficiencia de conducción del sistema de riego. Los resultados evidenciaron que dichas pérdidas reducen la eficiencia de conducción en un 13.3% en el canal Once y un 12.5% en el canal Pampilla, valores que reflejan el impacto negativo de operar sin revestimiento, puesto que la ausencia de este favorece la fuga del recurso hídrico a lo largo del trayecto de conducción. Asimismo, se identificó que la carencia de reglas limnimétricas en las tomas constituye una limitación crítica para la medición y el control del caudal, impidiendo conocer con exactitud el volumen de agua que ingresa a cada canal. En consecuencia, la instalación de reglas limnimétricas en las tomas se convierte en una herramienta indispensable para mejorar la medición, el registro y la administración eficiente del recurso hídrico, contribuyendo a una gestión más ordenada y sostenible del sistema de riego.

SEGUNDA: Respecto al objetivo específico 2, la verificación de los criterios hidráulicos para ambos canales de riego Once y Pampilla pone de manifiesto el cumplimiento de la conductibilidad de los mismos. El canal Once transporta un caudal de 0.20 m<sup>3</sup>/s, acompañado de un tirante de 0.25 m, velocidad de 1.07 m/ s, con una pendiente de 2.7 metros por Kilómetro y un revestimiento de espesores de 7 y 10 cm laterales y de base respectivamente, algo que favorece el poder conducir un flujo subcrítico y con un mínimo de 0.08% en pérdidas respecto a su revestimiento.

De la igualdad, el canal Pampilla, con un tirante de 0.26 m, velocidad de 0.99 m/ s, pendiente de 2.2 metros por Kilómetro y un revestimiento de espesores de 7 y 10 cm laterales y de base respectivamente, llega a asegurar la capacidad y la seguridad de operación de dicho canal. Los canales cuentan en términos generales con condiciones hidráulicas estables, controladas y de mínimo riesgo de fallo, lo que favorece una administración eficaz y segura sobre el sistema de riego.

TERCERA: Dentro del objetivo específico 3, para el caso del canal Pampilla el diseño de alcantarillas circulares enterradas con un 20% del diámetro, este es eficiente hidráulicamente pudiendo ser capaz de transportar  $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$  con un flujo subcrítico tipo M2c, siguiendo las condiciones de profundidad, velocidad, profundidad normal y con un salto vertical adecuado y las pozas disipadores de longitud 1.5 m en la caída vertical.

Para el caso del canal Once el diseño de alcantarillas circulares enterradas con un 20% del diámetro, este es eficiente hidráulicamente pudiendo ser capaz de transportar  $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$  con un flujo subcrítico tipo M2c, siguiendo las condiciones de profundidad, velocidad y profundidad normal. Por último, las dimensiones de la toma lateral circular en ambos canales, garantizó una velocidad de 1.37 m/s y una pérdida de carga total de 0.209m. Dichos hallazgos indican que la estructura funciona hidráulicamente de manera eficiente y segura.

## RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se propone las siguientes acciones para mejorar el desempeño hidráulico de los canales evaluados:

PRIMERA: Los resultados evidencian que la infiltración constituye el principal mecanismo de pérdida en los canales sin revestimiento, afectando directamente la eficiencia de conducción. Por ello, se recomienda continuar con el revestimiento de los tramos evaluados, ya que esta intervención reduce de forma significativa las pérdidas volumétricas y mejora el comportamiento hidráulico del flujo.

En el caso del canal Once, se identificó que el tramo en tierra presenta pérdidas del 13.3% del caudal, un valor relevante para una longitud de solo 2.3 km, ya que disminuye la eficiencia general del sistema y limita la disponibilidad de agua en los sectores ubicados aguas abajo. Pero si el canal operara con un revestimiento de 175 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia con un espesor lateral de 7cm y un espesor de base de 10 cm las pérdidas se reducirían a 0.08 % (anexo 2 y 3), lo que representa una mejora respecto al canal en tierra.

De manera similar, en el canal Pampilla se observa que el revestimiento de 175 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia con un espesor lateral de 7cm y un espesor en la base de 10 cm (anexo3) contribuye a disminuir tanto las pérdidas por infiltración como las pérdidas energéticas a un 0.06% a lo largo del recorrido. Al comparar las pérdidas en ambos tipos de sección, el canal en tierra pierde mucha más agua que el revestido, lo que confirma que el uso de concreto incrementa notablemente la eficiencia hidráulica y asegura una mayor disponibilidad de caudal en los puntos de entrega.

Por otro lado, las pérdidas obtenidas mediante aforos en campo (13.3% en el canal Once y 12.50% en el canal Pampilla) reflejan la pérdida real del sistema durante la conducción (anexo2). Estas pérdidas incluyen no solo infiltración, sino también efectos adicionales como obstrucciones, fugas, variaciones del tirante, vegetación y el impacto del nivel freático.

Desde la perspectiva operativa, esto confirma que el revestimiento constituye una medida eficaz para reducir las mermas de caudal, mejorar el control hidráulico y garantizar una mayor disponibilidad de agua en los puntos de entrega.

SEGUNDA: Dado que ambos canales cumplen con las condiciones hidráulicas óptimas para su funcionamiento, se recomienda mantener y realizar monitoreos periódicos garantizando así que las condiciones hidráulicas de flujo, velocidad y pendiente se mantienen. También se recomienda realizar controles periódicos para medir los parámetros y alertar posibles desviaciones, con la finalidad de garantizar la estabilidad y seguridad del sistema hidráulico, se pretende mejorar la eficiencia en el manejo del agua y disminuir la probabilidad de fallas estructurales o pérdidas de caudal durante la operación.

TERCERA: A propósito del diseño de alcantarillas circulares enterradas, se recomienda mantener y conservar las dimensiones y configuraciones actuales pues se ha demostrado su eficiencia hidráulica. Igualmente, es conveniente realizar controles periódicos para garantizar la integridad de las estructuras y la disipación de energía en las pozas, asegurando la continuidad y la seguridad del sistema conductor del fluido.

Finalmente, si en futuras evaluaciones se han detectado mayores volúmenes de agua y/o cambios en las condiciones de operación, considere la posibilidad de realizar ajustes en el diseño para mantener la eficiencia hidráulica. Además, se recomienda un seguimiento periódico de la velocidad en la toma lateral y de la pérdida de carga real para verificar que se mantengan los valores de seguridad. Como líneas de trabajo futuras, podría ser útil realizar análisis adicionales (modelación transitoria, estudios de sedimentación a largo plazo y evaluaciones de sensibilidad ante variaciones de diámetro y caudal) para robustecer la confiabilidad operativa y optimizar el rendimiento ante escenarios contingentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aceituno, C. (2020). *Trucos y secretos de la praxis cuantitativa* (Primera edición ed.). Cusco: Ediciones Repalain. Retrieved 26 de Enero de 2023.
- Agencia Peruana de Noticias. (7 de Lima de 2024). *Lambayeque: cultivan 2,000 hectáreas de producto de agroexportación en el valle de Zaña*. <https://andina.pe/agencia/noticia-lambayeque-cultivan-2000-hectareas-producto-agroexportacion-el-valle-zana-1003034.aspx>
- Arias, J., & Covino, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación* (Primera edición ed.). Arequipa.
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis*. Puno, Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.
- Arrógila, S., & Betanco, J. (2021). Eficiencia energética: una tarea para las universidades. *Revista Científica Estelí*, 166 - 177. <https://revistas.unan.edu.ni/index.php/Cientifica/article/view/2106>
- Asalde, J. (2020). *Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el Software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el distrito de salas, región Lambayeque*. [Tesis pregrado, Universidad San Martín de Porres]. [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6942/asalde\\_yjw.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6942/asalde_yjw.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Asalde, J. (2020a). *Diseño de canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC - RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el distrito de Salas región Lambayeque*. [Tesis pregrado, Universidad San Martín de Porres]. [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6942/asalde\\_yjw.pdf](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6942/asalde_yjw.pdf)
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hidrico*. ANA. [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1\\_0\\_2.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf)
- Campos, E. (2023). *Diseño hidráulicos de canales primarios y secundarios para riego en el bloque 4 de la margen derecha del río Tempisque Paacume-Senara*. {Tesis de pregrado}, Universidad de Costa Rica. <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2024/01/TFG-EstebanCamposCoto.pdf>

- Capcha, G., & Martinez, F. (2021). *Evaluación de eficiencia hidráulica de canales de riego por gravedad - canal Huayao, Chupaca, Junín 2021*. [Tesis pregrado, Universidad Continental]. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11093/2/IV\\_FIN\\_105\\_TE\\_Capcha\\_Martinez\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11093/2/IV_FIN_105_TE_Capcha_Martinez_2021.pdf)
- Castro, E. (2021). *Diseño del Canal de Riego "El Rio", Distrito de Chochope, Lambayeque, Lambayeque*. {Tesis Pregrado, Universidad Cesar Vallejo}. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61526>
- Chiclote, O. (2017). *Evaluación de la eficiencia de conducción del canal de riego el Progreso Mayanal - Jaén - Cajamarca, tramo: km, 00+000 -01+000*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1522/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dirección de Normatividad de Infraestructura Hidráulica y Riego - DNIHR. (2023). *Inventario de infraestructura hidráulica-nacional*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5552837/4936000-reporte-de-inventario-de-infraestructura-hidraulica-nacional-diciembre-2023.pdf>
- Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Ministerio de Agricultura y Riego. [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)
- Estela, R., Danducho, J., Chiclote, S., Incio, F., Santamaría, N., Fernández, R., . . . Castro, D. (2022). Métodos numéricos aplicados al cálculo hidráulico en canales de regadío de Bagua. *Revistade Investigación Científica DEKAMUAGROPEC*, 3(1). <https://revista.unibagua.edu.pe/index.php/dekamuagropec/article/view/70/44>
- Fatxulloyev, A., Gafarova, A., Otakhonov, M., & Allayorov, D. (2020). The hydraulic efficiency of the soil channels. *CONMECHYDRO*, 883. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/883/1/012042/pdf>
- Gonzalez, D. (2020). Diseño del modelo hidráulico virreinal utilizado en Centro Histórico de Lima para abastecimiento de agua. *Revista De Estudios Sobre Patrimonio Edificado*, 7(14). <https://revistas.uni.edu.pe/index.php/devenir/article/view/811>
- Gonzalez, D. (2020). Diseño del modelo hidráulico virreinal utilizado en Centro Histórico de Lima para abastecimiento de agua. *Revista De Estudios Sobre Patrimonio Edificado*, 7(14). <https://revistas.uni.edu.pe/index.php/devenir/article/view/811>

- Grundfos Ecademy. (2020). *Principios básicos de la pérdida por fricción*. <https://www.grundfos.com/es/learn/ecademy/all-courses/basic-hydraulics-and-pump-performance/basic-hydraulics>
- Iñiguez, M., Ojeda, W., Flores, J., & Díaz, C. (2022). Una función para la gestión hidrosistémica: programación de riegos, demanda y capacidad de conducción de canales. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 12(1). [https://scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262020000100041&script=sci\\_arttext&tlng=es](https://scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262020000100041&script=sci_arttext&tlng=es)
- Jimenez, J. (2017). *La eficiencia de conducción en el canal Troncal tramo no revestido progresiva 5+400 - 5+900; tramo revestido progresiva 17+006 - 17+506 - caso comision de usuarios margen izquierda del rio tumbes 2017*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/320/TESIS%20-%20JIMENEZ%20BENAVIDES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- León, J., Tacle, P., Silva, J., & Lema, C. (2022). Diseño y aplicación del método de riego por gravedad en el cultivo de papa en la estación experimental tunshi. *Polo del conocimiento*, 7(9), 1542 - 1552. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9401529.pdf>
- Luis, V., & Terrones, N. (2019). Evaluación hidráulica de la disipación de energía en cuatro tipos de cuencos amortiguadores, bajo condiciones de flujo variable. *Revista Ingeniería UC*, 26(2). <https://www.redalyc.org/journal/707/70760276005/70760276005.pdf>
- Mancilla, M. (2024). Midiendo la realidad: El papel de las variables en la investigación científica. 5(2). <https://revistadusac.com/index.php/revista/article/view/79/112>
- Mendoza, A., & Aguilar, A. (2020). Determinación de la velocidad de corte en un flujo de canal abierto de baja pendiente. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 10(1). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262018000100003&script=sci\\_arttext&tlng=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262018000100003&script=sci_arttext&tlng=es)
- Ministerio de Agricultura. (2008). *Plan estratégico regional del sector agrario de Lambayeque 2009 - 2015*. [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/transparencia/planes\\_estrategicos\\_regionales/lambayeque.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/transparencia/planes_estrategicos_regionales/lambayeque.pdf)
- Moreira, S., Vélez, D., & Valencia, X. (2024). Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning en un tramo del río. *Revista polo del conocimiento*, 9(3). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>
- Perez, G. (2016). *Manual de obras hidráulicas*. Univeridad Continente Americano. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-continente-americano/calculo/manual-de-obras-hidraulicas-ing-giovene-perez-campomanes-civil-geeks/10491365>

- Redes. (2025). *Dato Regional Lambayeque | Líder en producción de arroz*.  
<https://www.redesarrollo.pe/multimedia/dato-regional-lambayeque-lider-en-produccion-de-arroz/>
- Riego, D. G. (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*.  
[https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)
- Rosas, F., Tejada, S., & Canaza, F. (2021). Estimación del caudal a partir de la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala aplicado en flujo a superficie libre. *Gaceta Técnica*, 22(1), 53 - 65.  
<https://www.redalyc.org/journal/5703/570365587001/570365587001.pdf>
- Santiago, F., & Silva, W. (2019). Modelo Hidráulico para Redes de Canales con Estructuras Hidráulicas. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(7).  
[https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/4267/3842](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4267/3842)
- Santiago, F., & Silva, W. (2019). Modelo Hidráulico para Redes de Canales con Estructuras Hidráulicas. *Tecnología en Marcha*, 32(100).  
[https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/4267/3842](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4267/3842)
- Serrano, D., Cerpa, F., & Guitiérrez, G. (2021). Análisis de las pérdidas de carga en flujo turbulento en un laboratorio universitario de mecánica de fluidos. *Información tecnológica*, 32(4).  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642021000400003](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642021000400003)
- Tacle, P., & Tacle, C. (2021). Diseño de una metodología para análisis de flujo de una tubería de conducción. *Dominio Ciencias*, 7(6).  
<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2221>
- Tarrillo, R. (2021). *Diseño Hidráulico del canal L-02 Angolo, en el Distrito de Mórrope, Lambayeque - 2018*. [Tesis Pregrado, Universidad Cesar Vallejos]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64709>
- Tello, P., & Sánchez, F. (2016). *Estudio hidrológico y diseño hidráulico de obras de captación y conducción para la implementación de un nuevo sistema de riego en una tierra de cultivo para palta*. [Tesis pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].  
[https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/621676/TELLO\\_SP.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/621676/TELLO_SP.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ticona, V. (2024). *Evaluación de las pérdidas de conducción y mejoramiento de la eficiencia hidráulica en el canal de riego Yesera, Magollo, Vilacollo - Quilahuani - Candarave - Tacna, tramo: km 004 + 200 hasta 006 + 700*. [Tesis pregrado, Universidad Continental].  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15846>

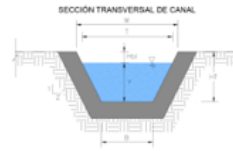
- Villón, M. (2005). *Diseño de estructuras hidráulicas*.  
[https://www.academia.edu/15060629/Dise%C3%B1o\\_de\\_estructuras\\_hidr%C3%A1ulicas](https://www.academia.edu/15060629/Dise%C3%B1o_de_estructuras_hidr%C3%A1ulicas)
- Vinelli, M. (2021). *La brecha de infraestructura de riego en el sector agropecuario*. esan.  
<https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/la-brecha-de-infraestructura-de-riego-en-el-sector-agropecuario>
- Wanyama, J., & Bwambale, E. (2024). Hydraulic modelling of irrigation canals for improved flow conditions in surface irrigation systems. *Journal of hydraulic Engineering*, 30(1).  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09715010.2023.2245785>
- Zakir, G., Akram, M., Punthakey, J., Shabir, G., Azis, M., Sultan, M., . . . Majeed, F. (2023). Evaluation of hydraulic efficiency of lined irrigation channels – A case study from Punjab,. *Hydrology Research*, 54(4), 523.  
[https://researchoutput.csu.edu.au/ws/portalfiles/portal/365098749/365093400\\_Published\\_article.pdf](https://researchoutput.csu.edu.au/ws/portalfiles/portal/365098749/365093400_Published_article.pdf)

# ANEXOS

## Anexo 1. Desarrollo del diseño hidráulico del canal Once.

1. Datos iniciales:  
 Caudal: 0.2 m<sup>3</sup>/s  
 Talud: 1  
 Rugosidad: 0.014  
 Pendiente: 0.0027 m/m

Ecuacion de Manning (1):  $Q = \frac{A \times R^{2/3} \times \sqrt{S}}{n}$   
 Ecuacion de máxima eficiencia hidráulica (2):  $\frac{b}{2y} = \sqrt{1+z^2} - z$   
 donde:  
 Q= caudal(m<sup>3</sup>/s)  
 A= Área (m<sup>2</sup>)  
 Rh= Radio Hidráulico (m)  
 n= Coeficiente de Rugosidad  
 S= Pendiente (m/m)  
 y= Tirante (m)  
 b= Ancho de fondo (m)  
 z= Talud (m)



COEFICIENTE DE RUGOSIDAD n			
Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
Canales revestidos o desarmables			
Concreto			
Terminado con lana de madera	0.013	0.015	0.018

Fuente: Hidráulica de canales abiertos. Ven Te Chow

2. Con las ecuaciones (1) y (2) conformamos el sistema de ecuaciones no lineales y partimos de los valores preliminares de "y" y "b", de donde finalmente se obtiene

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

$$Q = \frac{(b + zy)y \times \left(\frac{(b + zy)y}{(b + 2y\sqrt{1+z^2})}\right)^{2/3} \times \sqrt{S}}{n}$$

$$Q = \frac{(0.83y^2 + 1y^2) \left[ \frac{0.83y^2 + 1y^2}{0.83y + 2.83y} \right]^{2/3} \times \sqrt{0.0027}}{0.014}$$

$$Q = \frac{1.83y^2 \left[ \frac{1.83y^2}{3.66y} \right]^{2/3} \times 0.052}{0.014}$$

$$0.20 = \frac{1.83y^2 (0.50y)^{2/3} \times 0.052}{0.014}$$

$$0.0539 = 1.15 y^{8/3}$$

$$0.3172 = y$$

Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
Rectangular	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b
Trapezoidal	(b+zy)y	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	b + 2zy
Triangular	zy <sup>2</sup>	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	2zy
Circular	$(\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^3}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2}) D$ o $2\sqrt{y(D-y)}$
Parabólica	$2\theta T y$	$T + \frac{\theta y^2}{3T}$	$\frac{2T^2 y}{3T + \theta y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

3. Consideremos el valor de b el siguiente entero para una mayor trabajabilidad:

$$b = 0.6$$

4. Con ello calculamos el valor del tirante por medio de la ecuacion de manning:

$$Q = \frac{(b + zy)y \times \left(\frac{(b + zy)y}{(b + 2y\sqrt{1+z^2})}\right)^{2/3} \times \sqrt{S}}{n}$$

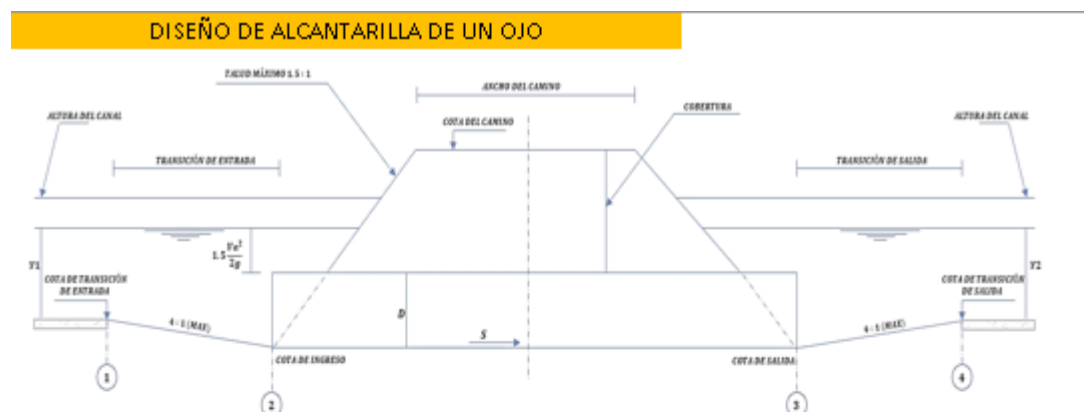
$$0.20 = \frac{(0.60y + 1.00y^2) \left[ \frac{(0.60y + 1.00y^2)}{(0.60 + 2.83y)} \right]^{2/3} \times \sqrt{0.0027}}{0.014}$$

y = 0.23  
b = 0.6

### 5. Características hidráulicas:

Tirante (m):	y = 0.23 m	Velocidad:	V = 1.06 m/s
Área (m <sup>2</sup> ):	A = 0.19 m <sup>2</sup>	Espejo de agua:	T = 1.06 m
Perímetro (m):	P = 1.25 m	Energía Especific	En = 0.29 m
Radio Hidráulico(m)	Rh = 0.15 m	N° de Froud	Fr = 0.80 < 1 flujo subcritico
Borde Libre (30% V)	BL = 0.2 m	Altura total	H = 0.50 m

## Desarrollo del diseño hidráulico de alcantarilla del canal Once.



### Datos de la alcantarilla para el cruce de un camino parcelario:

- $n = 0.014$
- $S = 0.0027$
- Ancho del camino = 4.00 m
- Pendiente a la orilla del camino 1.5:1 =  $z_1$
- Cota de transición de entrada 67.63 m.s.n.m
- cota de transición de salida 67.59 m.s.n.m
- Cobertura = 0.60 m

### Datos del canal:

- $Q = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$
- $V^2/2g = 0.02$
- $n = 0.014$
- $b = 0.50 \text{ m}$
- $S = 0.0027$
- $Z = 1$
- $y = 0.25$

### 1. Calcular las dimensiones del canal:

#### a) Área Hidráulica:

$$A = (b + zy) \cdot y$$

$$A = 0.19 \text{ m}^2$$

#### e) Velocidad Normal:

$$V_n = Q/A$$

$$V_n = 1.07 \text{ m/s}$$

#### b) Espejo de Agua:

$$T = b + 2zy$$

$$T = 1.00 \text{ m}$$

#### f) Número de Fround:

$$F = V_n / \sqrt{gA/T}$$

$$F = 0.79$$

#### c) Perímetro mojado:

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2}$$

$$P = 1.21 \text{ m}$$

#### g) Borde Libre:

$$BL = 0.20 \text{ m}$$

#### d) Radio Hidráulico:

$$R = A/P$$

$$R = 0.16 \text{ m}$$

#### h) Profundidad del canal:

$$H = BL + y$$

$$H = 0.50 \text{ m}$$

2. Calcular las dimensiones de la alcantarilla, para esto, con el caudal conocido, usando la tabla, determinar el diámetro de la alcantarilla, recordar que para una transición de tierra elegir  $v = 1.06 \text{ m/s}$  y para una transición de concreto elegir  $v = 1.52 \text{ m/s}$

Transición de tierra $V_{\text{máx}} = 1.06 \text{ m/s}$	Transición concreto $V_{\text{máx}} = 1.52 \text{ m/s}$	Tuberías		
		Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Diámetro (pulg)	Diámetro (cm)
0 - 0.076	0 - 0.110	12	30.48	0.073
0.077 - 0.112	0.111 - 0.173	15	38.10	0.114
0.123 - 0.176	0.174 - 0.249	18	45.72	0.164
0.177 - 0.238	0.250 - 0.340	21	53.34	0.223
0.239 - 0.311	0.341 - 0.445	24	60.96	0.292
0.312 - 0.393	0.446 - 0.564	27	68.58	0.369
0.394 - 0.487	0.565 - 0.694	30	76.20	0.456
0.488 - 0.589	0.695 - 0.841	33	83.82	0.552
0.590 - 0.699	0.842 - 1.000	36	91.44	0.656
0.700 - 0.821	1.001 - 1.175	39	99.06	0.771
0.822 - 0.954	1.176 - 1.362	42	106.68	0.894
0.955 - 1.096	1.363 - 1.563	45	114.30	1.026
1.097 - 1.246	1.564 - 1.778	48	121.92	1.167
1.247 - 1.407	1.779 - 2.008	51	129.54	1.318
1.408 - 1.578	2.009 - 2.251	54	137.16	1.478
1.579 - 1.756	2.252 - 2.509	57	144.78	1.646
1.757 - 1.946	2.510 - 2.781	60	152.40	1.824
1.947 - 2.146		63	160.02	2.011
2.147 - 2.356		66	167.64	2.207
2.357 - 2.574		69	175.26	2.412
2.575 - 2.803		72	182.88	2.626

ALCANTARILLA DE UN TUBO	
Caudal apto ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q \leq 1.2$
Caudal máximo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{máx}} = D_i^2$
Diámetro interno mínimo	$D_i = 0.51$
Transición de entrada	No lleva protección
Transición de salida	Protección de enrocado $e = 0.20 \text{ m}$
Longitud de transición	$L_t \geq 4D_i$
Longitud de protección	$L_p \geq 3D_i$
GRÁFICOS	

### 1) Diámetro de la Alcantarilla

- Según la tabla corresponde un diámetro de 24"
  - Según el ANA para caudales iguales o menores a  $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ :  $Q_{\text{máx}} = D_i^2 (\text{m}^3/\text{s})$
- $Q_{\text{máx}} = 0.22$

$$D_i = \sqrt{Q_{\text{máx}}}$$

$$D_i = 0.47 \text{ m} \rightarrow \text{escogemos } D_i = 24'' = 0.6096 \text{ m}$$

### 2) Calcular el área A con el diámetro elegido

$$A = \pi D^2 / 4$$

$$A = 0.29 \text{ m}^2$$

### 3) Velocidad en el conducto

$$V = Q/A$$

$$V = 0.63 \text{ m/s}$$

### 4) Carga de velocidad en la Alcantarilla

$$h_v = 1.5 \cdot (V^2 / 2g)$$

$$h_v = 0.04 \text{ m}$$

### 5) Elevación del nivel de agua a la entrada de la alcantarilla

$$NAEA = \text{Cota de ingreso} + D_i + 1.5h_v$$

$$NAEA = 67.88 \text{ m.s.n.m}$$

### 6) Calcular cotas

$$\text{Cota de ingreso} = NAEA - 1.5 h_v - D_i$$

$$\text{Cota de ingreso} = 67.23 \text{ m.s.n.m}$$

$$\text{Cota del camino} = \text{Cota de ingreso} + D_i + \text{cobertura}$$

$$\text{Cota del camino} = 68.44 \text{ m.s.n.m}$$

$$\text{Cota de borde del canal} = \text{Cota Entrada de la transición} + H$$

$$\text{Cota de borde del canal} = 68.13 \text{ m.s.n.m}$$

### 7) Longitud de las transiciones entrada y salida

$$L_t = 4D_i$$

$$L_t = 2.44 \text{ m} \approx 2.50 \text{ m} \quad 0.002$$

### 8) Longitud total de la Alcantarilla

$$L = 2 \cdot Z_p \cdot (\text{Cota del camino} - \text{Cota de borde del canal}) + \text{ancho del camino}$$

$$L = 4.94 \text{ m} \approx 5.00 \text{ m}$$

### 9) Carga hidráulica disponible

$$\Delta H = (C_1 + Y) - (C_2 + Y)$$

$$\Delta H = 0.04 \text{ m}$$

### 9) Inclinación de la transición de entrada

$$\frac{L_t}{\text{Cota}_1 - \text{Cota}_2} = 6.31$$

La inclinación sería 6:1 < 4:1; se acepta

### 10) Balance de energía entre 1 y 4

$$E_1 = E_4 + \sum \text{Pérdidas}$$
$$\sum \text{Pérdidas} = P_e + P_f + P_s$$

$$P_e = \text{Pérdidas por entrada} = 0.5 \frac{V a^2}{2g} = 0.012$$

$$P_s = \text{Pérdidas por salida} = 0.65 \frac{V a^2}{2g} = 0.02$$

$$P_f = \text{Pérdidas por fricción} = f \frac{L}{D} \times \frac{V a^2}{2g} = 0.00$$

Donde:  $f = 0.025$  (comúnmente asumido para casos prácticos)

$$L = 5$$

$$D = 0.6096 \text{ m}$$

Los coeficientes de  $P_e$  y  $P_s$ :

$$\sum \text{Pérdidas} = 0.03$$

$$E_1 = 67.90$$

$$E_4 + \sum \text{Pérdidas} = 67.90$$

En la ecuación debe cumplirse la igualdad, o ser  $E_1$  ligeramente mayor, en nuestro caso se tiene:

$$E_1 - E_4 + \sum \text{Pérdidas} = 0.01 \text{ m.s.n.m}$$

Lo que significa que no habrá problema hidráulico, según nuestro cálculo la alcantarilla funcionará perfectamente

### 11) Calcular Cota de salida

La pendiente del tubo es 2.7 o/oo

$$L \times S_o = 0.0151$$

$$\text{Cota}_3 = \text{Cota}_2 - (L \times S_o) = 67.218$$

### 12) Inclinación de la transición de salida

$$\frac{L_t}{\text{Cota}_4 - \text{Cota}_3} = 6.72$$

La inclinación sería 6.38:1 < 4:1; se acepta

### 13) Altura de la cobertura

$$\text{cota del camino} - (\text{cota}_2 + D_i) = 0.60$$

0.80 > 0.60 (mínimo requerido); no existe problema

### 14) Longitud de protección

Es la longitud del enrocado en seco colocado a mano, entre la transición y el canal de tierra

Alcantarilla prefabricada.

Especificaciones técnicas:



## FICHA TECNICA DE PRODUCTO



### DIMENSIONES

A	Diámetro interno nominal:	61 cm.
B	Diámetro externo:	76.2 cm.
F	Longitud útil:	125 a 240 cm.
C	Longitud total:	135 a 250 cm.
E	Grosor de Pared:	7.6 cm.

### TABLA GRADO DE LA TUBERIA

Clase o-Grado	F'c	Espesor mm	Carga para la grieta ka/m	Carga máxima ka/m
1	280	76	3111	4636
2	280	76	4026	6222
3	350	76	6222	9333
4	420	76	8723	10858

1.- se considera tubo lleno al 80% del diámetro. 2.- considero un promedio del coeficiente de Manning de .11, .12 y .13 3.- ángulo de 2°  
 flujo de tubería m3/sec      área de flujo m2      velocidad de flujo m/sec  
 .581      .243      2.397



Embarques con Tubo de 2.40 Largo piezas peso del tubo 945 kilos  
 Rabón      Torton      Tráiler  
 9      12      24

Embarques con Tubo de 1.25 Largo piezas peso del tubo 500 kilos  
 Rabón      Torton      Tráiler  
 18      28      58

Empresa certificada bajo ISO9001 - 2015

### Tubo de Concreto Reforzado de 61 cm (24") Junta Hermética

El tubo de concreto con acero de refuerzo y junta hermética es un elemento de concreto diseñado para conducir aguas residuales, sanitario, aguas negras, aguas con desechos industriales. Esto se debe al uso de un empaque o anillo el cual es la unión entre los tubos, el cual asegura la hermeticidad, evitando así la contaminación de los mantos freáticos.

Nuestro tubo de concreto embona perfectamente entre si usando el mismo diámetro, actualmente fabricamos tubo de 1.20, 1.25 Y 2.40 de largo útil. Esto le permite al cliente poder manipular nuestra tubería de acuerdo a las herramientas de trabajo con las que disponga.



### REFUERZO DE LA TUBERIA

La tubería de concreto está compuesta por una estructura de acero para aumentar su resistencia a los esfuerzos fabricada a base de alambre, varillas o mallas con resistencias de 4200 a 6000 kg /cm2 de acuerdo a la norma.

### TIPO DE JUNTA

#### Tipo de empaque "Junta": Junta hermética

Es la unión entre tubos para asegurar la hermeticidad mediante un anillo de hule, considerando un espacio entre espiga y campana, o caja y espiga, según sea el caso.

Anillo de hule es un elemento de hule natural o sintético, que se usa como empaque hermético y flexible en las juntas o uniones de la tuberías.

### NORMA APLICABLE

NMX-C-402-ONNCCE-2020 / ASTM C-76

NMX-T-021-SCFI-2019

NMX-C-412-1998-ONNCCE ANILLOS DE HULE PARA TUBERIA DE CONCRETO

# Desarrollo del diseño hidráulico del canal Pampilla.

1. Datos iniciales:

Caudal: 0.2 m<sup>3</sup>/s  
 Talud: 1  
 Rugosidad: 0.014  
 Pendiente: 0.0022

Ecuación de Manning (1):

$$Q = \frac{A \times R h^2 \times \sqrt{S}}{n}$$

Ecuación de máxima eficiencia hidráulica (2):  $\frac{b}{2y} = \sqrt{1+z^2} - z$

donde:

Q= caudal(m<sup>3</sup>/s)  
 A= Área (m<sup>2</sup>)  
 Rh= Radio Hidráulico (m)  
 n= Coeficiente de Rugosidad  
 S= Pendiente (m/m)

y= Tirante (m)  
 b= Ancho de fondo (m)  
 z= Talud (m)



2. Con las ecuaciones (1) y (2) conformamos el sistema de ecuaciones no lineales y partimos de los valores preliminares de "y" y "b", de donde finalmente se obtiene

$$Q = \frac{A \times R h^2 \times \sqrt{S}}{n}$$

$$Q = \frac{(b+zy)y \times \left(\frac{(b+zy)y}{(b+2y\sqrt{1+z^2})}\right)^{2/3} \times \sqrt{S}}{n}$$

$$Q = \frac{(0.83y^2 + 1y^2) \left[ \frac{0.83y^2 + 1.00y^2}{0.83y + 2.83y} \right]^{2/3} \sqrt{0.0022}}{0.014}$$

$$Q = \frac{1.83y^2 \left[ \frac{1.83y^2}{3.66y} \right]^{2/3} \sqrt{0.0022}}{0.014}$$

$$0.20 = \frac{1.83y^2 (0.50y)^{2/3} \sqrt{0.0022}}{0.014}$$

$$0.0597 = 1.15 y^{4/3}$$

$$0.3296 = y$$

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD n			
Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
Canales revestidos o desarmables			
Concreto	0.013	0.015	0.016
Terminado con lana de madera			

Fuente: Hidráulica de canales abiertos. Ven Te Chow

Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
Rectangular	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b
Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	b+2zy
Triangular	zy <sup>2</sup>	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	2zy
Circular	$(\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^3}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2}) D}{2}$ o $2\sqrt{y(D-y)}$
Parabólica	$2T^2 y$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2 y}{3T + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

3. Consideremos el valor de b el siguiente entero por un tema de procedimiento constructivo:

$$b = 0.5$$

4. Con ello calculamos el valor del tirante por medio de la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{(b+zy)y \times \left(\frac{(b+zy)y}{(b+2y\sqrt{1+z^2})}\right)^{2/3} \times \sqrt{S}}{n}$$

$$0.20 = \frac{(0.50y + 1.00y^2) \left[ \frac{(0.50y + 1.00y^2)}{(0.50 + 2.83y)} \right]^{2/3} \sqrt{0.0022}}{0.014}$$

$$0.0000$$

$$y = 0.26$$

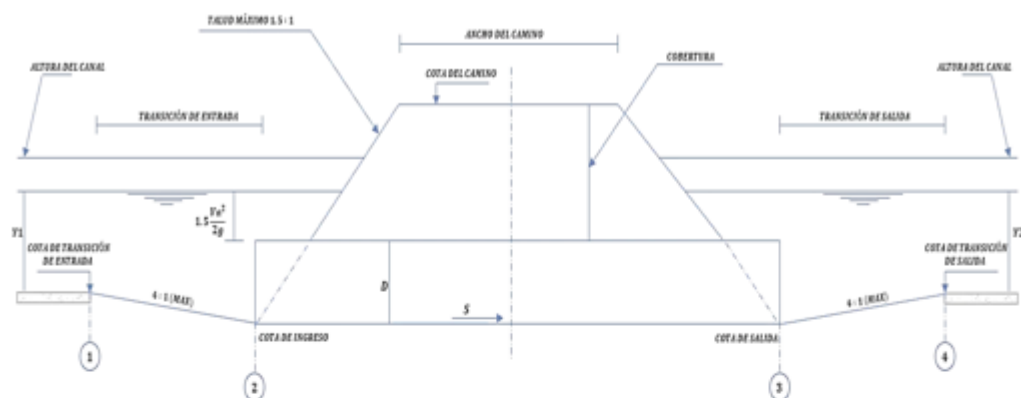
$$b = 0.5$$

5. Características hidráulicas:

Tirante (m):	y = 0.26 m	Velocidad:	V = 1.00 m/s
Área (m <sup>2</sup> ):	A = 0.20 m <sup>2</sup>	Espejo de agua:	T = 1.03 m
Perímetro (m):	P = 1.24 m	Energía Especific	En = 0.31 m
Radio Hidráulico(r)	Rh = 0.16 m	N° de Froud	Fr = 0.72 < 1 flujo subcritico
Borde Libre (30%Y)	BL = 0.2 m	Altura total	H = 0.50 m

## Desarrollo del diseño hidráulico de alcantarilla del canal Pampilla.

### DISEÑO DE ALCANTARILLA DE UN OJO



#### Datos de la alcantarilla para el cruce de un camino parcelario:

$n = 0.014$   
 $S = 0.0022$   
 Ancho del camino = 4.00 m  
 Pendiente a la orilla del camino  $1.5:1 = z_1$   
 Cota de transición de entrada = 52.410 m. s. n. m  
 cota de transición de salida = 52.37 m. s. n. m  
 Cobertura = 0.60 m

#### Datos del canal:

$Q = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$        $V^2/2g = 0.02$   
 $n = 0.014$   
 $b = 0.50 \text{ m}$   
 $S = 0.0022$   
 $Z = 1$   
 $y = 0.26$

#### 1. Calcular las dimensiones del canal:

##### a) Área Hidráulica:

$$A = (b + zy) \cdot y$$

$$A = 0.20 \text{ m}^2$$

##### e) Velocidad Normal:

$$V_n = Q/A$$

$$V_n = 1.00 \text{ m/s}$$

##### b) Espejo de Agua:

$$T = b + 2zy$$

$$T = 1.03 \text{ m}$$

##### f) Número de Fround:

$$F = V_n / \sqrt{gA/T}$$

$$F = 0.72$$

##### c) Perímetro mojado:

$$P = b + 2z\sqrt{1+z^2}$$

$$P = 1.24 \text{ m}$$

##### g) Borde Libre:

$$BL = 0.20 \text{ m}$$

##### d) Radio Hidráulico:

$$R = A/P$$

$$R = 0.16 \text{ m}$$

##### h) Profundidad del canal:

$$H = BL + y$$

$$H = 0.50 \text{ m}$$

2. Calcular las dimensiones de la alcantarilla, para esto, con el caudal conocido, usando la tabla, determinar el diámetro de la alcantarilla, recordar que para una transición de tierra elegir  $v = 1.06 \text{ m/s}$  y para una transición de concreto elegir  $v = 1.52 \text{ m/s}$

Transición de tierra $V_{máx} = 1.06 \text{ m/s}$	Transición concreto $V_{máx} = 1.52 \text{ m/s}$	Tuberías		
		Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Diámetro (pulg)	Diámetro (cm)
0 - 0.076	0 - 0.110	12	30.48	0.073
0.077 - 0.112	0.111 - 0.173	15	38.10	0.114
0.123 - 0.176	0.174 - 0.249	18	45.72	0.164
0.177 - 0.238	0.250 - 0.340	21	53.34	0.223
0.239 - 0.311	0.341 - 0.445	24	60.96	0.292
0.312 - 0.393	0.446 - 0.564	27	68.58	0.369
0.394 - 0.487	0.565 - 0.694	30	76.20	0.456
0.488 - 0.589	0.695 - 0.841	33	83.82	0.552
0.590 - 0.699	0.842 - 1.000	36	91.44	0.656
0.700 - 0.821	1.001 - 1.175	39	99.06	0.771
0.822 - 0.954	1.176 - 1.362	42	106.68	0.894
0.955 - 1.096	1.363 - 1.563	45	114.30	1.026
1.097 - 1.246	1.564 - 1.778	48	121.92	1.167
1.247 - 1.407	1.779 - 2.008	51	129.54	1.318
1.408 - 1.578	2.009 - 2.251	54	137.16	1.478
1.579 - 1.756	2.252 - 2.509	57	144.78	1.646
1.757 - 1.946	2.510 - 2.781	60	152.40	1.824
1.947 - 2.146		63	160.02	2.011
2.147 - 2.356		66	167.64	2.207
2.357 - 2.574		69	175.26	2.412
2.575 - 2.803		72	182.88	2.626

ALCANTARILLA DE UN TUBO	
Caudal apto ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q \leq 1.2$
Caudal máximo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{\text{máx}} = D_i^2$
Diámetro interno mínimo	$D_i = 0.51$
Transición de entrada	No lleva protección
Transición de salida	Protección de enrocado $e = 0.20 \text{ m}$
Longitud de transición	$L_t \geq 4D_i$
Longitud de protección	$L_p \geq 3D_i$
GRÁFICOS	

1) Diámetro de la Alcantarilla

→ Según la tabla corresponde un diámetro de 21"  
 → Según el ANA para caudales iguales o menores a  $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ :  $Q_{\text{máx}} = D_i^2 (\text{m}^3/\text{s})$   
 $Q_{\text{máx}} = 0.22$

$D_i = \sqrt[2]{Q_{\text{máx}}}$   
 $D_i = 0.47 \text{ m}$  → escogemos  $D_i = 24" = 0.6096 \text{ m}$

2) Calcular el área A con el diametro elegido

$A = \pi D_i^2 / 4$   
 $A = 0.29 \text{ m}^2$

3) Velocidad en el conducto

$V = Q/A$   
 $V = 0.63 \text{ m/s}$

4) Carga de velocidad en la Alcantarilla

$h_v = 1.5 \cdot (V^2 / 2g)$   
 $h_v = 0.04 \text{ m}$

5) Elevación del nivel de agua a la entrada de la alcantarilla

$NAEA = \text{Cota de ingreso} + D_i + 1.5h_v$   
 $NAEA = 52.67 \text{ m.s.n.m}$

6) Calcular cotas

Cota de ingreso =  $NAEA - 1.5h_v - D_i$       Cota del camino = Cota de ingreso +  $D_i$  + cobertura      Cota de borde del canal = Cota Entrada de la transición + H  
 Cota de ingreso =  $52.03 \text{ m.s.n.m}$       Cota del camino =  $53.24 \text{ m.s.n.m}$       Cota de borde del canal =  $52.91 \text{ m.s.n.m}$

7) Longitud de las transiciones entrada y salida

$L_t = 4D_i$   
 $L_t = 2.44 \text{ m}$       \*      2.50 m      0.002

8) Longitud total de la Alcantarilla

$L = 2 \cdot Z_1 \cdot (\text{Cota del camino} - \text{Cota de borde del canal}) + \text{ancho del camino}$   
 $L = 4.98 \text{ m}$       \*      5.00 m

9) Carga hidráulica disponible

$\Delta H = (C_1 + Y) - (C_4 + Y)$   
 $\Delta H = 0.02 \text{ m}$       153.00 % 0

9) Inclinación de la transición de entrada

$\frac{L_t}{\text{Cota1} - \text{Cota2}} = 6.54$       La inclinación sería 6.54:1 < 4:1; se acepta

### 10) Balance de energía entre 1 y 4

$$E_1 = E_4 + \sum \text{Pérdidas}$$
$$\sum \text{Pérdidas} = P_e + P_f + P_s$$

$$P_e = \text{Pérdidas por entrada} = 0.5 \frac{V a^2}{2g} = 0.012$$

$$P_s = \text{Pérdidas por salida} = 0.65 \frac{V a^2}{2g} = 0.02$$

$$P_f = \text{Pérdidas por fricción} = f \frac{L}{D} \times \frac{V a^2}{2g} = 0.00$$

Donde:  $f = 0.025$  (comúnmente asumido para casos prácticos)

$$L = 5$$

$$D = 0.6096 \text{ m}$$

Los coeficientes de  $P_e$  y  $P_s$ :

$$\sum \text{Pérdidas} = 0.03$$

$$E_1 = 52.70$$

$$E_4 + \sum \text{Pérdidas} = 52.69$$

En la ecuación debe cumplirse la igualdad, o ser  $E_1$  ligeramente mayor, en nuestro caso se tiene:

$$E_1 - E_4 + \sum \text{Pérdidas} = 0.01 \text{ m. s. n. m}$$

Lo que significa que no habrá problema hidráulico, según nuestro cálculo la alcantarilla funcionará perfectamente

### 11) Calcular Cota de salida

La pendiente del tubo es 2.20/100

$$L \times S_0 = 0.0123$$

$$\text{Cota}_3 = \text{Cota}_2 - (L \times S_0) = 52.016$$

$$141.728 \text{ \%.D}$$

### 12) Inclinación de la transición de salida

$$\frac{L_t}{\text{Cota}_4 - \text{Cota}_3} = 7.06$$

La inclinación sería 6.68:1 < 4:1; se acepta

### 13) Altura de la cobertura

$$\text{cota del camino} - (\text{cota}_2 + D_i) = 0.60$$

0.80 > 0.60 (mínimo requerido); no existe problema

### 14) Longitud de protección

Es la longitud del enrocado en seco colocado a mano, entre la transición y el canal

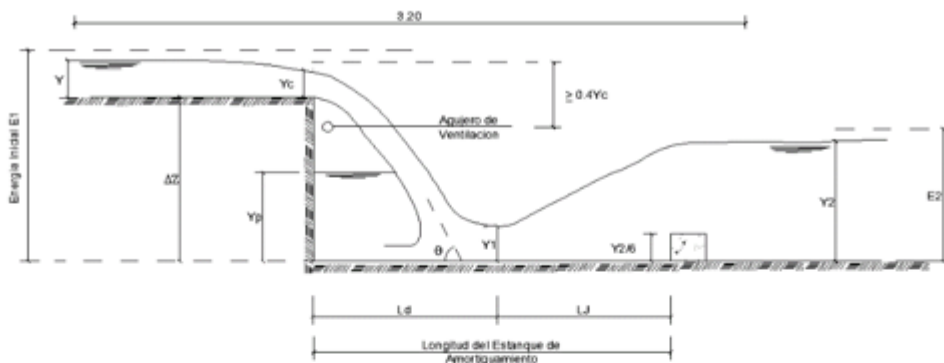
$$L_p = 3D_i$$

$$L_p = 1.83$$

El enrocado se colocará solo en la salida y en un espesor de 0.2 m.

# Desarrollo del diseño hidráulico de caída vertical del canal Pampilla.

## DISEÑO DE CAÍDAS



### DATOS DE CANAL DE ENTRADA

Caudal (Q) =	0.20	m <sup>3</sup> /s
Base de ingreso (b) =	0.50	m
Talud de ingreso (z) =	1.00	
Rugosidad de ingreso (n) =	0.014	
Pendiente de ingreso (S) =	0.0022	m/m

### DATOS DE CANAL DE SALIDA

Desnivel de cota (ΔZ) =	1.00	m
Base de ingreso (b3) =	0.50	m
Talud de ingreso (z3) =	1.00	
Rugosidad de ingreso (n3) =	0.014	
Pendiente de ingreso (S3) =	0.0022	m/m

### PARAMETROS HIDRAULICOS DE ENTRA

Tirante hidráulico (Y) =	0.26	m
Área hidráulica (A) =	0.2007	m <sup>2</sup>
Espejo Hidráulico (T) =	1.0260	m
Froude (F) =	0.7194	
Tipo de flujo =	Subcrítico	
Perimetro mojado (P) =	1.2439	m
Radio hidráulico (R) =	0.1613	m
Velocidad (V) =	0.9965	m/s
Energía específica E =	0.3136	m-kg/kg

### PARAMETROS HIDRAULICOS DE SALIDA

Tirante hidráulico (Y3) =	0.26	m
Área hidráulica (A3) =	0.2007	m <sup>2</sup>
Espejo Hidráulico (T3) =	1.0260	m
Froude (F3) =	0.7194	
Tipo de flujo =	Subcrítico	
Perimetro mojado (P) =	1.2439	m
Radio hidráulico (R) =	0.1613	m
Velocidad (V) =	0.9965	m/s
Energía específica E =	0.3136	m-kg/kg

### CALCULO DEL ANCHO DE LA CAIDA

Altura del canal de Entrada	0.31	$R = y + \frac{v^2}{2g}$
Caudal unitario (q)	0.26	$q = 1.48 R^{0.54}$
Ancho de la caída (bc)	0.77	$b = \frac{Q}{q}$
	0.80	

### CALCULO DEL BORDE LIBRE

<b>U.S. BUREAU OF RECLAMATION</b>		C = 1.50	Q < 0.55 m <sup>3</sup> /s
		C = 2.50	Q < 85 m <sup>3</sup> /s
		y = 0.26	m
$BordeLibre = \sqrt{CY}$		0.63	m

<b>Secretaría de recursos Hidráulicos</b>		
Caudal m <sup>3</sup> /seg	Revestido (cm)	Sin revestir (cm)
< 0.05	7.5	10.0
0.05 - 0.25	10.00	20.0
0.25 - 0.50	20.0	40.0
0.50 - 1.00	25.0	50.0
> 1.00	30.0	60.0

0.100 m

<b>Máximo Villón Bejar</b>	
Ancho de la plantilla (m)	Borde libre (m)
Hasta 0.8	0.4
0.8 - 1.5	0.5
1.5 - 3.0	0.6
3.0 - 20.0	1.0

0.40 m

<b>Borde libre seleccionado</b>	0.100	m
---------------------------------	-------	---

### TRANSICION DE ENTRADA Y SALIDA

H	0.3630	m
H	0.50	m
T	1.50	m
L	0.8450	m
	0.85	m

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2 \cdot \tan(22.5^\circ)}$$

### DIMENSIONES DE LA CAIDA

Número de resalto (D)=	0.01	m	$D = \frac{q^2}{g \Delta Z^3}$
Long. Del pie de caída al inicio del salto (Ld)=	1.12	m	$Ld = \Delta Z \cdot 4.30 \cdot D^{0.27}$
Altura de agua pegada al pie de caída (Yp)=	0.33	m	$Yp = \Delta Z + 1.00 \cdot D^{0.27}$
Profundidad secuente menor (Y1)=	0.000	m	$Y_1 = \Delta Z + 0.54 \cdot D^{1.425}$
Profundidad secuente mayor (Y2)=	0.43	m	$Y_2 = \Delta Z + 1.66 \cdot D^{0.27}$
Long. De salto hidráulico (Lj)=	2.98	m	$Lj = 6.90 \cdot (Y_2 - Y_1)$
Tirante crítico (Yc)=	0.19	m	$Yc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$
Long. Del estanque de amortiguamiento (Lest)=	4.00	m	$L_{est} = Ld + Lj$
Dado =	0.07	m	$dado = y2/6$

14.917

### LONGITUD DEL TRAMO DE CANAL RECTANGULAR

Long. T	0.67	m	$L_T = 3.5 \cdot Y_c$
	0.70	m	

### DIAMETRO DE AGUJERO DE VENTILACION

Considerando los siguientes datos como recomendación del manual.

Longitud de tubería de ventilación (L)=	1.00	m	Asumir valor
Coefficiente de fricción (f)=	0.02		Para tubo de fierro
Baja presión permisible debajo de la lamina vertical (P/pg)=	0.04	m	Usar
Coefficiente de pérdidas de entrada (Ke)=	0.50		Usar
Para una temperatura de 20°C (pa/pw)=	0.00		Usar
Coefficiente pérdida de curvatura (Kb)=	1.10		
Coefficiente pérdida de salida (Kex)=	1.00		
Caudal unitario del agujero de ventilación (qa)=	0.02		
Caudal del agujero de ventilación (Qa)=	0.01	m <sup>3</sup> /s	$q_a = 0.1 \cdot \frac{q}{\left(\frac{Y_p}{Y}\right)^{1.5}}$ $Q_a = q_a \cdot B$
Velocidad media del flujo de aire (Va)=	0.02	m/s	$V_a = \frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot D^2}$
Diámetro del agujero de la tubería (Da)=	0.04		$\frac{P}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho_a} \cdot \left( K_e \cdot f \cdot \frac{L}{D} + K_b + K_{ex} \right) \cdot \frac{V_a^2}{2g}$
Área del agujero de la tubería de ventilación (Aa)=	0.001	m <sup>2</sup>	

### CANTIDAD DE TUBERIAS

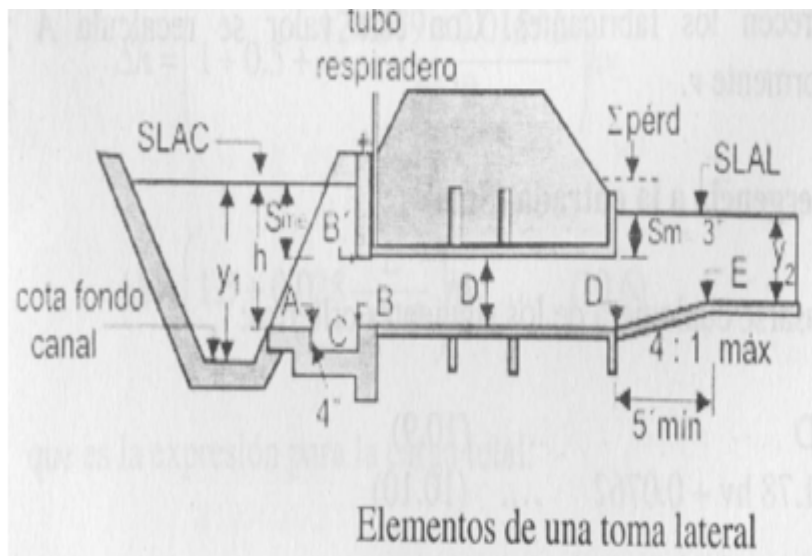
# Tubos	Diam. (pulg)	Diam. (m)	Área
2.00	3.00	0.08	0.01
<b>Total =</b>	<b>2.00</b>		0.01

m2

lo tanto el área equivale aproximadamente a **2** tubos conformados por:

**2 tuberías de 3.00 " pulgadas que conectaran la camara de aire de la caída con el exterior.**

Desarrollo del diseño hidráulico de toma lateral circular tipo.



### TOMA LATERAL

SE DERIVARA A UN CANAL LATERAL UN CAUDAL DE 100 LT/S

DATOS CANAL PRINCIPAL:

Q =	0.2 m <sup>3</sup> /s	cota de fondo =	67.97
B =	0.5 m	y1 =	0.25
Z =	1		
n =	0.02		

CANAL LATERAL: Q = 0.1 m<sup>3</sup>/s

ASUMIENDO UNA VELOCIDAD DE 1.4 m/s

#### 1. AREA HIDRAULICA DE LA TUBERIA

$$A = \frac{Q_d}{v} = 0.0714$$

#### 2. DIAMETRO DE LA TUBERIA

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 0.302 \approx 0.3048$$

SE ADOPTO  $\phi$  0.3048(12")

### 3. RECALCULAR AREA

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.073 \text{ m}^2$$

### 4. RECALCULAR VELOCIDAD

$$v = \frac{Q}{A} = 1.371 \text{ m/s}$$

### 5. CALCULAR LA CARGA DE VELOCIDAD EN LA TUBERIA

$$h_v = \frac{v^2}{2g} = 0.10 \text{ m}$$

### 6. CALCULAR LA CARGA TOTAL $\Delta h$

$$\Delta h = \left( 1.5 + 0.028 \frac{L}{D^{1.333}} \right) h_v$$
$$\Delta h = 0.209 \text{ m}$$

### 7. CALCULAR LA SUMERGENCIA A LA ENTRADA ( $S_{me}$ )

$$S_{me} = 1.78 h_v + 0.0762 \text{ m} = 0.247 \text{ m}$$

### 8. CALCULAR LA SUMERGENCIA A LA SALIDA ( $S_{ms}$ )

$$S_{ms} = 0.0762 \text{ m} \dots (3")$$

### 9. CALCULAR LA CARGA EN LA CAJA DE ENTRADA

$$B = D + 0.305 \text{ m} \dots (D+1) = 0.610$$

### 10. CALCULAR CARGA EN LA CAJA

$$Q = 1.848 h^{\frac{3}{2}}$$
$$h = \left(\frac{Q}{1.848}\right)^{2/3} = 0.200$$

### 11. CALCULAR COTAS

SLAC=COTA DE FONDO DEL CANAL+Y1 = 68.22 m

COTA A = SLAC - h = 68.01 m

COTA B = SLAC - Sme-D = 67.67 m

COTA B' = COTA B+D = 67.97 m

COTA C = COTAB-4PULG = 67.57 m

SLAL=SLAC- Δh = 68.01 m

COTA D= SLAL-Sms-D = 67.63 m

COTA E=SLAL-Y2 = 67.76 m

### 12. CALCULAR LA LONGITUD DE SALIDA

$$L_{min} = 1.525 \text{ m (5')}$$

De acuerdo a Hinds:  $t = \frac{T - D}{2tg22.5^\circ} = 0.837$

donde: T = espejo de agua en el canal  
D = diámetro de la tubería

### 13. CALCULAR EL TALUD DE LA TRANSICION DE SALIDA

talud maximo 4:1

La inclinación sería 11.58:1 < 4:1; se acepta

$$\frac{L_{min}}{CotaE-CotaD} = 11.58$$

### 14. LONGITUD DE TUBERIA

según manuales (FAO, USBR), se recomienda **al menos 6 a 10 veces el diámetro interno de la tubería**, tomaremos 8 veces el diámetro

$$LT = 8D = 2.44 \text{ m} \approx 3.00 \text{ m}$$

redondeando

## Anexo 2. Perdidas por infiltración

### Canal Once:

**Cálculo de pérdidas por infiltración en canales**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m

Longitud canal (L):  Km

**Canales en tierra**

**Datos del lecho del canal:**


Etcheverry | Punjab | Moritz |  
Pavlovski - Kostiaikov | Davis - Wilson

Material del lecho del canal:

Coficiente permeabilidad m/s:

Pérdidas m<sup>3</sup>/s-km: Pavlovski  Kostiaikov

**Canales revestidos**



**Pérdidas:**

Fórmula	m <sup>3</sup> /s-km
Ingham	0.001721
Etcheverry	0.000000
Punjab	0.012123
Moritz	0.001595
Pavlovski	0.009395
Kostiaikov	0.008354
Davis-Wilson	0.002877

**Descartar:**

Ingham

Etcheverry

Punjab

Moritz

Pavlovski

Kostiaikov

Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P):  m<sup>3</sup>s-km

**Resultados hidráulicos parciales:**

Tirante normal (y):  m

Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup>

Perímetro (p):  m

Espejo de agua (T):  m

Velocidad (v):  m/s

**Caudales resultantes:**

Q perdido:  m<sup>3</sup>/s

Q final:  m<sup>3</sup>/s

% pérdidas:  %

**Cálculo de pérdidas por infiltración en canales**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m

Longitud canal (L):  Km


**Canales en tierra**

**Otros datos:**

Espesor revestimiento (e):  m

Permeabilidad del revestimiento, hormigón (K):  cm/s

**Canales revestidos**



**Resultados:**

Pérdidas/km (P):  m<sup>3</sup>s-km

Q perdido:  m<sup>3</sup>/s

Q final:  m<sup>3</sup>/s

% pérdidas:  %

**Resultados hidráulicos parciales:**

Tirante normal (y):  m

Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup>

Perímetro (p):  m

Espejo de agua (T):  m

Velocidad (v):  m/s

## Canal pampilla:

**Cálculo de pérdidas por infiltración en canales**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m

Longitud canal (L):  Km

**Canales en tierra**

**Datos del lecho del canal:**


Etcheverry | Punjab | Moritz |  
Pavlovski - Kostakov | Davis - Wilson

Material del lecho del canal:

Coefficiente permeabilidad m/s:

Pérdidas m<sup>3</sup>/s-km: Pavlovski  Kostakov

**Canales revestidos**



**Pérdidas:**

Fórmula	m <sup>3</sup> /s-km
Ingham	0.001824
Etcheverry	0.000000
Punjab	0.012123
Moritz	0.001595
Pavlovski	0.009395
Kostakov	0.008354
Davis-Wilson	0.002877

**Descartar:**

Ingham

Etcheverry

Punjab

Moritz

Pavlovski

Kostakov

Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P):  m<sup>3</sup>/s-km

**Resultados hidráulicos parciales:**

Tirante normal (y):  m

Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup>

Perímetro (p):  m

Espejo de agua (T):  m

Velocidad (v):  m/s

**Caudales resultantes:**

Q perdido:  m<sup>3</sup>/s

Q final:  m<sup>3</sup>/s

% pérdidas:  %

**Cálculo de pérdidas por infiltración en canales**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m

Longitud canal (L):  Km

**Canales en tierra**

**Otros datos:**

Espesor revestimiento (e):  m

Permeabilidad del revestimiento, hormigón (K):  cm/s

**Canales revestidos**



**Resultados:**

Pérdidas/km (P):  m<sup>3</sup>/s-km

Q perdido:  m<sup>3</sup>/s

Q final:  m<sup>3</sup>/s

% pérdidas:  %

**Resultados hidráulicos parciales:**

Tirante normal (y):  m

Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup>

Perímetro (p):  m

Espejo de agua (T):  m

Velocidad (v):  m/s

### Anexo 3. Revestimiento de canal de riego

#### Canal once y pampilla:

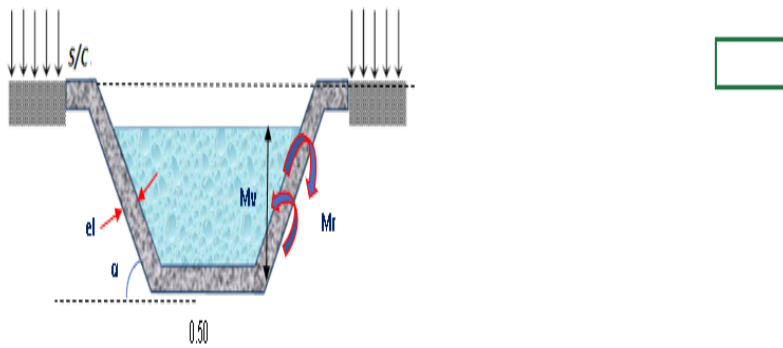
#### CANAL DE CONCRETO - DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DEL CANAL L2

**Proyecto:** CANAL DE CONCRETO - DISEÑO GEOMÉTRICO, HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DEL CANAL L2 PAMPILLA

**Ubicación:**

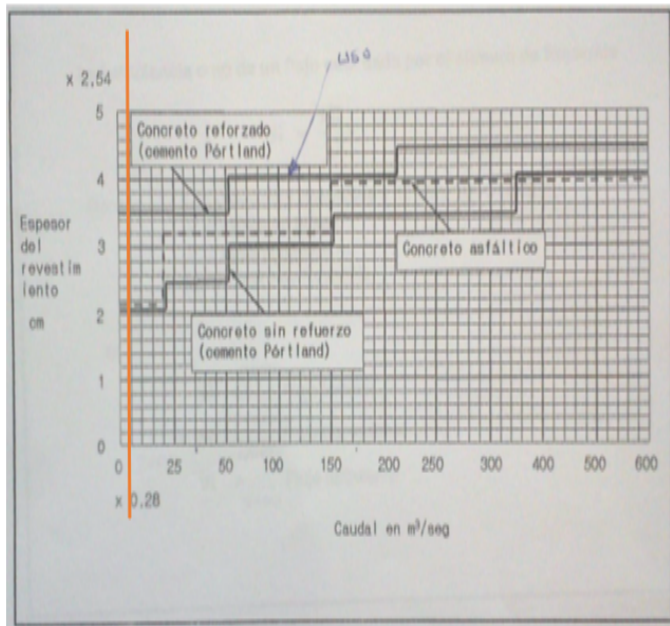
**Departamento:** Lambayeque      **Provincia:** Chiclayo      **Distrito:** Zaña

#### II- DISEÑO ESTRUCTURAL



#### 2.1- espesor de la losa lateral (el), espesor de losa de piso (Ep)

según el gráfico Q vs e



$$e_l = 2.5 \cdot 2.54$$

$$e_l = 6.35 \text{ cm} \xrightarrow{\text{se asume}} 7.00 \text{ cm}$$

Para canales principales y subprincipales ( $e_l$ ) es diferente a  $e_p$  y para otros ( $e_l$ ) es igual a  $e_p$ .

$$e_p = e_l \cdot \sqrt{2}$$

$$e_p = 10.00 \text{ cm} \xrightarrow{\text{se asume}} 0.1000 \text{ m}$$

## 2.2- momento de vuelco ( $M_v$ )

$$M_v = EY$$

$$H = Bl + Yn + 0.5e_p \xrightarrow{\text{se asume}} H = 0.60 \text{ m}$$

$$k' = \frac{S}{\gamma S} \xrightarrow{\text{se asume}} k' = 0.668 \text{ m}$$

coeficiente de empuje activo ( $C_{ea}$ )

$$C_{ea} = \left[ \frac{\frac{\text{sen}(\alpha - \phi)}{\text{sen}\alpha}}{\sqrt{\text{sen}(\delta + \alpha)} + \frac{\sqrt{\text{sen}(\delta + \phi)\text{sen}(\phi - \beta)}}{\text{sen}(\alpha - \beta)}} \right]^2$$

donde:

		valores
$\phi =$	angulo de friccion interna (suelo - suelo)	$30^\circ$
$\delta =$	angulo de rozamiento (suelo - losa)	$0^\circ$
$\beta =$	angulo que forma el talud superficial del terraplen	$0^\circ$
$\alpha =$	angulo que forma el talud del canal	$45^\circ$

según Coulomb

$$0 \leq \delta \leq \phi$$

$\delta = 0$  corresponde a un muro con cara interna lisa.

$\delta = \phi$  supone un deslizamiento cercano a la cara interna del muro.

$$C_{ea} = 0.0650$$

$$E = 0.5c_{ea}\gamma_s H(H + 2h')$$

$$E = 0.05 \text{ Tn}$$

$$Y = \frac{H^2 + 3Hh'}{3(H + 2h')}$$

$$Y = 0.22 \text{ m}$$

$$M_v = EY$$

$$M_v = 0.01 \text{ Tn-m}$$

### 2.3- Momento de resistencia ( $M_r$ )

$$M_r = 0.5\gamma_c c_l H^2 \left[ \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \alpha} \right]$$

$$M_r = 0.02 \text{ Tn-m}$$

### 2.4- calculo del momento flector ( $M$ )

$$M = M_v - M_r$$

$$M = -0.01 \text{ Tn-m} \text{ no requiere acero de refuerzo!!}$$

Las fuerzas que genera el MOMENTO DE VUELCO ( $M_v$ ) y el MOMENTO DE RESISTENCIA ( $M_r$ ) son los momentos que definen el comportamiento estructural de la losa  $M_v - M_r = M$

Si el momento flexionante  $M$  es NEGATIVO, es decir  $M_v < M_r$  ( $M_v - M_r$ ), significa que la losa apoyada sobre el talud NO REQUIERE refuerzo, siempre y cuando se cumpla:

$$\frac{M_r}{M_v} \geq 1.5$$



$$2.0720 \text{ sin refuerzo}$$

#### Anexo 4. Evidencias fotográficas



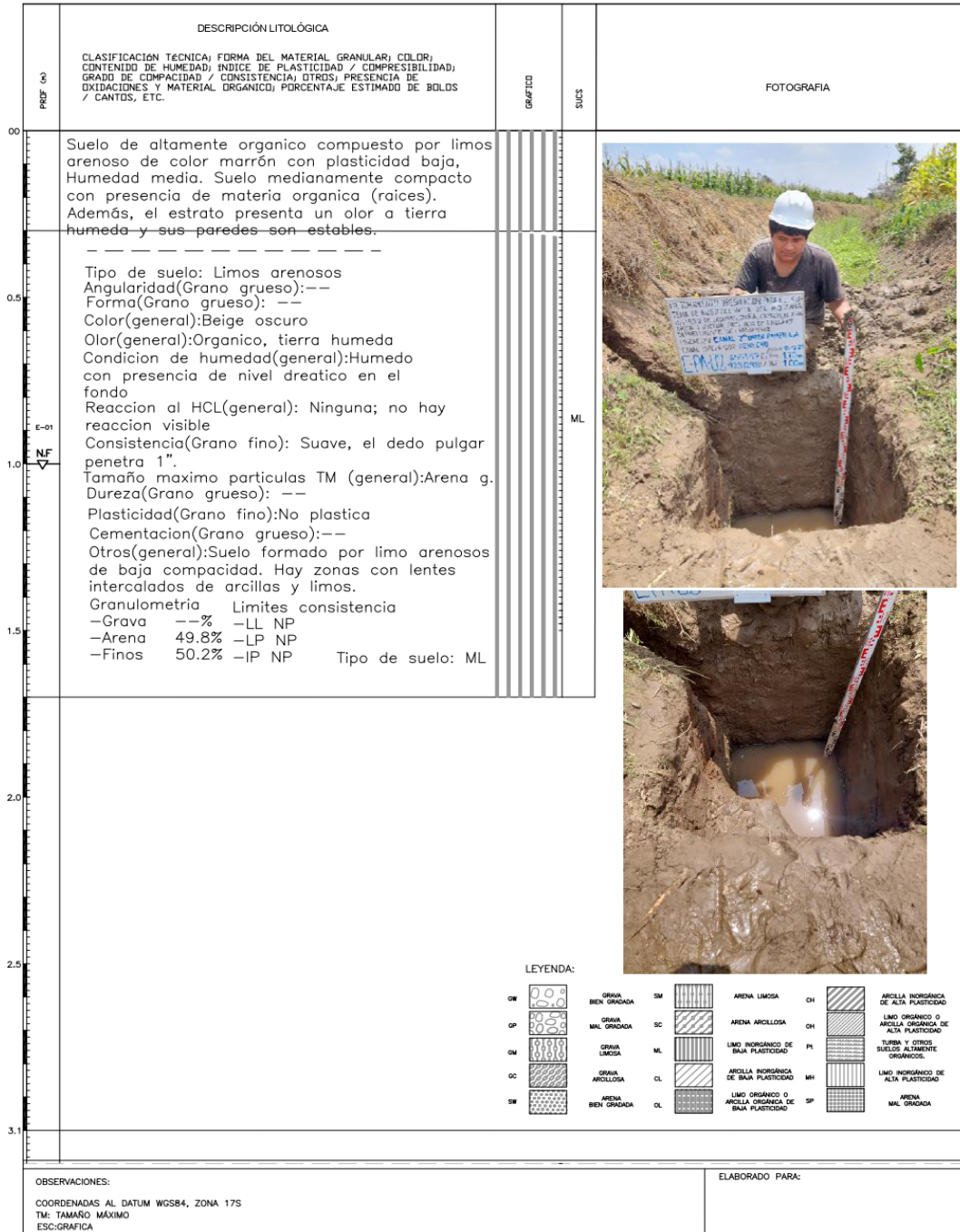
Nota. Canal Once - muestra un tramo representativo del canal de riego, donde se observa la presencia considerable de vegetación. Esta condición evidencia falta de mantenimiento y genera obstrucciones parciales al flujo del agua, lo que ocasiona una disminución de la sección hidráulica útil, aumento de la rugosidad y en consecuencia, pérdidas de energía y reducción de la eficiencia de conducción. Además, la vegetación favorece procesos de infiltración y erosión localizada, afectando la estabilidad del canal y la distribución uniforme del caudal a lo largo del sistema.



Nota. Proceso de aforo realizado en el canal Once y Pampilla, utilizando un correntómetro digital, bajo condiciones operativas normales. La toma evidencia el trabajo de medición de caudal en puntos estratégicos del canal, con presencia del equipo técnico y aplicación de protocolos establecidos. Esta actividad fue parte del estudio hidráulico para determinar las pérdidas por infiltración y calcular la eficiencia de conducción.



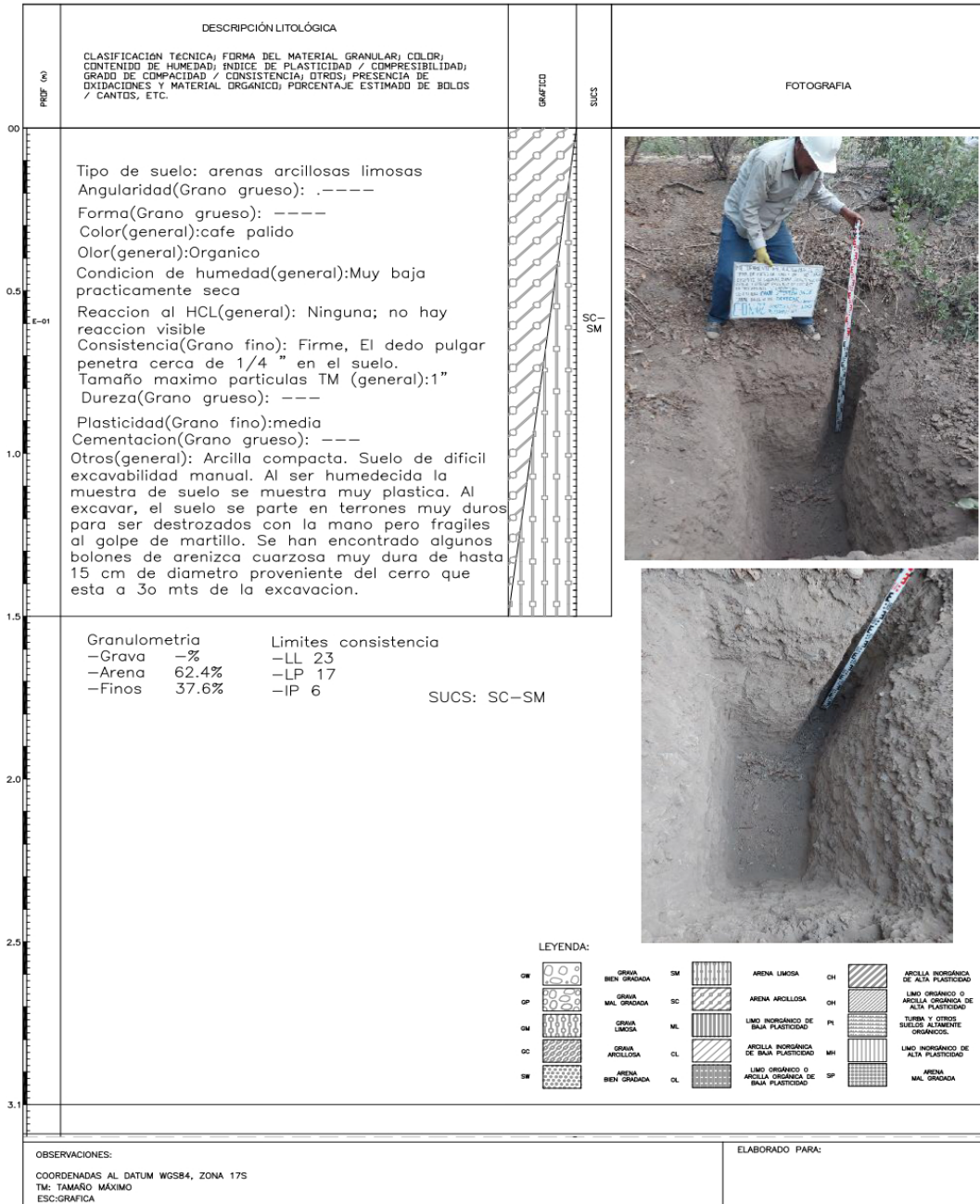
<b>MEJORAMIENTO Y REGULACION PARA EL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DEL RIO ZAÑA DISTRITO DE LAGUNAS, ZAÑA, CAYALTI, NUEVA ARICA Y OYOTUN, PROVINCIA DE CHICLAYO DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE</b>		<b>CALICATA: C-PA-02</b>
COORDENADAS: N:9234298 E:655347 Catai-- nsmn	DIBUJO: J.I.Q	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1.5 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 10/12/2022	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: J.I.Q	NIVEL FREATICO: 1.0 m
UBICACION: Canal Pampilla	REGISTRADO POR: J.I.Q	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR:	



<b>MEJORAMIENTO Y REGULACION PARA EL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DEL RIO ZAÑA DISTRITO DE LAGUNAS, ZAÑA, CAYALTI, NUEVA ARICA Y OYOTUN, PROVINCIA DE CHICLAYO DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE</b>		<b>CALICATA: C-ON-01</b>
COORDENADAS: N9234843 E1659683 Cota:-- nsnm	DIBUJO: I.Q.M	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1.5 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 30/11/2022	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: I.Q.M	NIVEL FREATICO: NE
UBICACION: Canal Once	REGISTRADO POR: I.Q.M	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR:	

PROF (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRAFICO	SUCS	FOTOGRAFIA																														
0.00	<p>CLASIFICACIÓN TÉCNICA) FORMA DEL MATERIAL GRANULAR) COLOR) CONTENIDO DE HUMEDAD) ÍNDICE DE PLASTICIDAD / COMPRESIBILIDAD) GRADO DE COMPACTACIÓN / CONSISTENCIA) OTROS) PRESENCIA DE OXIDACIONES Y MATERIAL ORGÁNICO) PORCENTAJE ESTIMADO DE BOLSOS / CANTOS, ETC.</p> <p>Tipo de suelo: arenas limosas            Angularidad(Grano grueso): .angulosos            Color(general):marron oscuro            Olor(general):Organico            Condicion de humedad(general):Media. La muestra humedece la mano al presionarla            Reaccion al HCL(general): Ninguna; no hay reaccion visible            Tamaño maximo particulas TM (general):1/2"            Plasticidad(Grano fino):No presenta            Otros(general): Arenas limosas con presencia de algunos clastos angulosos. Suelo de facil excavabilidad.</p> <p>Granulometria      Limites consistencia            -Grava    9%      -LL 19            -Arena    60%     -LP 16                      SUCS: SM            -Finos    31%     -IP 3</p>		SM																															
1.00	<p>Tipo de suelo: Arenas limosas con gravas            Angularidad(Grano grueso): .subanguloso            Forma(Grano grueso): redondeada            Color(general):marron            Olor(general):Organico            Condicion de humedad(general):Media. La muestra humedece la mano al presionarla            Reaccion al HCL(general): Ninguna; no hay reaccion visible</p>		SM																															
1.50	<p>Consistencia(Grano fino): Suave. El pulgar penetra cerca de 1" en el suelo            Tamaño maximo particulas TM (general):1"            Dureza(Grano grueso): duro            Plasticidad(Grano fino):no presenta            Cementacion(Grano grueso): No cementada            Otros(general): Arenas con gravas de hasta 2 1/2 " de diametro.</p> <p>Granulometria      Limites consistencia            -Grava    14%     -LL 19            -Arena    56%     -LP 16            -Finos    30%     -IP 3                      SUCS: SM</p>		SM																															
2.00																																		
2.50																																		
3.00																																		
<p><b>LEYENDA:</b></p> <table border="0"> <tr> <td>GW</td> <td></td> <td>SM</td> <td></td> <td>CH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GP</td> <td></td> <td>SC</td> <td></td> <td>OH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GM</td> <td></td> <td>ML</td> <td></td> <td>PI</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GC</td> <td></td> <td>CL</td> <td></td> <td>MH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GW</td> <td></td> <td>CL</td> <td></td> <td>SP</td> <td></td> </tr> </table>				GW		SM		CH		GP		SC		OH		GM		ML		PI		GC		CL		MH		GW		CL		SP		
GW		SM		CH																														
GP		SC		OH																														
GM		ML		PI																														
GC		CL		MH																														
GW		CL		SP																														
OBSERVACIONES: COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 17S TM: TAMAÑO MÁXIMO ESC:GRAFICA				ELABORADO PARA:																														

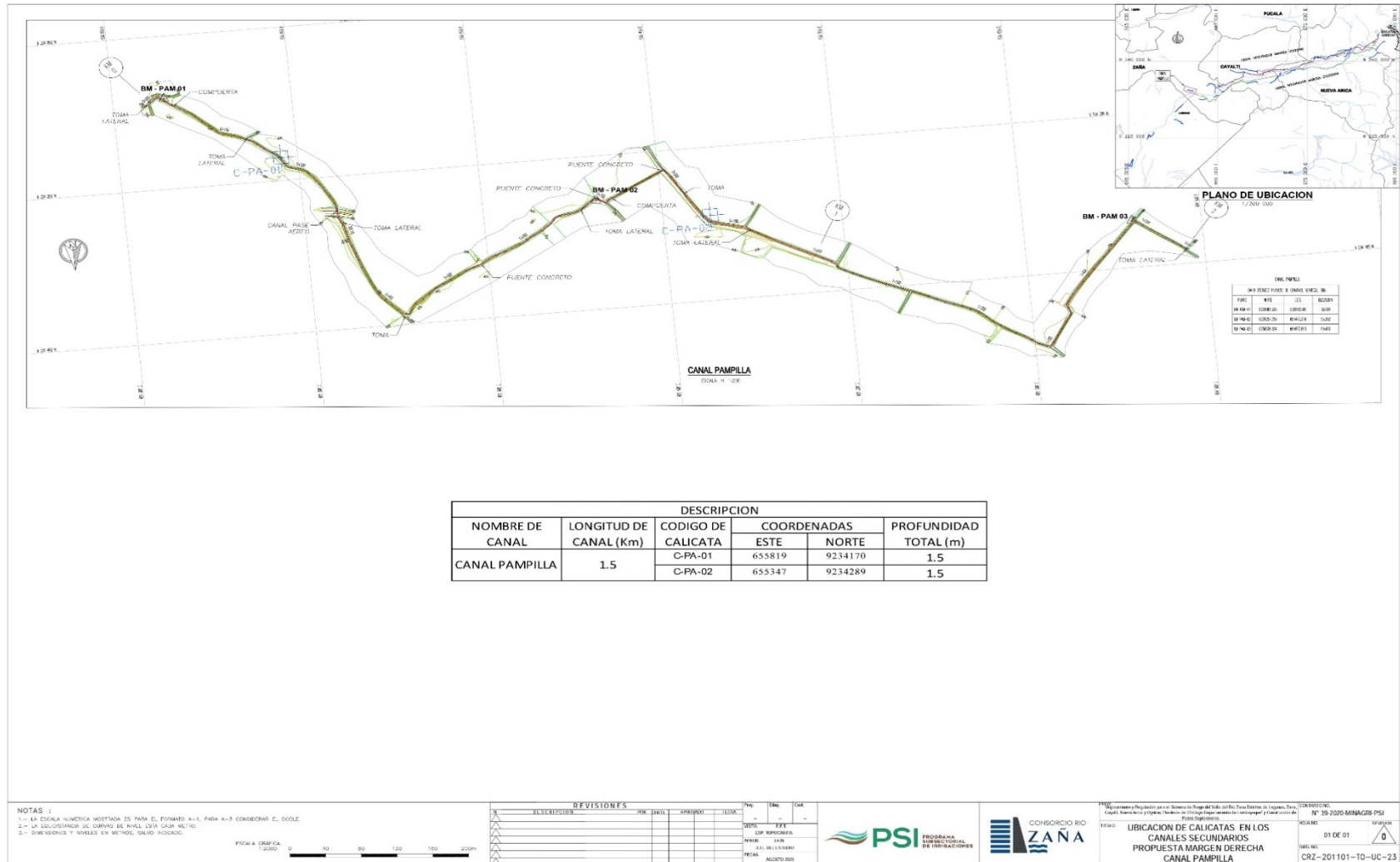
<b>MEJORAMIENTO Y REGULACION PARA EL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DEL RIO ZAÑA DISTRITO DE LAGUNAS, ZAÑA, CAYALTI, NUEVA ARICA Y OYOTUN, PROVINCIA DE CHICLAYO DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE</b>			<b>CALICATA: C-ON-02</b>
COORDENADAS: N9235400 E:658401	Cota--- msnm	DIBUJO: I.Q.M	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1.5 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 30/11/2022		RESPONSABLE DE EXCAVACION: I.Q.M	
UBICACION: Canal Dnce		REGISTRADO POR: I.Q.M	NIVEL FREATICO: N.E
PROGRESIVA: -		REVISADO POR:	



		<b>MEJORAMIENTO Y REGULACION PARA EL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DEL RIO ZAÑA DISTRITO DE LAGUNAS, ZAÑA, CAYALTI, NUEVA ARICA Y OYOTUN, PROVINCIA DE CHICLAYO DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE</b>		CALICATA: <b>C-ON-03</b>	
COORDENADAS: N9235640 E:658962 Cota:--- msnm		DIBUJO: I.Q.M		PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1.5 m	
FECHA DE EXCAVACIÓN: 28/11/2022		RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: I.Q.M			
UBICACIÓN: Canal Dnce		REGISTRADO POR: I.Q.M		NIVEL FREATICO: N.E	
PROGRESIVA: -		REVISADO POR:			

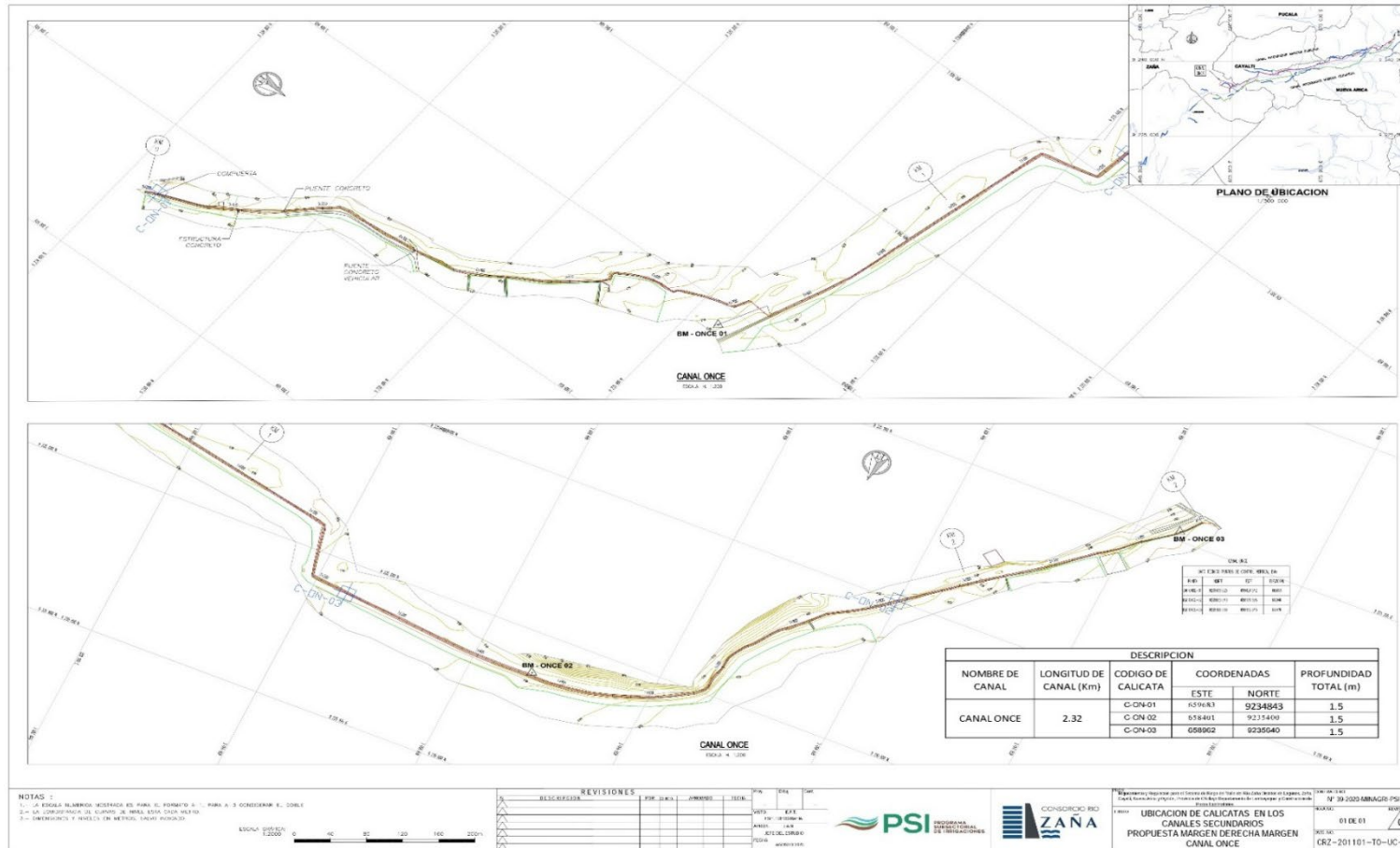
PROF (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA <small>CLASIFICACIÓN TÉCNICA; FORMA DEL MATERIAL GRANULAR; COLOR; CONTENIDO DE HUMEDAD; ÍNDICE DE PLASTICIDAD / COMPRESIBILIDAD; GRADO DE COMPACTACIÓN / CONSISTENCIA; OTROS; PRESENCIA DE OXIDACIONES Y MATERIAL ORGÁNICO; PORCENTAJE ESTIMADO DE BOLOS / CANTOS, ETC.</small>	GRAFICO	SUCS	FOTOGRAFIA																														
0.0	<p>Tipo de suelo: Arcillas            Angularidad(Grano grueso): .-----            Forma(Grano grueso): -----            Color(general):marron claro            Olor(general):Organico            Condicion de humedad(general):Baja            Reaccion al HCL(general): Ninguna; no hay reaccion visible            Consistencia(Grano fino): Firme, El dedo pulgar penetra cerca de 1/4 " en el suelo.            Tamaño maximo particulas TM (general):1"            Dureza(Grano grueso): ---            Plasticidad(Grano fino):baja            Cementacion(Grano grueso): ---            Otros(general): Limos compactos con contenido de arcillas. Hay presencia de raices. Excavabilidad dificil.</p> <p>Granulometria      Limites consistencia            -Grava    --%      -LL 40            -Arenas  15.1%   -LP 20            -Finos    84.9%   -IP 20   SUCS: CL</p>		CL																															
0.5																																		
1.0																																		
1.5																																		
2.0																																		
2.5																																		
3.1																																		
<p><b>LEYENDA:</b></p> <table border="0"> <tr> <td>GW</td> <td></td> <td>SM</td> <td></td> <td>GH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GP</td> <td></td> <td>SC</td> <td></td> <td>GH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GM</td> <td></td> <td>ML</td> <td></td> <td>PH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GC</td> <td></td> <td>CL</td> <td></td> <td>MH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SW</td> <td></td> <td>CL</td> <td></td> <td>SP</td> <td></td> </tr> </table>				GW		SM		GH		GP		SC		GH		GM		ML		PH		GC		CL		MH		SW		CL		SP		
GW		SM		GH																														
GP		SC		GH																														
GM		ML		PH																														
GC		CL		MH																														
SW		CL		SP																														
OBSERVACIONES: COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 17S TM: TAMAÑO MÁXIMO ESC:GRAFICA				ELABORADO PARA:																														

## Anexo 6. Ubicación de calicatas – Canal Pampilla

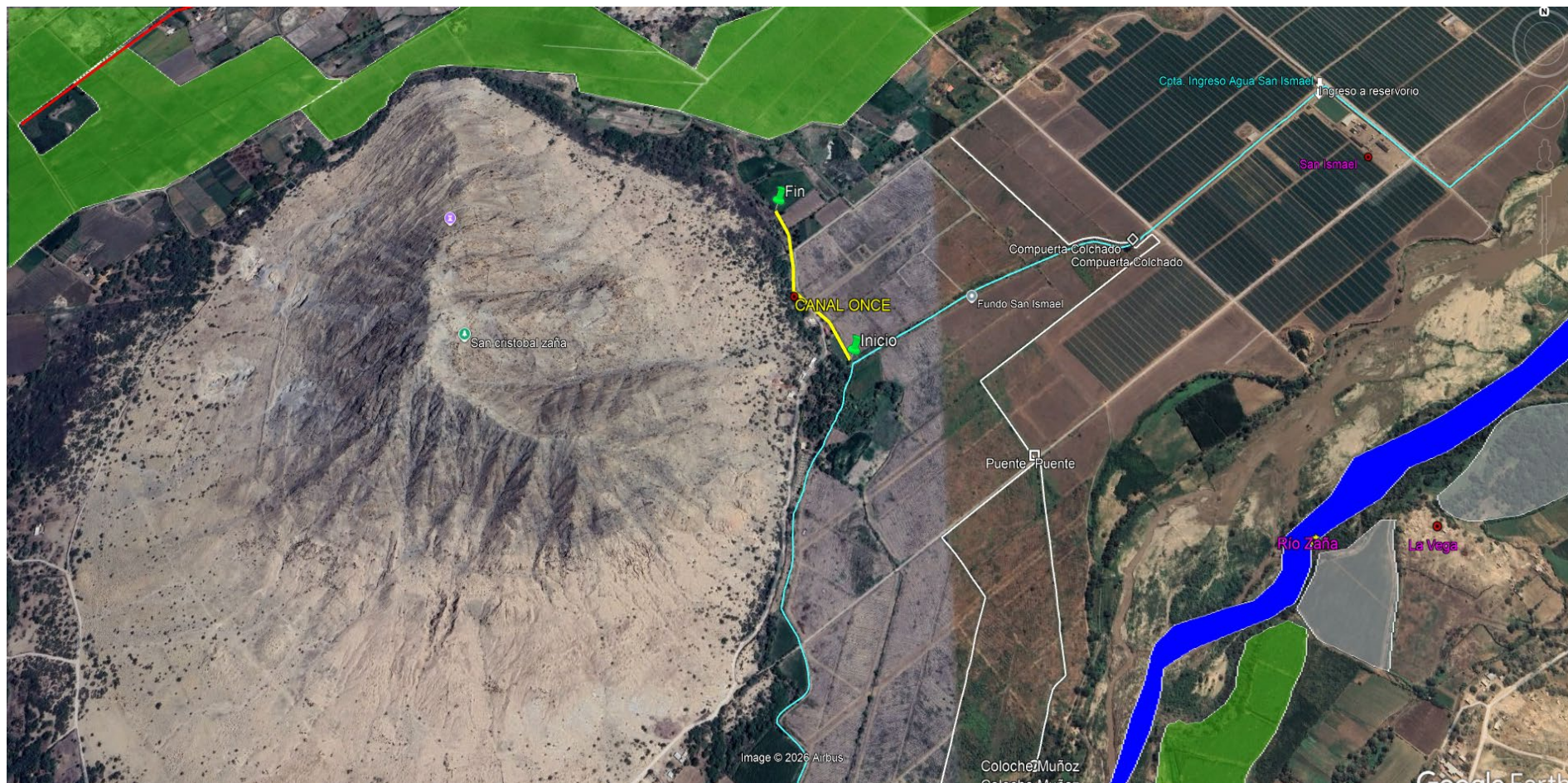


## Anexo 7. Ubicación de calicatas – Canal Once

**Nota.** Topografía tomada de Mejoramiento y regulación para el sistema de riego del valle del río Zaña, distritos de Lagunas, Zaña, Cayaltí, Nueva Arica y Oyotún, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, por Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI) y Consorcio Río Zaña, 2023.



## Anexo 8. Canal Once



## Anexo 8. Canal Pampilla

