



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



**ESTUDIO TOPOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE DISIPADORES
DE ENERGÍA EN FUNCIÓN AL CAUDAL EN LOS TRAMOS 4
(0+000 A 0+048) Y 6 (0+440 A 0+553) DEL CANAL POLOBAYA
CHICO, DISTRITO DE POLOBAYA, AREQUIPA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MACJOEL HARON PAREDES PAREDES

Bach. JHON FRANKLIN FLORES COAQUIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

PUNO – PERÚ

2025



MACJOEL PAREDES JHON FLORES

ESTUDIO TOPOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN FUNCIÓN AL CAUDAL EN LOS TRAMOS 4 (0+...

 Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:495155014

118 páginas

Fecha de entrega

9 sep 2025, 10:17 a.m. GMT-6

20.772 palabras

Fecha de descarga

9 sep 2025, 10:28 a.m. GMT-6

116.728 caracteres

Nombre del archivo

ESTUDIO TOPOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN FUNCIÓN AL CAUDALpdf

Tamaño del archivo

1.4 MB





9% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

ESTUDIO TOPOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE DISIPADORES DE
ENERGÍA EN FUNCIÓN AL CAUDAL EN LOS TRAMOS 4 (0+000 A 0+048) Y
6 (0+440 A 0+553) DEL CANAL POLOBAYA CHICO, DISTRITO DE
POLOBAYA, AREQUIPA

TESIS PRESENTADA POR:

BACH. MACJOEL HARON PAREDES PAREDES

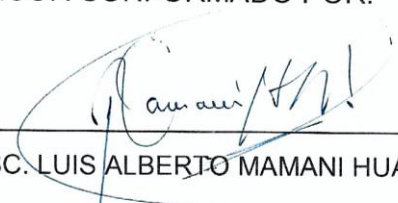
BACH. JHON FRANKLIN FLORES COAQUIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:



MSC. LUIS ALBERTO MAMANI HUANCA

PRIMER MIEMBRO:



ING. ANGEL ABRAHAM FRANCO PINEDA

SEGUNDO MIEMBRO:



ING. ALFREDO PONCE FLORES

DIRECTOR / ASESOR:



ING. VICTOR CIPRIANO FLORES FLORES

ÁREA: Hidrología e Hidráulica

TEMA: Hidráulica en canales abiertos

FECHA DE SUSTENTACION: 21 de Julio del 2025



DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida, por ser mi guía; quien está siempre conmigo, brindándome sabiduría, salud, esperanza y por haberme permitido llegar hasta este punto tan importante en mi vida profesional.

A mis padres, Vidal Fidel Paredes Astrulla y Oswaldina Lidia Paredes Calcina, ya que son mi pilar fundamental y principal apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia, mi dedicación y por llenarme de mucho amor incondicional.

A mis hermanos que han sido mi ejemplo de superación y de lucha para alcanzar mis metas.

A mis sobrinos que por medio de sus alegrías me motivaron a seguir adelante.

A mi tía, Hilda Mamani Valeriano quien fue una persona muy especial durante mi formación profesional, brindándome su apoyo incondicional para que pueda llegar a este punto de mi vida.

A todas las personas que de alguna manera me ayudaron a alcanzar una de mis metas personales.

Macjoel Haron Paredes Paredes



A mis padres, Jorge y María, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y sus constantes palabras de aliento. Gracias por enseñarme el valor del trabajo duro y por estar a mi lado en cada paso de este camino.

A mi hermana Érica, por su apoyo silencioso, pero siempre presente, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por ser una fuente constante de inspiración y cariño.

Esta tesis es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

Jhon Franklin Flores Coaquira



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su protección constante y por otorgar la fortaleza necesaria para afrontar los retos que implicó la culminación de este trabajo académico.

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias y en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, por brindarnos una formación profesional de calidad que nos ha permitido adquirir las competencias necesarias para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, a los docentes de la carrera, por su dedicación y por compartir sus conocimientos a lo largo de nuestra formación académica.

Al Ing. Víctor C. Flores Flores, director y asesor de tesis, por su orientación, compromiso y valiosos aportes durante el proceso de elaboración de este trabajo de investigación. Su guía académica fue fundamental para alcanzar los objetivos planteados.

Macjoel Haron Paredes Paredes

Jhon Franklin Flores Coaquira



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	20
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes Nacionales	22
2.1.3. Antecedentes locales	25
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.2.1. Estudio Topográfico.....	27
2.2.1.1. Planimetría	27
2.2.1.2. Secciones transversales	27
2.2.1.3. Perfil longitudinal	27



2.2.1.4. Poligonales	28
2.2.1.5. Curvas de nivel.....	28
2.2.1.6. Altimetría y cálculos	28
2.2.1.7. Tipos de levantamiento topográfico.....	30
2.2.2. Fases del proceso de levantamiento topográfico.....	31
2.2.2.1. Fase exploratoria	31
2.2.2.2. Fase de levantamiento y trabajos de campo.....	31
2.2.3. Equipos y herramientas	32
2.2.3.1. Estación total.....	32
2.2.3.2. Parámetros y requisitos para el diseño de drenajes.....	32
2.2.4. Diseño de infraestructura hidráulica	34
2.2.4.1. Infraestructura hidráulica	34
2.2.4.2. Disipadores de energía	36

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN	65
3.2. CAMPO DE VERIFICACIÓN.....	65
3.2.1. Ubicación Espacial.....	65
3.2.2. Ubicación Temporal.....	66
3.2.3. Unidades de Estudio.....	66
3.3. ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	66
3.4. RECURSOS NECESARIOS.....	66
3.5. HIPÓTESIS GENERAL	67
3.6. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	67
3.7. TIPO, ENFOQUE Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	67



3.7.1. De acuerdo con el propósito de estudio	67
3.7.2. Diseño de la Investigación	68
3.7.3. Método de la Investigación	68
3.8. VARIABLE Y OPERACIONALIZACION	68
3.8.1. Población y Muestra.....	70
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS.....	71
4.1.1. Análisis Topográfico	71
4.1.2. Cálculo de caudales de diseño:	72
4.1.3. Diseño de disipadores de energía.....	91
4.1.4. Análisis estadístico y validación del disipador de energía Tramos 4 y 6	96
4.1.5. Limitaciones del análisis estadístico	98
4.1.6. Prueba de T de STUDENT para el tramo 6	98
4.1.7. Resultados del análisis técnico comparativo para el tramo 4 y Análisis estadístico con prueba T de STUDENT para el tramo 6.....	99
4.1.8. Conclusión del análisis estadístico.....	100
4.2. DISCUSIÓN	102
4.2.1. Tramo 4: Evaluación del efecto de disipación de energía.....	102
4.2.2. Tramo 6: Análisis estadístico de la reducción de velocidad y pendiente....	103
4.2.3. Discusión general	104
V. CONCLUSIONES.....	106
VI. RECOMENDACIONES.....	109
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110



ANEXOS..... 114



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Variaciones de velocidades máximas según material de revestimiento	73
Tabla 2 Material transformado.....	74
Tabla 3 Relación de máxima eficiencia	74
Tabla 4 Relación de máxima eficiencia	74
Tabla 5 Coeficiente de rugosidad de superficie	75
Tabla 6 Taludes recomendados.....	75
Tabla 7 Resultados de los cálculos para el diseño de canal en el tramo 4.....	82
Tabla 8 Resultados de los cálculos para el diseño de canal en el tramo 06.....	90
Tabla 9 Diseño de dissipador en el tramo 6 (0+440 a 0+553).....	93
Tabla 10 Datos de entrada y salida del tramo 4.....	93
Tabla 11 Datos hidráulicos del tramo 4.....	97
Tabla 12 Datos hidráulicos del tramo 6.....	97
Tabla 13 Análisis comparativo de parámetros hidráulicos del tramo 4.....	99
Tabla 14 Prueba T de STUDENT para muestras relacionadas – velocidad y pendiente del tramo 6.....	99
Tabla 15 Resumen de la ubicación de dissipadores de energía en el tramo 4.....	105
Tabla 16 Resumen de la ubicación de dissipadores de energía en el tramo 6.....	105



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Salto de esquí sumergido	36
Figura 2 Bloques de impacto	37
Figura 3 Disipador con límites tanto continuos como discontinuos	38
Figura 4 Losa con bloques dentados	39
Figura 5 Columnas que desvían la corriente en el conducto de distribución	40
Figura 6 Disipador de tipo tanque diseñado para ajustar la profundidad	41
Figura 7 Disipador de rejillas de barrotes longitudinales	42
Figura 8 Pozos de caída libre	51
Figura 9 Descargador de vórtice	54
Figura 10 Pozos de bandeja	57
Figura 11 Mapa de la Provincia de Arequipa	71
Figura 12 Curvas del nivel en el tramo 4	78
Figura 13 Sección típica del tramo 4	80
Figura 14 Características hidráulicas de la sección transversal de tramo 4	83
Figura 15 Diseño de caída en tramo 4	84
Figura 16 Verificación de funcionamiento de Poz	85
Figura 17 Diseño de sección de rápida en tramo 04	86
Figura 18 Sección típica del tramo 6	87
Figura 19 Características hidráulicas tramo 6 (progresiva 0+440 – 0+530)	90
Figura 20 Vista en Perfil	91
Figura 21 Rápida, disipador en el tramo 0+460, 0+480, 0+500, 0+520, 0+540	95
Figura 22 Diseño de caída hidráulica 0+460, 0+480, 0+500, 0+520 y 0+0540 – Tramo 6	96



ACRÓNIMOS

UTM:	Universal Transversal Mercator
WGS 84:	World System Geodesic 1984
AUTOCAD:	Diseño Asistido por Computadora
E.C.L:	Error de Cierre Lineal
E.C.T:	Error de cierre total
G.P.S:	Sistema de Posicionamiento Global



RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo analizar topográficamente los tramos 4 (0+000–0+048) y 6 (0+440–0+553) del canal Polobaya Chico, distrito de Polobaya, Arequipa, con el fin de diseñar disipadores de energía que reduzcan los efectos erosivos y garanticen la estabilidad de la infraestructura hidráulica. El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, diseño cuasi experimental y método descriptivo, complementado con análisis estadístico inferencial mediante la prueba t de Student para muestras relacionadas. Se realizaron levantamientos topográficos, cálculos hidráulicos con la fórmula de Manning y simulaciones en AutoCAD Civil 3D, H Canales y Rápidas. Los resultados mostraron condiciones críticas de flujo: en el tramo 4 ($Q= 0.145\text{m}^3/\text{s}$), la velocidad de entrada fue 4.329 m/s, reducida a 0.324 m/s (92.52%), mientras que la pendiente pasó de 0.2087 a 0.0009 (99.57%). En el tramo 6 ($Q= 0.100\text{m}^3/\text{s}$), la velocidad descendió de 3.05 m/s a 0.32 m/s (85.68%) y la pendiente de 0.1687 a 0.0009 (99.48%). El análisis estadístico confirmó que estas reducciones son significativas, demostrando la eficacia del diseño. Se concluye que la incorporación de disipadores disminuye la energía específica del flujo, controla la erosión y prolonga la vida útil del canal. Se propone instalar un disipador tipo colchón hidráulico en la progresiva 0+025 del tramo 4 (UTM: N 8167676.222, E 245864.902) y cinco disipadores tipo colchón en el tramo 6: 0+460 (N 8167172.493, E 246015.923), 0+480 (N 8167157.633, E 246002.556), 0+500 (N 8167143.638, E 245988.276), 0+520 (N 8167130.100, E 245973.579) y 0+540 (N 8167115.939, E 245959.456).

Palabras clave: Estudio topográfico, Disipadores de energía, Canales hidráulicos, Cámaras rompe presión, Modelo canales.



ABSTRACT

This research aimed to conduct a topographic analysis of sections 4 (0+000–0+048) and 6 (0+440–0+553) of the Polobaya Chico canal, located in the district of Polobaya, Arequipa, with the purpose of designing energy dissipators to reduce erosive effects and ensure the stability of the hydraulic infrastructure. The study was applied in nature, with a quantitative approach, quasi-experimental design, and descriptive method, complemented by inferential statistical analysis using the paired-sample Student's t-test. Topographic surveys were carried out, hydraulic calculations were performed using Manning's equation, and simulations were conducted with AutoCAD Civil 3D, H Canales, and Rápidas software. The results revealed critical flow conditions: in section 4 ($Q = 0.145 \text{ m}^3/\text{s}$), the inflow velocity of 4.329 m/s was reduced to 0.324 m/s (92.52%), while the slope decreased from 0.2087 to 0.0009 (99.57%). In section 6 ($Q = 0.100 \text{ m}^3/\text{s}$), the velocity decreased from 3.05 m/s to 0.32 m/s (85.68%) and the slope from 0.1687 to 0.0009 (99.48%). Statistical analysis confirmed that these reductions were significant, validating the effectiveness of the design. It is concluded that the incorporation of dissipators reduces the specific energy of the flow, controls erosion, and extends the service life of the canal. The installation of a hydraulic jump-type dissipator is proposed at station 0+025 in section 4 (UTM: N 8167676.222, E 245864.902), and five dissipators in section 6 at stations 0+460 (N 8167172.493, E 246015.923), 0+480 (N 8167157.633, E 246002.556), 0+500 (N 8167143.638, E 245988.276), 0+520 (N 8167130.100, E 245973.579), and 0+540 (N 8167115.939, E 245959.456).

Keywords: Topographic study, Energy dissipators, Hydraulic channels, Pressure breaker chambers, Channel model.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la necesidad de realizar un estudio topográfico en el canal hidráulico Polobaya Chico, con el objetivo de optimizar el diseño de disipadores de energía que permitan mejorar la gestión del recurso hídrico y prevenir riesgos hidráulicos como inundaciones, erosión y sedimentación. La implementación de un sistema adecuado de disipadores garantizará la estabilidad estructural del canal, prolongará su vida útil y asegurará un suministro de agua confiable para el riego agrícola, actividad vital para la economía local.

El canal Polobaya Chico, ubicado en el distrito de Polobaya, provincia de Arequipa, constituye una infraestructura hidráulica clave para la conducción de agua destinada al riego. La topografía accidentada de la zona y las variaciones en el caudal plantean retos significativos para su diseño y mantenimiento.

En canales que atraviesan terrenos con pendientes variables, como es el caso, los disipadores de energía son esenciales para reducir la velocidad del flujo, mitigar la energía hidráulica y prevenir daños por socavación o desgaste del revestimiento. De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.030 Diseño Hidráulico de Canales, para revestimientos de concreto simple con resistencia de 140 kg/cm^2 , la velocidad máxima permisible es de $2,50 \text{ m/s}$, límite que, si se sobrepasa, incrementa considerablemente el riesgo de erosión y deterioro estructural. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2006).

En este estudio, se identifican dos tramos críticos del canal: el Tramo 4 (0+000 – 0+048) y el Tramo 6 (0+440 – 0+553). En estas secciones, las pendientes y caudales



generan velocidades que exceden la capacidad de manejo del revestimiento actual, superando en algunos casos los valores normativos, lo que incrementa el riesgo de erosión y degradación de la estructura.

La ausencia de disipadores adecuados en dichos tramos provoca que el agua conserve una alta energía cinética, intensificando el impacto negativo sobre la infraestructura y aumentando los costos de mantenimiento.

La investigación se desarrolla en el marco geográfico de Arequipa, Perú, región ubicada al sur del país, caracterizada por una gran diversidad geográfica que va desde valles agrícolas hasta zonas desérticas, y por su red hidrográfica de importancia estratégica. El distrito de Polobaya, localizado en esta región, se encuentra a 2,335 m s. n. m. y está rodeado por importantes formaciones volcánicas como el Misti, Chachani y Pichu Pichu.

El presente estudio propone un diseño optimizado de disipadores de energía adaptado a las condiciones locales, a partir de un levantamiento topográfico detallado y un análisis hidráulico riguroso. Los resultados de este trabajo aportarán un modelo técnico aplicable a otras zonas con características similares, contribuyendo así a una gestión sostenible y eficiente del recurso hídrico, y asegurando la continuidad y productividad de las actividades agrícolas en la zona de influencia del canal Polobaya Chico.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de la topografía en el tramo 4 (0+000 al 0+048) y el tramo 6 (0+440 al 0+553) del canal de Polobaya para diseñar disipadores de energía eficientes y adecuados para evitar efectos del flujo generado por sobre caudales en el canal hidráulico.



1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las zonas críticas susceptibles a distintos efectos del flujo, mediante un estudio topográfico para determinar la velocidad y el caudal.

Realizar un estudio de las características hidráulicas del flujo en canales mediante mediciones precisas, caudales y profundidades.

Mejorar el criterio para selección y diseño de disipadores de energía mediante un modelado hidráulico y mejorar la gestión del flujo en el canal.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según Rosado (2017), en el estudio de metodología para el diseño de canales escalonados, disipadores de energía empleados en drenaje urbano, basada en modelación física, este trabajo tiene como objetivo principal elaborar una metodología en la cual podamos juntar los diseños de los diversos canales escalonados, disipadores de energía y de esta manera aplicarlos en el drenaje urbano para poder de esta manera dar una construcción, con un análisis del comportamiento del fluido. Para esto se necesita el uso de una metodología de investigación bibliográfica y también una metodología cuantitativa haciendo uso del método experimental mediante un laboratorio de hidráulica, estableciendo las siguientes medidas al caso del canal: 6 metros de largo y 0.394 metros de ancho. Para poder ver cómo afecta la pendiente, se están tomando dos casos: en el primer caso es 12° a 8° y en el segundo caso 8° a 17° , y se está variando el tipo de caudal teniendo valores de 0.010 a 0.845 m³/s. Con esto se pudo obtener que cuando el flujo es rasante y este teniendo una característica de un mayor pendiente a una menor pendiente tiende a tener el caso del flujo con mayor estabilidad, por lo que es sinónimo a decir que no aumenta la turbulencia, por lo que se puede dar que los flujos mencionados con los flujos saltantes, se puede ver una relación directamente proporcional entre la pendiente del canal con la profundidad.



Según Villamarín (2013), En el trabajo de investigación del Manual Básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica, nos dice que la disipación de la energía que se encuentra en las obras de construcciones hidráulicas se ha dado un desenlace teniendo como pilares la ciencia y la experimentación, también habiéndose investigado diversas notas bibliográficas, por lo que es muy amplio y es necesaria su recopilación. En la actualidad se está desarrollando en el caso de Ecuador, en el caso de energía hidráulica como para el agua potable y riego, en todos estos procesos se está viendo la pérdida de energía esto a consecuencia del diseño, por lo que es de necesidad primaria para los ingenieros tener un manual necesario para el desenvolvimiento como es el caso de este trabajo, considerando los principales parámetros y condiciones necesarias para el diseño de estas estructuras y para la justificación de este trabajo se está dando a detalle cómo se da la mencionada pérdida de energía, como ya se dijo siendo necesaria tu compilación bibliográfica, por lo que en este manual será necesario la consideración de los elementos con más frecuencia el caso de los complejos hidráulicos, esto con una estrecha relación con las estructuras hidráulicas que actualmente se realizan y son utilizadas en las obras de construcción sobre todo en la región que se realizó el trabajo, para esto está siendo necesario este manual con todas las condiciones ya mencionadas.

En el artículo Disipadores de energía – parte I: el salto hidráulico, tiene como objetivo dar a conocer las herramientas como los procedimientos para el caso de los disipadores de energía, esto enfocado en el diseño. Se sabe que existe una extensa cantidad de softwares enfocados en la investigación sobre el estudio de los saltos hidráulicos, esto enfocándose específicamente en relación a la disipación de energía. De esta manera se podrá ver que ocurre en todas las fases



del mismo caso, como ocurren sin que afecten otras conducciones. Teniendo ya un amplio conocimiento de cómo funciona este fenómeno, se pudo dar de manera exitosa en el caso del dissipador los efectos más parásitos en cada tipo de caso. Dando de esta manera una que se puede decir que la unión de una gran cantidad de publicaciones enfocadas en el tema antes mencionado, sea factible que no pueda haber otro campo en el caso de la hidráulica que se haya estudiado con más profundidad. Esto debido a una revisión muy extensa de muchas publicaciones y dando como resultando más de dos centenares de aliviaderos en los tipos físicos de desarrollo en los laboratorios hidráulicos. Y se puede ver que en este trabajo organizar todos los resultados de respectivos trabajos detalladamente (Pardo-Gómez, 2018, p. 108)

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el trabajo que realizó Segura (2019), titulado diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Chirchir, distrito de Condebamba – Cajamarca, se indica que este trabajo tiene que objetivo poder realizar un diseño hidráulico de los sistemas proyectados para el caso de abastecimiento de agua para consumo humano, para el caso de Cajamarca. Para esto es necesario un diagnóstico de tipo hidráulico y sobre la situación que se encuentra la estructura la cual está siendo utilizada actualmente, que pueden ser la distribución del agua y redes que conectan este sistema. Posteriormente, se tiene que realizar con respecto al agua su calidad y cantidad en la que se abastece a la localidad. Posteriormente a estos datos obtenidos se tiene que calcular una muestra demandada y en el caso del volumen del contenedor del agua el cual requiere que tenga una duración de 20 años, por lo que esto también de ser calculado para que pueda servir a una población futura. Con todos estos resultados se podrá hacer una



mejora sustituyéndola y poder dar una proyección de cómo se deben realizar estos diseños hidráulicos y un adecuado número de redes, conducción, distribución como también las estructuras establecidas en el agua potable. En el caso de los antecedentes de este trabajo se sabe que el sistema del agua sin tratamiento tiene un funcionamiento por gravedad construido en el año 1995, y el abastecimiento de la localidad en el caso del agua potable esta dado por un manantial o agua subterránea.

Como se sabe que la falta de agua potable en las zonas rurales del país es necesario un sistema el cual pueda abastecer a la población agua potable para toda la población de esta región y para este presente trabajo se mejora esta ineficiente estructura de abastecimientos de este servicio, por lo que es necesario un mantenimiento por las posibles roturas y filtraciones, por lo que este proyecto quiere llegar a abastecer en su totalidad a toda la población.

En el trabajo de Leyva (2016), titulado "Optimización del diseño en la línea de conducción en el sistema de agua potable de la localidad de Yamor del distrito de Antonio Raymondi, Bolognesi Ancash", tiene como objetivo principal dar una optimización con respecto a los cálculos agua potable del sistema de abastecimiento en el caso de la línea de conducción, mediante una metodología que se va dar un nivel explicativo dentro de una metodología aplicativo mediante dos tipos de métodos. Teniendo como resultados que para ambos casos se vio que se rompe la presión a lo largo de las líneas en este manejo de las aguas. También en este trabajo nos da a conocer que para el año 2009 dio el abastecimiento en el caso del Perú un aumento del porcentaje con respecto al agua potable de un 5%. También se dio el conocimiento de que en una porción de la población del planeta existen países los cuales tienen una falta de agua para el consumo humano, esto



dando siendo casi la mitad de la población mundial. En los años de los 90 por lo que se ve en los 25 años siguientes las $\frac{2}{3}$ partes de la población del mundo están viviendo en un país en escasez de agua. Además, también nos menciona que todos los lugares tienen el mismo derecho en desarrollarse en todos los niveles culturales. Para esto es necesario una buena calidad de agua que es muy importante para nosotros. En otro caso también nos dice que el agua, por más que nosotros querriamos, se presenta que no es la misma distribución para otros, esto dependiendo de muchos factores incluso en la época en la que se encuentra. Por lo que podemos ver en todos estos casos antes mencionados, nos hace ver cómo es necesaria una distribución para el caso del agua siendo un bien necesario.

Según Carpio (2021), en su estudio de la disipación de energía en el vertedero de demasías de la presa Sutunta-Cusco, 2021, tiene como objetivo general dar un diseño enfocado en el aspecto de la eficiencia en el caso de la energía perdida o disipada. Para esto se tiene que primero hacer una revisión y saber sobre los datos de la represa en la disipación en la zona de la presa. Para eso se está haciendo un modelo matemático y poder dar una escala en su modelo físico, todo haciendo un uso de software. En este trabajo se está tomando 5 tipos de disipaciones de energías con diferentes disipadores, entre tres valores que se está dando al caudal: 0.0033, 0.0015, 0.0011 m³/s para cada modelo. Con esto se pudo ver que en el caso del primer modelo este tiene una reducción en el caso del porcentaje con los valores 1.60%, 1.90% 0.26% respectivamente para cada caudal. De esta manera también se tuvo valores para el segundo caso también siendo una reducción de 21.59%, 65.43 y 73.51%. Para el caso del tercer modelo se obtuvieron los siguientes valores de disminución para la energía: 43.02%, 76.32% y para el último valor, 75.88%. Para el caso del cuarto modelo físico se obtuvo los



siguientes valores para cada tipo de caudal: 36.23%, 67.48% y para el ultimo valor 65.43%. Para el quinto modelo se tuvo los siguientes valores: 14.19%, 39.23% y 34.68%. Como se pudo ver, el modelo que tiene los mejores resultados en el caso de la disminución de energía es del tercer modelo, por lo que esta modelo sería el mejor para la disminución de la velocidad en el caso de la salida de poza, esto para los caudales de 0.0033, 0.0015, 0.0011 m³/s las siguientes velocidades 1.61, 0.93 y 0.9 m/s.

2.1.3. Antecedentes locales

Según Rendon (2018), en su trabajo Modelamiento hidráulico de aliviaderos con disipadores de energía del tipo salto de esquí, “el caso de la ciudad de Arequipa debido a su creciente población, está requiriendo de que las personas tengan la disponibilidad de los insumos necesarios para sobrevivir como es el caso de agua potable, este siendo un punto importante para la vida de todas las personas. Por lo que la solución a este problema planteado por el autor es la construcción de canales hidráulicos los cuales abastezcan el agua de las represas, y con esto garanticen que esos funcionarán debidamente teniendo un tiempo de vida prudente. Y sabiendo que uno de los puntos importantes para tener en cuenta el tiempo de vida de la represa se encuentra en la disipación de energía perteneciente al agua excedente, por lo que es necesaria una propuesta para poder detener esta disipación de energía, la cual está relacionada en este caso con la energía cinética ganada debido a la caída del agua. Con esto se puede provocar el daño de la estructura, dando inicio a erosiones como socavaciones en la zona donde se da el impacto, por lo que es importante dar una estabilidad a la estructura. Con esto daría inicio a un análisis exhaustivo en el caso de la disipación de la energía. Por lo que se propone el uso de disminuidores de energía para este tipo



de saltos que propone esquí, los cuales han sido muy poco estudiados en este medio. Para eso es necesaria una investigación para poder dar a conocer los casos, para dar los puntos necesarios para que sea posible la utilización de estos disipadores y si es conveniente su uso para el caso de la solución de esta problemática.

Los autores Cántaro y Quisca (2023), en su investigación titulada Diseño del aliviadero escalonado convergente de la presa Toma Grande con modelamiento numérico 3D, proponen “una alternativa para la disipación de este caso, que es la energía en las caídas en las zonas escalonadas de las estructuras hidráulicas, para que por medio de este diseño se pueda dar una zona más segura y menos propensa a tener desgaste. Para esto se necesita saber la disipación más óptima en el caso de estas estructuras hidráulicas, haciendo uso de modelos numéricos tridimensionales mediante el uso de software. Este software es conocido como OpenFOAM, con el cual podremos realizar las respectivas calibraciones de los datos en el caso de los resultados experimentales haciendo uso de un modelo físico en una escala muy pequeña. Posteriormente, se realizará una comparación en cuanto a la eficiencia de los diferentes disipadores escalonados, siendo vistos de manera constante, y también se tendrá en cuenta las diferentes formas que estos escalones puedan tener, para así ver cómo pueden afectar y cuál sería la forma en que trabajan mucho mejor. Para el estudio es necesario conocer los parámetros de estos sistemas hidráulicos para obtener mejores resultados, los cuales ayudarán a la construcción de estos disipadores en el futuro”



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Estudio Topográfico

2.2.1.1. Planimetría

Una de las aplicaciones más destacadas en topografía, es aquella que permite la división del terreno del proyecto y la creación de planos catastrales. La información recolectada en el campo incluye puntos de referencia, medidas de ángulos y distancias. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)

2.2.1.2. Secciones transversales

Estos son perfiles cortos que se encuentran perpendiculares a la línea principal del proyecto y brindan información para estimar los movimientos de tierra. Para realizar el levantamiento de estos perfiles, se acostumbra colocar estacas en la superficie para dar forma al terreno o lote, creando una cuadrícula con lados de 20 metros que pueden modificarse según sea necesario. Después, se calculan las elevaciones de los vértices de la cuadrícula. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)

2.2.1.3. Perfil longitudinal

Se trata de representar visualmente la intersección que crea en el suelo el plano vertical que incluye el eje de una construcción lineal, estableciendo una relación entre la alineación deseada y la topografía real del terreno. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)



2.2.1.4. Poligonales

Una poligonal es una secuencia de medidas de ángulos y distancias, o distancias y direcciones, que conectan estaciones de medición consecutivas. Estas líneas pueden representar los límites de una propiedad, creando una poligonal cerrada, o el trazado de una carretera o calle, creando una poligonal abierta. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)

2.2.1.5. Curvas de nivel

Se trata de líneas que conectan puntos con la misma elevación, ya sea por encima o por debajo de una medida estándar, como el nivel del mar, y sirven para representar la topografía de un área específica en un mapa. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)

2.2.1.6. Altimetría y cálculos

- Condiciones de poligonales errores de cierre lineal

Es esencial reducir el error que se encuentra en la longitud planimétrica, particularmente en la última alineación desde el principio.

La fórmula correspondiente es:

$$E.C.L. = \sqrt{(factor\ latitud)^2 + (factor\ longitud)^2}$$

Donde:

E.C.L: Error de Cierre Lineal



- **Precisión**

La precisión necesaria para que un levantamiento topográfico se considere aceptable es de 1 metro por cada 1,000 metros medidos, y se puede calcular utilizando la siguiente fórmula.

$$Precisión = \frac{Perímetro}{E.L.T.}$$

Dónde:

E.L.T: Error Lineal Total

Es posible ajustar las coordenadas calculadas si la precisión de la medición es igual o superior a la precisión permitida; de lo contrario, será necesario repetir la medición. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)

- **Método de compensación lineal**

Se realizan ajustes y correcciones a las coordenadas de Latitud y Longitud calculadas, de modo que la suma total sea igual a cero. Estos ajustes se llevan a cabo mediante diferentes métodos, como el de la brújula y el del tránsito, que son ampliamente reconocidos. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)

- **Intervalos de curvas de nivel**

La diferencia vertical es la elevación entre dos curvas de nivel. El número de curvas de nivel en un mapa aumentará con la reducción del intervalo. El uso previsto del mapa, la escala del dibujo, la topografía del terreno y el costo de obtener los datos necesarios para trazar las curvas de



nivel son algunos de los factores que determinarán el intervalo entre estas curvas.

Las líneas de nivel se pueden trazar conectando puntos con altitudes conocidas o utilizando la técnica de nivelación para medir el terreno. En la actualidad, la fotogrametría aérea es un campo que permite obtener mediciones precisas a partir de fotografías, ya sean terrestres o aéreas, para la elaboración de mapas topográficos, mediciones y otras aplicaciones relacionadas con la geografía. (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014)

2.2.1.7. Tipos de levantamiento topográfico

- **Levantamiento tipo general**

El levantamiento tipo general se realiza para medir, dividir extensiones de terrenos, establecer sus límites y divisiones (Reyes, 2017).

- **Levantamiento longitudinal**

Los levantamientos topográficos también se realizan con el fin de construir carreteras, vías férreas, acueductos, entre otros (Reyes, 2017).

- **Levantamiento hidrográfico**

El levantamiento topográfico comprende los trabajos realizados para obtener planos de volúmenes de agua, líneas costeras, relieve de ríos y otras tareas relacionadas con áreas hidrográficas, también conocidas como tratamiento de agua (Reyes, 2017).



2.2.2. Fases del proceso de levantamiento topográfico

2.2.2.1. Fase exploratoria

En la fase exploratoria se llevan a cabo actividades para evaluar las habilidades y objetivos de la investigación, descartando alternativas hasta profundizar en el enfoque del proyecto. Durante esta etapa se recopilan datos bibliográficos, como antecedentes generales y datos topográficos relacionados con el tema de estudio (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014).

2.2.2.2. Fase de levantamiento y trabajos de campo

Primero, en el lugar donde se realiza la medición topográfica, se lleva a cabo una inspección inicial que permite identificar detalles visibles, como la pendiente muy empinada que presenta. Para recopilar los datos topográficos necesarios, se realizan levantamientos planimétricos y altimétricos con la estación total TOPCON OS-101. El levantamiento comienza en un punto llamado 1, que funciona como estacionamiento y punto de partida. Las coordenadas de un BM y la estación total se enrasaron al norte magnético. Se comienza con el levantamiento con toda la información necesaria para instalar la estación total. Cada 20 metros, se establece una retícula de puntos previamente fijados para describir mejor el relieve del terreno. Esto permite una visualización más detallada de las variaciones de altura en el área del proyecto, así como la creación de secciones para el acceso planificado, la identificación de árboles, casetas cercanas y otros puntos de ayuda para obtener un diseño de terrazas de construcción más preciso (Herrera, Escorcía, & Téllez, 2014).



2.2.3. Equipos y herramientas

2.2.3.1. Estación total

La estación total es un equipo compuesto por un teodolito electrónico, un distanciómetro y un procesador, cuya función principal es determinar con precisión las direcciones y longitudes de puntos dentro de un área de interés. Estos instrumentos son fundamentales en obras civiles y arquitectónicas, ya que permiten realizar levantamientos topográficos, cálculos de área, medición de movimientos de tierra, replanteos, verificación de verticalidad, determinación de alturas y más. Gracias a su microprocesador integrado, la estación total proporciona directamente datos horizontales, verticales y de azimut, facilitando el cálculo de coordenadas. Además, permite almacenar la información obtenida en campo, dependiendo de la capacidad del dispositivo (Lujan y Tejada, 2022).

2.2.3.2. Parámetros y requisitos para el diseño de drenajes

Algunos de los puntos a considerar son:

- **Topografía del terreno**

Para determinar la ubicación y el diseño de los drenajes, es fundamental considerar la pendiente del terreno, ya que esta variable influye directamente en la dirección, velocidad y comportamiento del escurrimiento superficial. Un análisis topográfico adecuado permite establecer zonas críticas de acumulación, posibles puntos de socavación y la necesidad de implementar estructuras de disipación de energía. Por ello,

el estudio de la pendiente es un insumo indispensable en el diseño hidráulico, particularmente en canales, alcantarillas y sistemas de evacuación de aguas pluviales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

- **Caudal a drenar**

Para dimensionar correctamente el drenaje, es necesario calcular la cantidad de agua que se espera evacuar en un período de tiempo específico (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

- **Tipo de suelo**

Influirá en la capacidad de absorción y drenaje del terreno, por lo que es importante tener en cuenta esta variable al planificar (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

- **Uso del terreno**

Dependiendo del uso del terreno, ya sea agrícola, urbana, industrial, etc., se requerirá un diseño de drenaje específico que se adapte a las necesidades y características del lugar (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

- **Tipo de drenaje**

Existen diversos tipos de drenajes, como los superficiales, subterráneos e incluso los sistemas de infiltración, cuya elección debe responder a las características físicas, geológicas e hidráulicas del terreno. Es crucial seleccionar el tipo de drenaje más adecuado para asegurar la



eficiencia del sistema y evitar problemas como la erosión, saturación del suelo o fallas estructurales. Esta decisión debe basarse en un análisis técnico del comportamiento del flujo y la capacidad de conducción del terreno (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

- **Mantenimiento**

Para garantizar la eficiencia a lo largo del tiempo, se debe considerar la facilidad de acceso y limpieza de los drenajes (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

- **Normativa local**

Para garantizar la seguridad y evitar problemas legales en el futuro, es fundamental seguir la normativa local en cuanto al diseño de drenajes (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

- **Costo**

Para lograr los objetivos, es crucial considerar el presupuesto disponible para el diseño de drenajes y elegir la opción más eficiente y económica (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

2.2.4. Diseño de infraestructura hidráulica

2.2.4.1. Infraestructura hidráulica

- **Canales hidráulicos**

Debido a que la superficie libre del líquido entra en contacto con la atmósfera, existen vías a través de las cuales el agua se desplaza sin presión y gracias a la gravedad (Lujan & Tejada, 2022).



- **Clasificación de canales**

Según su función, pueden ser:

- **Canal de 1er orden**

El canal de primer orden, también denominado canal principal o de derivación, se caracteriza por tener las mayores dimensiones dentro del sistema hidráulico, operar con una pendiente mínima y contar con una única dirección de flujo, lo que lo hace apto para transportar grandes volúmenes de caudal (Lujan & Tejada, 2022).

- **Canal de 2do orden**

Los canales se derivan del canal principal de riego y cumplen la función de distribuir el caudal hacia distintas zonas agrícolas. Estos canales comparten el flujo de agua transportado y permiten establecer las denominadas asignaciones de riego, que corresponden al volumen de agua destinado a los campos de cultivo según una planificación hídrica específica (Lujan & Tejada, 2022).

- **Canal de 3er orden**

Los canales de tercer orden, también denominados sublaterales, se derivan de los canales laterales o secundarios. La distribución del agua se realiza mediante compuertas ubicadas en el terreno, permitiendo el riego por unidades específicas. Estas unidades de rotación representan las áreas agrícolas directamente abastecidas por los canales de tercer orden (Lujan y Tejada, 2022).

2.2.4.2. Disipadores de energía

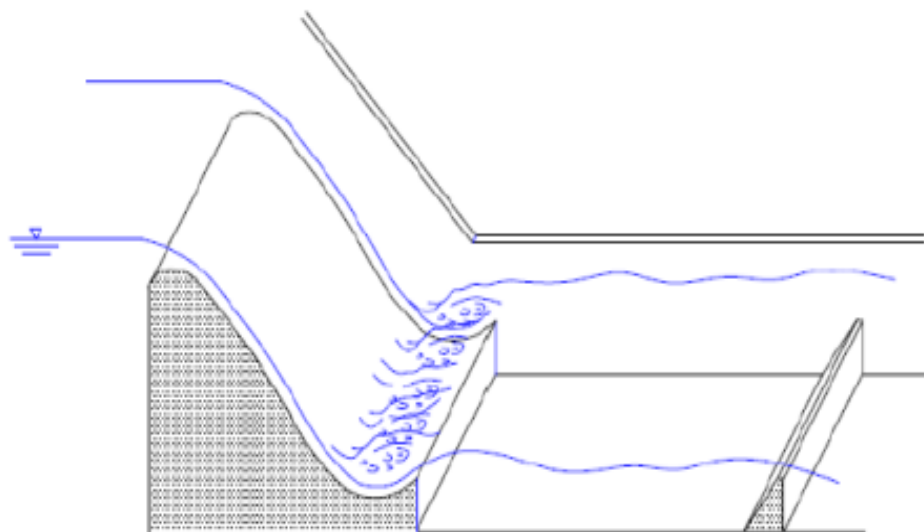
- Tipos de disipadores

a) Salto de Esquí

El disipador tipo salto de esquí se utiliza para liberar grandes volúmenes de agua, especialmente en vertederos, donde el flujo se descarga directamente al cauce del río. Este tipo de estructura emplea dispositivos que dirigen el chorro hacia abajo, reduciendo significativamente la erosión en la base de la presa y en el lecho del río. La eficiencia del sistema depende del caudal, la energía del flujo y el ángulo de salida del chorro. Su funcionamiento se evidencia por la formación de dos remolinos: uno superficial cerca del dispositivo y otro sumergido aguas abajo, lo que refleja su capacidad para disipar eficazmente la energía (Castañeda, 2016).

Figura 1

Salto de esquí sumergido



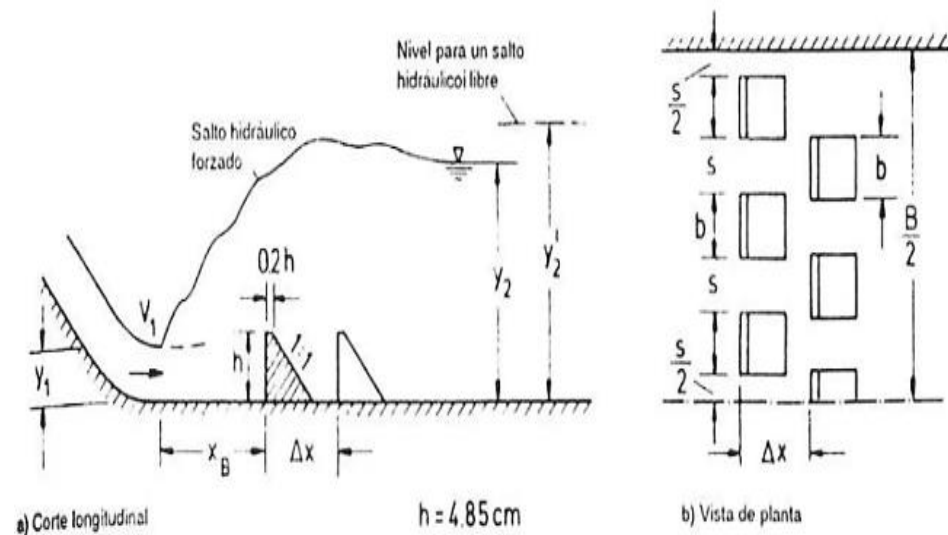
Nota: Adaptado de Diseño de estructuras hidráulicas, por H. Castañeda, 2016, Editorial Alfaomega.

b) Disipador con bloques de impacto o con umbrales

El objetivo es controlar el desgaste del suelo y reducir la longitud de la elevación. En canales largos destinados a velocidades de entrada elevadas, suele haber dientes en el extremo o umbral para expulsar el chorro de alta velocidad restante que podría llegar hasta el final del canal de salida (Castañeda, 2016).

Figura 2

Bloques de impacto



Nota: Adaptado de Diseño de estructuras hidráulicas, por H. Castañeda, 2016, Editorial Alfaomega.

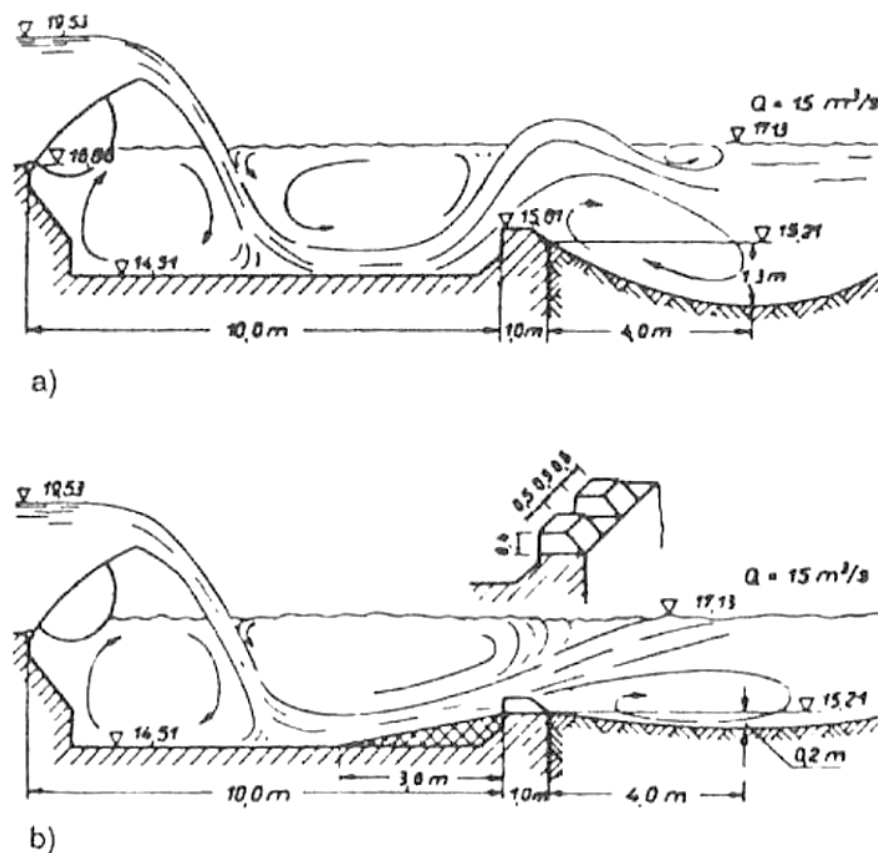
c) Disipador con umbral continuo

El disipador con umbral continuo se implementa como una estructura fija en el fondo del canal, con el objetivo de provocar turbulencias controladas y reducir la energía cinética del flujo. Este tipo de disipador genera la formación de remolinos aguas abajo, lo que favorece la disipación de energía; sin embargo, dicha turbulencia incrementa el riesgo de erosión localizada en la zona posterior al umbral.

Por esta razón, es fundamental reforzar el lecho del canal con revestimientos adecuados o colchones amortiguadores que eviten el socavamiento. Su uso es común en canales de alta pendiente o caudales medios, donde se requiere una solución pasiva y de bajo mantenimiento para mitigar los efectos del flujo supercrítico (Castañeda, 2016)

Figura 3

Disipador con limites tanto continuos como discontinuos



Nota: Adaptado de Diseño de estructuras hidráulicas, por H. Castañeda, 2016, Editorial Alfaomega.

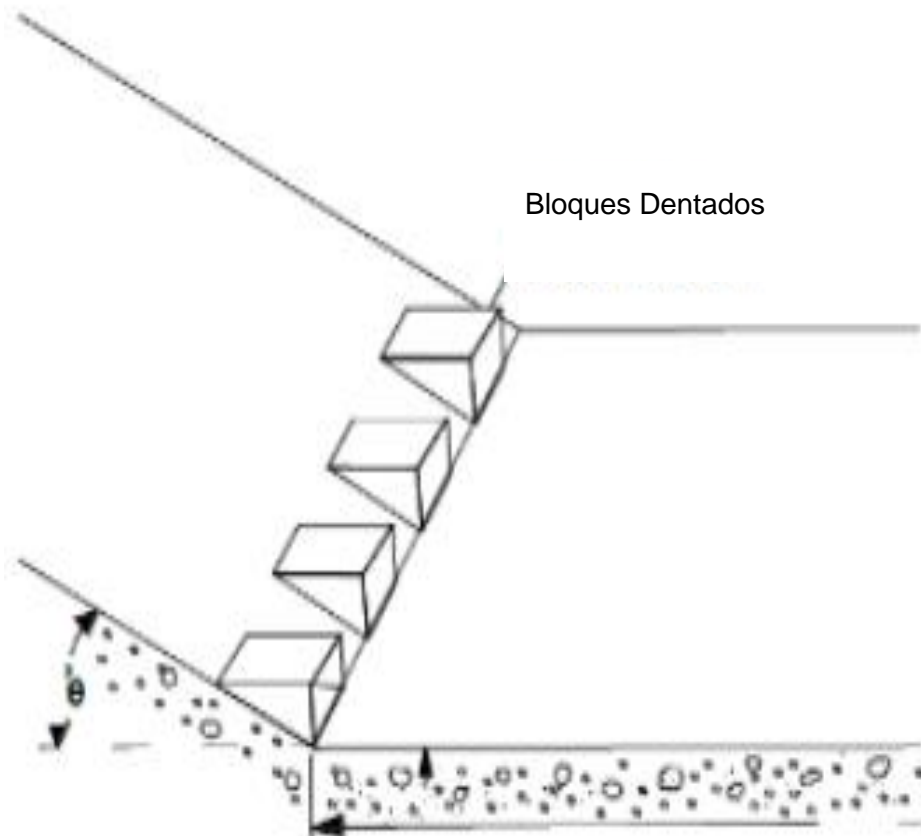
d) Losa de bloques

Al principio del canal de descarga, se utilizan bloques rápidos para crear una estructura dentada. Su objetivo es separar el flujo de entrada y levantar parte de él del suelo, lo que resultará en un salto más corto de lo

que sería posible sin ellos. Estos bloques también mejoran el comportamiento al estabilizar el resalto. (Castañeda, 2016)

Figura 4

Losa con bloques dentados



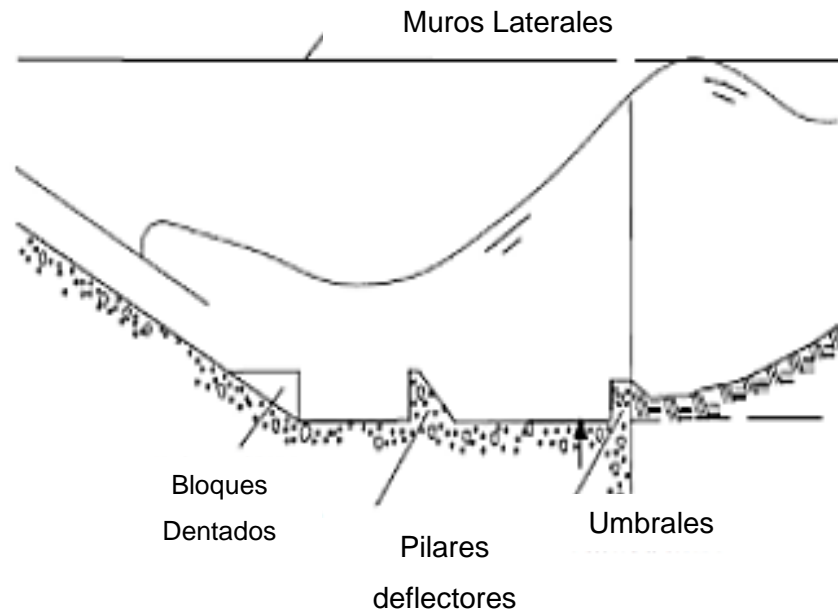
Nota: Adaptado de Diseño de estructuras hidráulicas, por H. Castañeda, 2016, Editorial Alfaomega.

e) Losa con pilares deflectores

Estos bloques, que se encuentran en puntos intermedios en el fondo del canal de entrega, absorben principalmente energía a través de impactos. Los pilares deflectores funcionan mejor en estructuras con velocidades de entrada más bajas. (Castañeda, 2016)

Figura 5

Columnas que desvían la corriente en el conducto de distribución



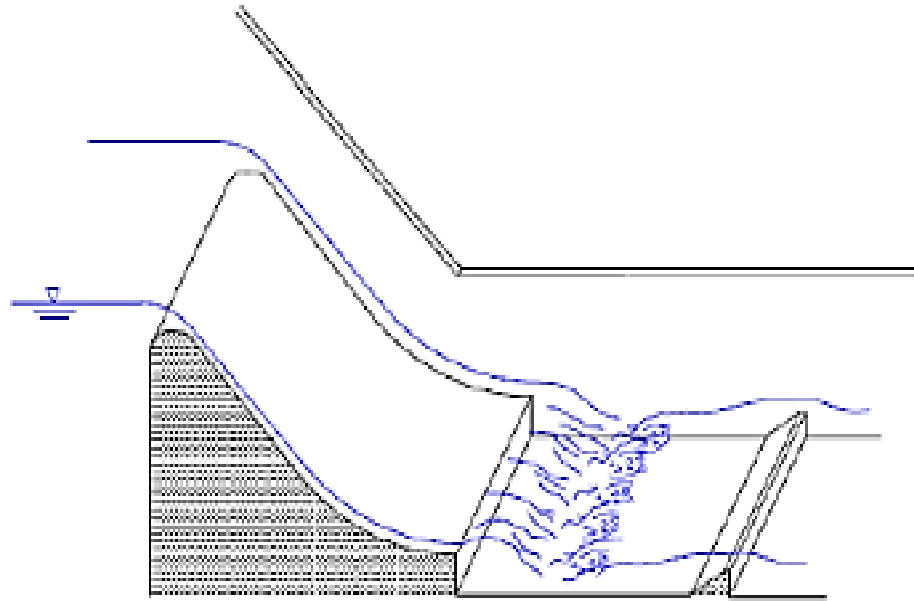
Nota: Adaptado de Diseño de estructuras hidráulicas, por H. Castañeda, 2016, Editorial Alfaomega.

f) Tanque amortiguador

El tanque amortiguador es una estructura hidráulica diseñada para transformar el flujo supercrítico que proviene del vertedero en un flujo subcrítico, permitiendo así la adaptación al régimen del río aguas abajo. Esta transformación se logra mediante la formación controlada de un resalto hidráulico sumergido dentro de una cámara rectangular. Este tipo de disipador es uno de los más utilizados debido a su eficiencia en la reducción de energía y su capacidad para estabilizar el flujo. El diseño puede ajustarse modificando la altura del vertedero o el ancho de la base de la estructura, permitiendo así el control de las condiciones hidráulicas de entrada y salida (Castañeda, 2016)

Figura 6

Disipador de tipo tanque diseñado para ajustar la profundidad



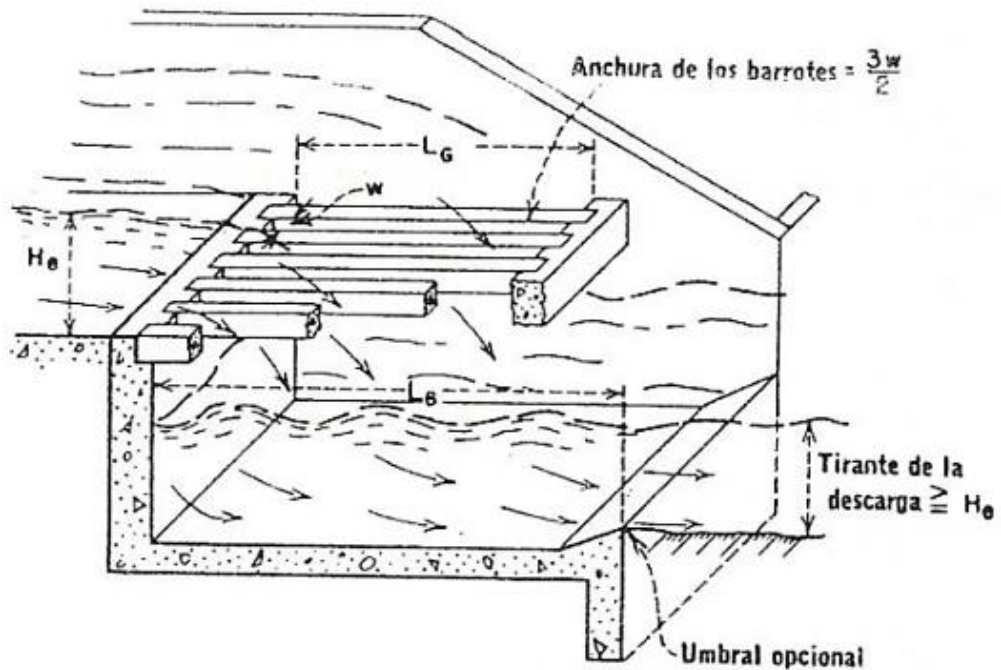
Nota: Adaptado de Diseño de estructuras hidráulicas, por H. Castañeda, 2016, Editorial Alfaomega.

g) Disipadora de rejillas

Esta configuración se ha probado con éxito para números de Froude de 2,5 a 4,5 en el nivel de lavado. En este diseño, la lámina de vertido se divide en segmentos largos y delgados que caen casi verticalmente en el estanque debajo, donde la turbulencia disipa energía. La longitud de la rejilla debe ser suficiente para que toda la corriente pase por las ranuras antes de llegar al extremo aguas abajo para que funcione correctamente. La velocidad de entrada, el área de las ranuras de la rejilla y la descarga total determinarán la longitud requerida. Se utiliza un umbral comparable al establecido para el estanque tipo I para mejorar el rendimiento hidráulico (Castañeda, 2016).

Figura 7

Disipador de rejillas de barrotes longitudinales



Nota: Adaptado de Diseño de estructuras hidráulicas, por H. Castañeda, 2016, Editorial Alfaomega.

h) Disipadores por rugosidad

Los disipadores por rugosidad artificial son estructuras diseñadas para reducir la energía del flujo a través de la fricción generada por la rugosidad en las paredes y el fondo de los canales. Esta rugosidad puede ser introducida de manera intencionada utilizando materiales como piedra pegada con concreto o elementos prefabricados, lo que provoca una turbulencia significativa en el flujo. Este tipo de estructura se utiliza principalmente en canales y conducciones con pendientes pronunciadas, donde la velocidad del flujo es alta y existe un riesgo considerable de erosión y socavación del terreno. La turbulencia creada por la rugosidad artificial interrumpe la velocidad del agua, provocando una disipación



gradual de la energía a lo largo del canal, lo que contribuye a proteger la integridad de la estructura hidráulica y el entorno circundante.

Existen diversos tipos de disipadores que emplean la rugosidad artificial, como los escalones y las rampas disipadoras de energía. Estas estructuras están diseñadas para maximizar la eficiencia en la disipación de energía, reduciendo así los impactos negativos en las obras de ingeniería hidráulica. La implementación de estos sistemas requiere un análisis detallado de las características hidráulicas y geométricas del lugar, así como de la selección de materiales adecuados que permitan un equilibrio entre la eficiencia técnica y la viabilidad económica. La modelación computacional es una herramienta clave en el diseño de estos disipadores, ya que permite simular y optimizar su funcionamiento antes de la construcción, asegurando así la eficiencia del sistema y minimizando los costos y riesgos asociados (Villamarin, 2013).

Los disipadores por rugosidad son estructuras utilizadas en la ingeniería hidráulica para reducir la energía cinética de un fluido a medida que fluye a través de canales o superficies rugosas. Estos disipadores operan generando fricción entre el fluido y las superficies rugosas, lo que induce turbulencia y disminuye la velocidad del flujo, facilitando la disipación de energía. La rugosidad puede ser introducida artificialmente mediante la colocación de elementos como pilares, escalones o protuberancias en la superficie del canal o tubería. Este enfoque es particularmente útil en situaciones donde el flujo de agua tiene una alta velocidad y existe un riesgo significativo de erosión o daño estructural en las superficies receptoras. La rugosidad, al aumentar la resistencia



hidráulica, obliga al fluido a modificar su trayectoria y velocidad, disipando así parte de su energía en forma de calor y turbulencia, lo que reduce la posibilidad de socavación y desgaste en las estructuras hidráulicas.

Además de su función principal en la disipación de energía, los disipadores por rugosidad también son esenciales en el control de la erosión y la protección de infraestructuras hidráulicas. El diseño de estas superficies rugosas requiere un análisis detallado de las características del flujo, así como de la geometría y materiales empleados. Las simulaciones numéricas, como las propuestas en estudios recientes, permiten predecir el comportamiento del flujo y la eficiencia de los disipadores por rugosidad. Estas simulaciones toman en cuenta la morfología de la superficie y el ángulo de contacto, lo que permite optimizar el diseño de las superficies rugosas para aplicaciones específicas. En resumen, los disipadores por rugosidad no solo juegan un papel crucial en la protección de infraestructuras, sino que también representan un área de estudio avanzada en la que la modelación computacional permite mejorar su eficiencia y aplicación en proyectos hidráulicos de gran envergadura (Harvie, 2024).

i) Colchonetas de gavión

Las colchonetas de gavión son estructuras utilizadas en la protección de taludes y en la estabilización de suelos en embalses y diques, especialmente en situaciones de sobrevertido durante inundaciones. Estas colchonetas están formadas por un entramado de malla de alambre relleno



de partículas de roca, que se coloca sobre la cresta y la pendiente aguas abajo del dique o embalse. La función principal de estas colchonetas es reducir la erosión del suelo causada por el flujo de agua al proporcionar una capa resistente que distribuye las fuerzas hidráulicas sobre una mayor superficie. Al estar colocadas sobre una lámina geotextil no tejida, estas colchonetas permiten que el agua se filtre lentamente a través de las rocas, reduciendo así la velocidad del flujo y disminuyendo la erosión en la base de la estructura. Este sistema también mejora la estabilidad estructural, ya que ayuda a prevenir el deslizamiento del gavión a lo largo de la pendiente del dique durante el sobrevertido.

La instalación de colchonetas de gavión en estructuras hidráulicas es una solución rentable y efectiva, especialmente en embalses y diques de tierra construidos en suelos erosionables. La estabilidad contra el deslizamiento de estas colchonetas se evalúa mediante análisis de esfuerzos y deformaciones, garantizando que las fuerzas hidráulicas no provoquen fallas en la estructura. Además, las colchonetas de gavión han demostrado ser eficaces en pruebas de laboratorio, resistiendo condiciones severas de sobrevertido sin desplazarse ni degradar la estabilidad del talud. Su capacidad de proteger el suelo subyacente y su facilidad de construcción las hacen una opción popular para la protección contra la erosión en infraestructuras hidráulicas. En estudios recientes, se ha demostrado que estas colchonetas pueden ser instaladas rápidamente y a un costo razonable, proporcionando una protección duradera y sostenible contra la erosión, con una durabilidad estimada de 30 a 40 años en condiciones naturales (Kobayashi et al., 2024).



Las colchonetas de gavión son estructuras de protección utilizadas en la ingeniería civil, especialmente en la mitigación de la socavación de pilares de puentes y en la estabilización de taludes en canales y ríos. Estas colchonetas están compuestas por una malla de alambre rellena de piedras de diferentes tamaños, lo que les confiere una gran resistencia y flexibilidad. Se utilizan principalmente para absorber y disipar la energía hidráulica, reduciendo así el riesgo de erosión en las estructuras que protegen. Al ser colocadas en el lecho de ríos o canales, las colchonetas de gavión permiten que el agua fluya a través de ellas mientras retienen los sedimentos más grandes, ayudando a estabilizar la estructura y prevenir el desplazamiento de material durante eventos de alto caudal o inundaciones.

Además de su función protectora, las colchonetas de gavión son valoradas por su durabilidad y su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones geotécnicas y ambientales. Las piedras utilizadas en las colchonetas actúan como un filtro natural que reduce la velocidad del agua, disminuyendo la erosión y protegiendo la base de las estructuras hidráulicas. El diseño modular de las colchonetas permite una instalación relativamente sencilla, y su estructura flexible les permite ajustarse a los cambios en el terreno sin perder efectividad. Sin embargo, las colchonetas de gavión requieren de un mantenimiento periódico para asegurar que las mallas de alambre no sufran daños por corrosión o abrasión, lo que podría comprometer su eficacia a largo plazo. La combinación de estos factores hace que las colchonetas de gavión sean una opción popular y eficaz en la protección de infraestructuras críticas contra los efectos de la socavación y la erosión (Craswell & Akib, 2020).



j) Escalones

Los escalones en estructuras hidráulicas, como vertedores y canales, son elementos fundamentales que ayudan a disipar la energía del agua en movimiento, reduciendo la velocidad del flujo y minimizando el riesgo de erosión en las superficies. Estos escalones generan turbulencia en el flujo, lo que aumenta la resistencia y provoca la pérdida de energía cinética. Los vertedores escalonados son comunes en presas de concreto, donde la superficie inclinada de la estructura permite que el agua caiga en una serie de saltos sucesivos a lo largo de los escalones. Esta disposición no solo reduce la velocidad del agua, sino que también facilita la auto aireación del flujo, lo que es crucial para evitar problemas como la cavitación, que puede dañar las estructuras de concreto.

Además, los escalones en canales no solo funcionan como disipadores de energía, sino que también juegan un papel importante en la oxigenación de las corrientes, especialmente en canales contaminados o en plantas de tratamiento de aguas. La aireación que ocurre a lo largo de los escalones introduce oxígeno en el agua, mejorando su calidad. El diseño de estos escalones puede variar en función de la pendiente del canal y del tipo de flujo que se espera manejar. Por ejemplo, en flujos con grandes pendientes, los escalones pueden ser más altos y estar más espaciados, mientras que, en pendientes moderadas, se prefiere una disposición más uniforme para mantener un flujo controlado. En cualquier caso, el diseño adecuado de los escalones es crucial para garantizar la eficiencia y la durabilidad de las estructuras hidráulicas.



k) Pozas disipadoras

Las pozas disipadoras son estructuras hidráulicas diseñadas para reducir la energía cinética de un flujo de agua que desciende por un canal o río, especialmente en áreas de alta pendiente. Estas estructuras funcionan al transformar la energía del flujo en un salto hidráulico, un fenómeno en el cual el agua experimenta un aumento brusco en el nivel, cambiando de un régimen de flujo supercrítico a subcrítico. Este cambio provoca una disipación significativa de la energía, lo que disminuye la velocidad del agua y reduce el riesgo de erosión aguas abajo. Las pozas disipadoras pueden ser diseñadas con fondo horizontal o inclinado, dependiendo de las características del flujo y de la pendiente del terreno. En ríos de alta pendiente, es común utilizar pozas con fondo inclinado para adaptarse mejor al flujo natural y maximizar la disipación de energía.

El diseño de una poza disipadora con pendiente debe considerar varios factores clave, como la pendiente del canal, el tirante del agua y la longitud necesaria de la poza para asegurar una disipación eficiente de la energía. La longitud de la poza se calcula utilizando modelos numéricos que simulan el comportamiento del flujo en diferentes condiciones, como el número de Froude y la rugosidad del canal. En estudios recientes, se ha demostrado que las pozas disipadoras con una pendiente del 3.04% pueden ser especialmente efectivas, logrando una reducción del 30% en la energía del flujo comparado con pozas horizontales. Este tipo de diseño es fundamental en la protección de infraestructuras hidráulicas en zonas con flujos de alta energía, asegurando su durabilidad y reduciendo la necesidad de mantenimiento costoso (Espejo & Zabaleta, 2021).



Las pozas disipadoras son estructuras hidráulicas diseñadas para reducir la energía del flujo de agua en canales o cauces, particularmente después de un vertedero o presa.

Su funcionamiento se basa en la formación de un salto hidráulico, donde el flujo pasa de un régimen supercrítico a subcrítico, generando una considerable disipación de energía. Esta transición es fundamental para evitar procesos erosivos en el lecho del canal y preservar las estructuras ubicadas aguas abajo.

El diseño de estas estructuras requiere una cuidadosa evaluación de parámetros como la longitud, profundidad de la poza y la pendiente del canal, con el fin de asegurar una transición eficiente del flujo. Un componente esencial en la eficiencia de estas obras es la incorporación de elementos disipadores, como bloques de impacto o gaviones, que inducen turbulencia y estabilizan el salto hidráulico. Estas configuraciones mejoran la disipación energética y reducen significativamente el riesgo de erosión.

Asimismo, el uso de umbrales dentados o continuos puede optimizar el comportamiento hidráulico de la poza, al promover patrones de flujo más estables. Investigaciones recientes destacan que la implementación de gaviones como elementos de impacto no solo incrementa la eficiencia hidráulica, sino que también prolonga la vida útil de las estructuras, contribuyendo a una mayor sostenibilidad en obras de infraestructura hidráulica (Flores, 2023).



1) Pozos de caída libre

Los pozos de caída libre, también denominados plunge pools, son depresiones naturales que se forman en la base de una cascada como resultado de la erosión intensiva provocada por el impacto continuo del agua desde una altura considerable. Cuando el flujo cae verticalmente, adquiere una elevada energía cinética que se transmite al lecho rocoso, generando un proceso erosivo más pronunciado en las capas de roca blanda que subyacen a las más resistentes.

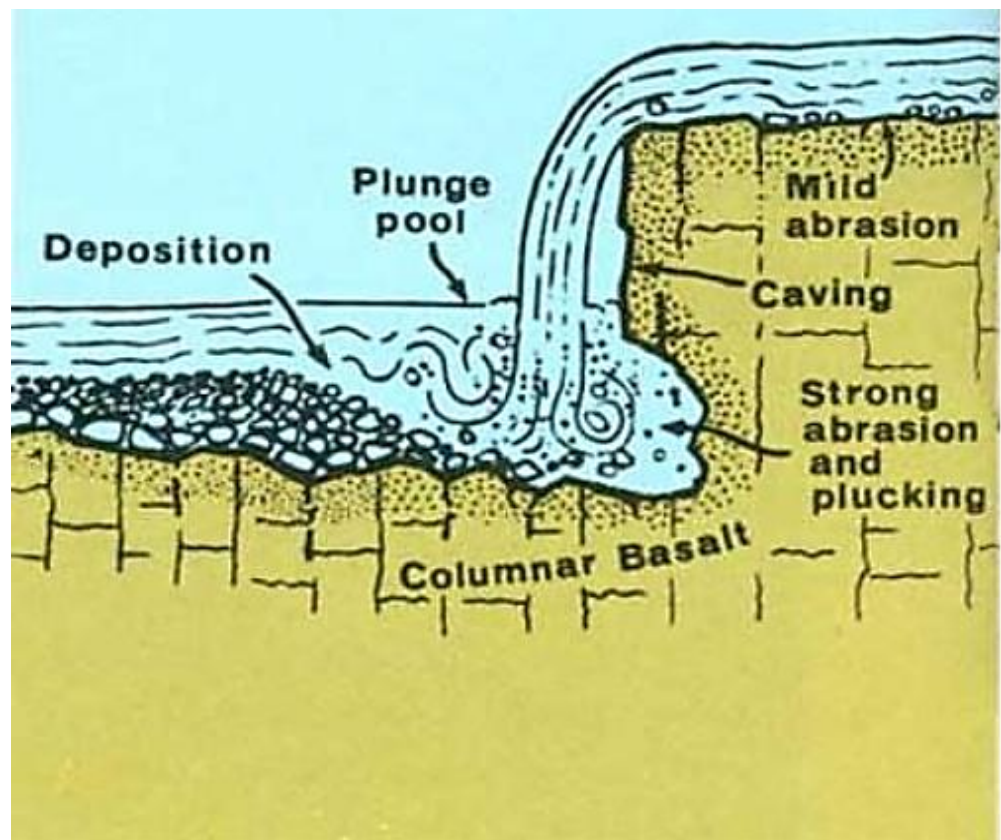
La interacción entre el agua y el sustrato origina cavidades profundas de forma generalmente circular, cuya expansión es favorecida por la presencia de turbulencias y remolinos (eddies) en la base del salto. Estos movimientos incrementan la erosión hidráulica y contribuyen al crecimiento y profundización del pozo. Además, a medida que las capas más blandas son erosionadas, las estructuras superiores más duras pueden colapsar por pérdida de soporte, provocando retrocesos de la cascada hacia aguas arriba. Este proceso, reiterado a lo largo del tiempo geológico, da lugar a la formación de cañones y valles fluviales encajonados (Ernstes, 2024).

Los pozos de caída libre, conocidos en inglés como plunge pools, son formaciones geológicas que se desarrollan en la base de cascadas debido a la intensa erosión provocada por el impacto constante del agua al caer desde alturas considerables. Este proceso ocurre cuando el flujo descendente golpea con gran fuerza el lecho del río o canal, erosionando progresivamente las capas subyacentes de roca, que suelen ser más

blandas y menos resistentes que las capas superiores. Como consecuencia de este fenómeno, se forma una depresión que puede alcanzar profundidades similares a la altura de la cascada misma. La turbulencia generada dentro del pozo incrementa el desgaste del material rocoso, lo que contribuye a su ensanchamiento y profundización. En algunos casos, la pérdida de soporte estructural debido a la erosión puede ocasionar el colapso de segmentos del acantilado, promoviendo el retroceso progresivo de la cascada hacia aguas arriba. Este fenómeno representa un claro ejemplo de la acción erosiva de los procesos fluviales en la transformación del paisaje a lo largo del tiempo (Encyclopaedia Britannica, 2024).

Figura 8

Pozos de caída libre



Nota: Qstudy (2024).



Los pozos de caída libre, también conocidos como plunge pools, son depresiones erosionadas que se forman en la base de las cascadas debido a la fuerza y el impacto continuo del agua al caer desde una altura considerable. Estas formaciones son el resultado de la erosión fluvial intensificada por la abrasión de fragmentos rocosos transportados por el flujo del agua. El proceso comienza cuando el agua, al precipitarse desde una cascada, golpea con gran fuerza la superficie del lecho rocoso. Esta energía cinética generada por la caída del agua crea turbulencias y corrientes circulares, conocidas como remolinos o eddies, que erosionan el lecho del río y agrandan las depresiones existentes. A medida que las partículas de roca, como guijarros y cantos rodados, se acumulan en estas depresiones, son arrastradas y giradas continuamente por la corriente, lo que incrementa la erosión y profundiza aún más el pozo. Este ciclo de erosión se perpetúa, ampliando y profundizando el pozo de caída libre con el tiempo. El desarrollo de estos pozos no solo se limita a la erosión local debajo de la cascada, sino que también contribuye al retroceso gradual de la cascada hacia aguas arriba, un proceso conocido como migración de la cascada. Este fenómeno ocurre porque las capas de roca más blandas debajo de la capa superior más dura son erosionadas más rápidamente, lo que eventualmente provoca el colapso de la roca superior y el retroceso de la cascada. Además, los pozos de caída libre desempeñan un papel crucial en la profundización de los valles fluviales, especialmente en las etapas iniciales del desarrollo de un río o arroyo. A lo largo del tiempo, estos pozos pueden expandirse y unirse con otras depresiones, contribuyendo a la formación y ampliación de valles, que posteriormente pueden

evolucionar en corrientes o ríos más grandes. En conjunto, los pozos de caída libre son una manifestación visible del poder erosivo del agua, que moldea y transforma continuamente el paisaje a través de procesos naturales (Qstudy, 2024).

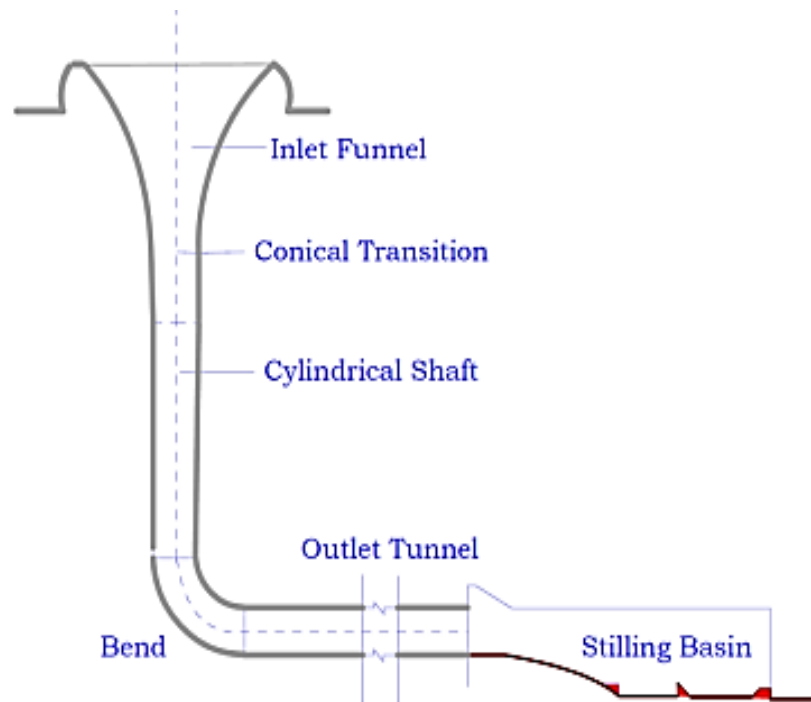
m) Descargador vórtice

El descargador vórtice, también denominado vortex breaker, es un dispositivo utilizado en sistemas de tuberías, especialmente en entornos industriales críticos como plantas nucleares, para mitigar los efectos de la estratificación térmica y las fluctuaciones de temperatura. Este fenómeno térmico ocurre cuando fluidos de diferentes temperaturas se estratifican o mezclan, provocando variaciones térmicas repentinas que generan fatiga térmica en las paredes de las tuberías, comprometiendo su integridad estructural. El funcionamiento del descargador vórtice se basa en la generación controlada de un vórtice que redistribuye la energía térmica del fluido, homogeneizando la temperatura en la sección transversal de la tubería y disminuyendo los puntos críticos de calor. Simulaciones numéricas, incluyendo modelos LES (Large Eddy Simulation), han demostrado que su implementación no solo reduce la temperatura máxima en áreas críticas, sino que también desplaza el punto de máxima fluctuación térmica hacia zonas menos sensibles del sistema. Gracias a esta redistribución térmica, el dispositivo ayuda a prevenir el daño progresivo por fatiga, aumentando la vida útil de la infraestructura y reduciendo costos operativos por mantenimiento. Su aplicación se ha validado especialmente en tuberías de conexión de reactores nucleares,

donde la estabilidad térmica es fundamental para la seguridad operativa (Zhou et al., 2020).

Figura 9

Descargador de vórtice



Nota: Vertedero tipo "morning glory" con descargador vórtice, diseñado para estabilizar el flujo y mejorar la eficiencia hidráulica en presas de alta descarga. Adaptado de Jafari & Aghamajidi (2022).

El "descargador vórtice" es un dispositivo utilizado en estructuras hidráulicas, como los vertederos tipo "morning glory," para mitigar la formación de vórtices que pueden afectar el rendimiento del sistema. Estos vertederos, caracterizados por su capacidad para manejar grandes volúmenes de agua en presas ubicadas en valles estrechos o con paredes de gran pendiente, enfrentan desafíos significativos debido a la formación de vórtices que pueden reducir la eficiencia del vertedero y generar fluctuaciones de presión no deseadas. El descargador vórtice se emplea para romper estos vórtices, estabilizando el flujo del agua y mejorando la



capacidad de descarga del sistema. En particular, se ha observado que la incorporación de descargadores vórtices en vertederos "morning glory" puede aumentar significativamente el coeficiente de descarga, permitiendo que el vertedero maneje mayores volúmenes de agua con menor pérdida de energía. En estudios recientes, se ha demostrado que la optimización de las dimensiones geométricas y la disposición de los descargadores vórtices en los vertederos "morning glory" puede mejorar aún más su rendimiento. Utilizando algoritmos genéticos, se han realizado optimizaciones que ajustan parámetros como el radio del túnel, la altura de la cresta del vertedero, y las dimensiones de los descargadores vórtices para maximizar la eficiencia del sistema. Los resultados de estas investigaciones han mostrado que una disposición adecuada de los descargadores vórtices no solo aumenta la capacidad de descarga, sino que también reduce el volumen necesario de concreto en la construcción del vertedero, lo que se traduce en menores costos de construcción. Además, la implementación de descargadores vórtices en configuraciones escalonadas dentro del vertedero ha demostrado ser especialmente efectiva en la mitigación de vórtices y en la reducción de la fluctuación de presiones en el sistema. La investigación sobre los descargadores vórtices ha evolucionado para incluir análisis numéricos y simulaciones computacionales que permiten predecir su comportamiento en diferentes condiciones de flujo. Estos estudios han permitido refinar el diseño de los descargadores, asegurando que su instalación optimice el rendimiento hidráulico del vertedero y mejore la seguridad estructural de las presas. En resumen, los descargadores vórtices juegan un papel crucial en la



optimización de los vertederos "morning glory," mejorando su capacidad para manejar eventos de descarga máximos y reduciendo los riesgos asociados con la formación de vórtices y fluctuaciones de presión (Jafari & Aghamajidi, 2022)

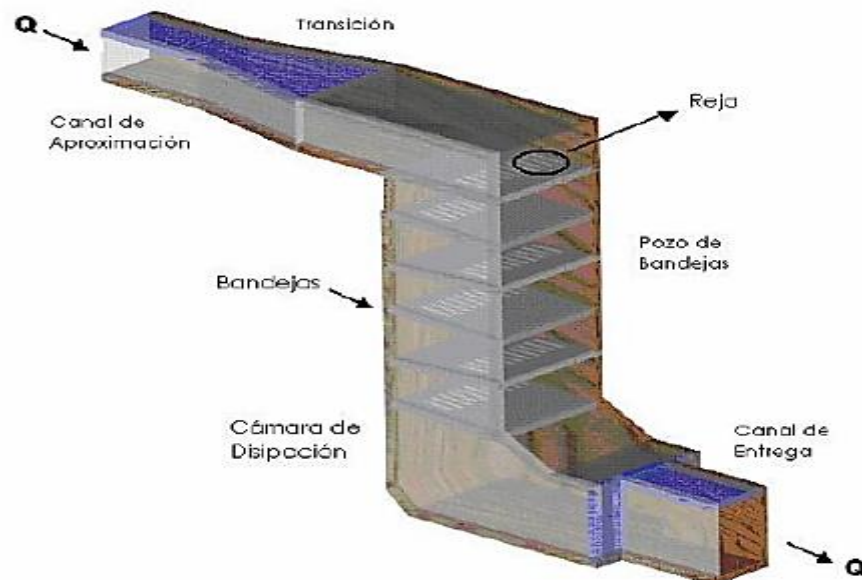
n) Pozos de bandeja

Los pozos de bandejas constituyen una alternativa eficaz para la disipación de energía en sistemas de drenaje urbano ubicados en zonas con topografía irregular, como las regiones andinas. Estas estructuras permiten reducir la energía del flujo mediante un sistema escalonado de bandejas que genera pérdida de energía por fricción y turbulencia en cada caída sucesiva. De este modo, se logra controlar la velocidad del agua, evitar la erosión en la infraestructura y mantener un flujo estable a la salida del sistema. El diseño de estos pozos está orientado a optimizar el uso del espacio urbano y a adaptarse a pendientes pronunciadas. La eficiencia hidráulica de la estructura depende de factores como la geometría de las bandejas, su inclinación, la distancia entre niveles y el uso de rejillas o elementos disipadores adicionales que fomenten la aireación del flujo. Estos elementos permiten formar colchones de agua que ayudan a reducir aún más la energía cinética del caudal descendente. Sin embargo, uno de los desafíos más relevantes de este tipo de estructuras es el mantenimiento, ya que la acumulación de residuos sólidos puede obstruir el sistema y comprometer su eficiencia. Por ello, su implementación debe ir acompañada de estrategias de limpieza periódica. Estudios en modelos físicos han permitido mejorar el diseño de estas estructuras, logrando una disipación más eficiente de la energía incluso ante caudales elevados, lo

cual las convierte en soluciones viables para el manejo hidráulico urbano (Haro et al., 2017).

Figura 10

Pozos de bandeja



Nota: Santamaría, J. (2015). Diseño de obras hidráulicas urbanas. Editorial Ingeniería Urbana.

Los pozos de bandeja son estructuras diseñadas para disipar la energía del flujo de agua en sistemas de drenaje y alcantarillado, especialmente en tramos con pendientes pronunciadas. Estas estructuras consisten en una serie de bandejas escalonadas que permiten que el agua descienda de manera controlada, reduciendo su velocidad y minimizando el riesgo de erosión en el lecho del canal. El diseño de los pozos de bandeja está pensado para asegurar que el flujo se distribuya uniformemente en cada nivel, lo que ayuda a mantener la estabilidad del sistema y a evitar la concentración de fuerzas erosivas en puntos específicos. En proyectos de alcantarillado urbano, como el colector tipo túnel Víctor Hugo, los pozos de bandeja son fundamentales para manejar las diferencias de altura y asegurar que el agua pueda fluir de manera segura y eficiente, evitando



problemas como el desbordamiento o el daño estructural en áreas de alta pendiente. Estos pozos no solo permiten un cambio de nivel controlado, sino que también ayudan a mejorar la calidad del flujo al reducir las turbulencias y mantener la integridad del sistema de alcantarillado (Santamaría, 2015).

o) Disipador tipo Kumin

El disipador tipo Kumin es una estructura diseñada específicamente para la disipación de energía en la salida de túneles de desvío en proyectos hidroeléctricos. Este tipo de disipador se caracteriza por su configuración geométrica compacta y eficiente, que permite manejar flujos con velocidades medias superiores a los 16 m/s, situándose en un rango de número de Froude entre 2,2 y 10. La disipación de energía en un disipador tipo Kumin se produce tanto por el choque de la masa de agua que sale del túnel con la masa de agua en el cauce del río, como por el diseño supercavitante de la estructura, que genera cavidades de aire dentro del flujo, reduciendo así la energía cinética del agua. Este mecanismo es particularmente útil en escenarios donde el flujo de agua es altamente turbulento, permitiendo controlar los efectos erosivos en la zona de restitución del agua al cauce natural. Sin embargo, su eficiencia puede variar dependiendo del caudal manejado, siendo más efectiva en caudales bajos, con una disipación de energía que alcanza aproximadamente un 50% para caudales de 100 m³/s, pero disminuyendo a 30% para caudales más altos como 950 m³/s. A pesar de su diseño optimizado, el disipador tipo Kumin puede presentar problemas de socavación y distribución no uniforme del caudal, lo que requiere ajustes en la altura y disposición para



mejorar su rendimiento en diferentes condiciones operativas (Castillo, 2011).

El dissipador tipo Kumin es una estructura utilizada en proyectos hidroeléctricos para la disipación de energía a la salida de túneles de desvío. Este tipo de dissipador se caracteriza por su capacidad para manejar flujos con altas velocidades, reduciendo significativamente la energía cinética del agua antes de que esta sea liberada en el cauce natural del río. El diseño del dissipador tipo Kumin incluye una serie de elementos que generan vórtices dentro del flujo, lo que provoca una turbulencia controlada y, en consecuencia, una disipación eficiente de la energía. Este tipo de dissipador es especialmente útil en situaciones donde se requiere proteger las estructuras aguas abajo del túnel de desvío de la erosión y del impacto directo del flujo de agua. A través de estudios experimentales y modelos físicos, se ha demostrado que los dissipadores tipo Kumin pueden reducir la velocidad del flujo hasta niveles seguros, minimizando los riesgos de socavación y otros daños estructurales. Su aplicación es común en proyectos que requieren un control riguroso de las condiciones hidráulicas, garantizando la estabilidad y longevidad de las obras civiles involucradas (Ortega, 2012).

El dissipador tipo Kumin es una estructura especializada utilizada para la disipación de energía en la salida de túneles de desvío en proyectos hidroeléctricos. Su principal función es reducir la energía cinética del agua que fluye a alta velocidad, evitando la erosión y socavación en la zona de restitución al cauce natural del río. Este tipo de dissipador se caracteriza por su diseño geométrico específico, que crea un flujo turbulento



controlado, dispersando la energía del agua de manera eficiente. La estructura del dissipador tipo Kumin es particularmente efectiva en situaciones donde el espacio es limitado y se necesita una solución compacta para manejar grandes volúmenes de agua a alta velocidad. El diseño incluye elementos que generan vórtices, lo cual contribuye a la disipación de energía al aumentar la turbulencia del flujo y reducir su velocidad antes de que el agua regrese al río. Los estudios experimentales realizados con modelos a escala han demostrado que el dissipador tipo Kumin es capaz de manejar caudales significativos, manteniendo la estabilidad del flujo y minimizando el impacto ambiental aguas abajo. Además, su implementación asegura que el régimen de circulación del agua hacia el río sea estable, lo que es crucial para la durabilidad y eficiencia de las infraestructuras hidráulicas en proyectos de gran envergadura (Juma, 2012).

p) Dissipador con ensanchamiento

El dissipador con ensanchamiento es una técnica utilizada en el diseño de micro canales de disipación de calor para mejorar el rendimiento térmico mediante la modificación geométrica de las aletas dentro del dissipador. Este enfoque implica la inclusión de aletas con secciones transversales que se ensanchan, lo que incrementa el área de transferencia de calor y, al mismo tiempo, introduce turbulencia local en el flujo del refrigerante. El objetivo principal de este diseño es maximizar el coeficiente de transferencia de calor convectivo mientras se modera la caída de presión a lo largo del dissipador. Estudios recientes han demostrado que las aletas con ensanchamiento pueden mejorar

significativamente la uniformidad de la temperatura y reducir la resistencia térmica global del sistema. Además, la inclusión de este tipo de aletas en los micro canales permite manejar mayores densidades de flujo de calor sin incrementar proporcionalmente las pérdidas de carga, lo que es crucial en aplicaciones donde el espacio es limitado y la eficiencia térmica es primordial. A través de simulaciones y optimizaciones basadas en modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD) y redes neuronales artificiales (ANN), se ha logrado identificar configuraciones óptimas que equilibran la disipación de calor y la caída de presión, permitiendo el desarrollo de sistemas de refrigeración más compactos y eficientes para la gestión térmica en dispositivos electrónicos de alta potencia (Shanmugam & Maganti, 2021).

- **Consideraciones estructurales de los disipadores**

- a) **Resalto hidráulico**

Es un fenómeno local en el flujo rápidamente variado representado por el aumento repentino del tirante y una gran pérdida de energía, principalmente en forma de calor, en un tramo corto. Este fenómeno ocurre cuando el flujo pasa de un régimen supercrítico a uno subcrítico. En el resalto hidráulico, el nivel del agua cambia rápidamente de estar por debajo del nivel crítico a estar por encima. Ocurre cuando un flujo supercrítico se encuentra con un flujo subcrítico. Este cambio genera una elevación brusca en el tirante del agua, formando lo que se conoce como un "resalto". El resalto hidráulico se caracteriza por un intercambio de energía entre la energía cinética (debido a la velocidad del agua) y la



energía potencial (debido a la elevación del nivel del agua). (Damian y Quispe, 2023)

b) Distribución de velocidades

En cada punto de la corriente, el líquido, generalmente agua, tiene una forma tridimensional con velocidades en las tres direcciones (x, y, z). La forma de la sección transversal del canal es fundamental para determinar la distribución de velocidades en la corriente. en un flujo de agua dentro de un canal o conducto es una descripción de cómo varía la velocidad del agua en diferentes puntos de la sección transversal del flujo. Este concepto es esencial en la hidráulica y la ingeniería de fluidos, ya que influye en el diseño de canales, tuberías, y estructuras hidráulicas, así como en el cálculo de caudales y fuerzas sobre las estructuras. (Damian y Quispe, 2023)

c) Número de Froude

Es un número adimensional que describe la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales en un flujo de un fluido, como el agua en canales abiertos o ríos. Es una medida crucial para analizar el comportamiento del flujo siendo un factor sin unidades que determina la magnitud de las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales. Si el valor del número de Froude es menor a 1, se denomina Flujo Supercrítico; si es igual a 1, se denomina Flujo Crítico; y si es mayor a 1, se llama Flujo Subcrítico. (Damian y Quispe, 2023)

d) Número de Reynolds

Se trata de un coeficiente que no tiene unidades, se calcula como la proporción entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas. Esto permite clasificar los flujos en laminar, transitorio y turbulento. Si el valor del número de Reynolds es menor a 500, se denomina Flujo Laminar; si se encuentra entre los valores 500 y 2000, se denomina Flujo en Transición; y si es mayor a 2000, se llama Flujo Turbulento. (Damian y Quispe, 2023)

e) Tirante

Es la medida de la diferencia de altura entre el punto más bajo del fondo del canal y la superficie libre del agua. (Damian y Quispe, 2023) pudiendo ser de cuatro formas:

Tirante crítico: Es la altura del agua cuando el flujo está en estado crítico, es decir, cuando la energía específica es mínima para una determinada descarga. En este estado, la velocidad del flujo es igual a la velocidad de onda superficial (velocidad crítica). El tirante crítico se utiliza para el diseño de canales, vertederos, y otras estructuras hidráulicas, ya que ayuda a determinar la transición entre flujo subcrítico y supercrítico.

Tirante normal: Es la altura del agua cuando el flujo en un canal es uniforme, es decir, cuando la profundidad del agua permanece constante a lo largo del canal. Es el tirante en el que la pendiente de la energía del agua se equilibra con la pendiente del canal. Este valor se utiliza para



dimensionar y analizar el comportamiento de canales en régimen permanente.

Tirante Subcrítico: Es la altura del agua cuando el flujo está en estado subcrítico, lo que significa que la energía cinética es baja y la energía potencial es alta. En este estado, el flujo es lento y controlado por las condiciones aguas abajo. Es común en canales de baja pendiente.

Tirante Supercrítico: Es la altura del agua cuando el flujo está en estado supercrítico, lo que significa que la energía En este estado, el flujo es rápido y controlado por las condiciones aguas arriba. Es común en canales de alta pendiente. cinética es alta y la energía potencial es baja.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN

Las técnicas de recolección utilizadas en la presente investigación son las siguientes:

Técnica de toma de datos en el campo, esta técnica permitió revisar y recolectar datos reales como levantamiento topográfico y como es su aplicación en el canal.

Técnica del modelado hidráulico computarizado, involucrando la utilización de software para la simulación del comportamiento del flujo hidráulico en el canal y evaluar rendimientos.

3.2. CAMPO DE VERIFICACIÓN

3.2.1. Ubicación Espacial

La ubicación espacial de la presente investigación será el canal de Polobaya específicamente los tramos 4 (0+000 al 0+048) con coordenadas de inicio (Este: 245843.254, Norte: 8167680.126) y coordenadas finales (Este: 245884.564, Norte: 8167660.901) y el Tramo 6 (0+440 al 0+553) con coordenadas de inicio (Este: 246316.750, Norte: 8166898.355) y coordenadas finales (Este: 245967.283, Norte: 8167122.279), ubicada en el sur del Perú, específicamente en la ciudad de Arequipa en el departamento de Arequipa.



3.2.2. Ubicación Temporal

La ubicación temporal de la investigación, se centrará en el desarrollo de la investigación y la toma de datos necesarios llevados a cabo en el año 2024. Para lo mencionado se ha focalizado la recolección de datos en el primer semestre del año. Mientras que el desarrollo de la presente investigación se va a realizar en el segundo semestre del año 2024. Se espera que el proceso elegido genere los resultados deseados y verificados con las unidades de estudio en el campo aplicativo.

3.2.3. Unidades de Estudio

La unidad de estudio, está caracterizado por el flujo del canal, propiedades del canal propiamente, características del suelo y la topografía.

3.3. ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La estrategia para recolectar datos, que se ha utilizado en la presente investigación, se centró en el uso de herramientas tanto informáticas, notas de consulta y herramientas especializadas en topografía y obras hidráulicas. Clasificando los datos topográficos recopilados para formular variables necesarias en el análisis.

3.4. RECURSOS NECESARIOS

- Personal: Investigadores, modelador, digitador.
- Equipos: Laptop, computadora, internet, impresora y calculadora.
- Materiales: Lápiz, plumones, lapiceros, papel, fotocopias.
- Servicios técnicos: Softwares (modelador).



3.5. HIPÓTESIS GENERAL

La caracterización topográfica de los tramos 4 (0+000 al 0+048) y tramo 6 (0+440 al 0+553) del canal Polobaya Chico permitirá determinar variaciones significativas en la energía hidráulica en función del caudal, lo que justifica y orienta técnicamente el diseño e implementación de disipadores de energía en dichos tramos.

3.6. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Al realizar un estudio topográfico podremos identificar zonas críticas a los efectos del flujo, los cuales permitirán mejorar la gestión y prevención de riesgos hidráulicos.

Mediante los cálculos de las características geométricas e hidráulicas del canal, se obtendrá una comprensión más completa de su comportamiento, para el diseño de disipadores de energía.

A través del estudio topográfico e hidráulico se determinará el correcto uso de disipadores de energía, los cuales darán una mayor eficiencia en la disipación de energía y una gestión más efectiva del flujo del canal.

3.7. TIPO, ENFOQUE Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.7.1. De acuerdo con el propósito de estudio

La investigación aplicada se emplea cuando se lleva a cabo una investigación con el objetivo de adquirir un nuevo conocimiento que pueda utilizarse para encontrar soluciones a problemas prácticos. Por lo que la presente investigación es de TIPO APLICADA, ya que, el propósito de la investigación, es resolver un problema práctico y específico la cual es mejorar la eficiencia hidráulica del canal Polobaya Chico mediante el diseño de disipadores de energía.



3.7.2. Diseño de la Investigación

Los diseños son cuasi experimentales cuando los instrumentos que se trabajan están incluidos del ámbito aplicado, son esquemas de una investigación no al azar. Por lo mismo que no es de forma aleatoria, no se puede establecer de forma exacta, cómo se desarrolla en los diseños de investigación que son experimentales.

De este modo, la presente investigación se considera cuasi experimental, debido a que se manipulan intencionalmente los tramos del canal, con el objetivo de disminuir la velocidad del caudal; además, se subclasifica como cuasiexperimental, puesto que el caudal para el presente estudio ha sido pre definido por cálculos hidráulicos por los investigadores, lo que implica la obtención y análisis de datos numéricos.

3.7.3. Método de la Investigación

La investigación descriptiva Investiga y determina las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio, una de las características principales de la investigación descriptiva es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes. Por lo que la presente investigación emplea el método descriptivo, dado que, el estudio describe detalladamente las condiciones actuales del canal, incluyendo sus características topográficas e hidráulicas.

3.8. VARIABLE Y OPERACIONALIZACION

Variable independiente: Pendiente

Definición conceptual:



Según el libro de topografía 2019 (Mendoza Dueñas, 2019), la pendiente se define como la relación entre el desnivel y la distancia horizontal, expresada en unidades angulares o porcentaje, esencial para el diseño topográfico en Perú.

Definición operacional:

La pendiente es una variable cuantificable que se determina dividiendo el desnivel (diferencia de alturas entre dos puntos) entre la distancia horizontal que los separa. Operacionalmente, se expresa como un porcentaje (%) al multiplicar el resultado por 100, o en grados ($^{\circ}$) si se utiliza una función trigonométrica (arcotangente). Esta medida se obtiene directamente en campo mediante equipos topográficos como estaciones totales, niveles o GPS de precisión, y se representa en planos mediante curvas de nivel o símbolos de gradiente.

Indicadores: Con el levantamiento topográfico se obtendrá un perfil longitudinal calculando las pendientes determinadas en cada tramo.

Variable dependiente: Caudal

Definición conceptual:

Según Chereque Morán (2021), el caudal es el volumen de agua que pasa por una sección transversal de un cauce en un intervalo de tiempo determinado. Esto se cuantifica generalmente en metros cubico por segundo (m^3/s) y es fundamental para el análisis hidrológico de cuencas, diseño de infraestructura y gestión de recursos hídricos en el Perú.

Definición operacional:

Para poder reducir la velocidad del caudal de entrada, se tendrá que realizar el análisis de disipadores de energía hidráulica en la cual se tendrá como resultado la



disminución de la velocidad, reducción del coeficiente de fricción y reducción de sedimentos.

Indicadores: Con cálculos hidráulicos aplicando el caudal histórico y reduciendo la pendiente con el fin de reducir la velocidad del caudal.

3.8.1. Población y Muestra

De acuerdo con Hernandez, Fernandez y Baptista (2014), la población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con ciertas especificaciones para una investigación en particular. La población estará compuesta por todos los tramos del canal del distrito de polobaya y sus cálculos hidráulicos, que resulten de la toma de datos del canal existente.

Según Hernandez, Fernandez y Baptista (2014), la muestra es un sub conjunto de elementos que pertenecen a una población definida, y que se relaciona con el propósito de estudiar sus características y hacer inferencias sobre el todo.

Con lo definido, la muestra de la presente investigación serán los tramos 4 comprendido desde la progresiva 0+000 al 0+048 y el tramo 6 comprendido desde la progresiva 0+440 al 0+553, que está ubicado en el distrito de polobaya.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Objetivo 1: *Identificar las zonas críticas susceptibles a distintos efectos del flujo, mediante un estudio topográfico para determinar las pendientes.*

4.1.1. Análisis Topográfico

- **Ubicación de los tramos**

Departamento: Arequipa

Provincia: Polobaya

Localidad: Polobaya

Región Geográfica: Sierra

Figura 11

Mapa de la Provincia de Arequipa



Nota: Elaboración propia



Mediante el levantamiento topográfico realizado en los tramos 4 (0+000–0+048) y 6 (0+440–0+553) del Canal Polobaya Chico, se identificaron zonas con pendientes superiores a los valores críticos para flujos permanentes.

- En el Tramo 4, se detectó una pendiente de 208.67%, asociada a un flujo con régimen supercrítico y alto riesgo de erosión.
- En el Tramo 6, la pendiente fue de 168.52%, también indicando zonas vulnerables a socavación y desgaste estructural.

Estas condiciones confirman la existencia de tramos susceptibles a pérdida de estabilidad hidráulica, lo que justifica técnicamente la necesidad de disipadores de energía.

Objetivo 2: *Realizar un estudio de las características hidráulicas del flujo en canales mediante mediciones precisas, caudales y profundidades.*

Para realizar un estudio de las características hidráulicas se procedió a realizar los cálculos:

4.1.2. Cálculo de caudales de diseño:

Para el dimensionamiento y diseño hidráulico del canal, por tratarse de flujos turbulentos, se ha utilizado la fórmula de Manning:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) V R^{2/3} \sqrt{S}$$

Donde:

V = Velocidad media del flujo.

R = Radio hidráulico.



S = Gradiente hidráulica.

n = Coeficiente de rugosidad

Q = Caudal de diseño

A = Área de la sección hidráulica.

De acuerdo con los parámetros de diseño, la capacidad máxima de captación es de 500 l/s, que podrán ser captados por el canal en épocas de lluvias.

Tendremos en consideración para la velocidad máxima de erosión

Tabla 1

Variaciones de velocidades máximas según material de revestimiento

Material de Revestimiento	Variación de velocidades Máximas en m/s	
Tierra vegetal suelo aluvial	0.75	0.85
Tierra vegetal arcillosa	0.90	1.15
Suelo arcilloso duro	1.30	1.50
Suelo con grava	1.50	1.80
Concreto F'c = 140 kg/cm ²	3.80	4.40
Concreto F'c = 175 kg/cm ²	5.00	6.40
Tuberías de PVC – Interior liso	6.00	8.00

Nota: Elaboración propia con base en datos técnicos de diseño hidráulico y criterios de velocidad admisible según material de revestimiento. Adaptado de criterios generales utilizados en obras hidráulicas y canales, Castañeda (2016).

Para la velocidad mínima de sedimentación:

$$U = \beta * h^{0.64}$$

Donde:

U : Es la velocidad media límite, que no produce deposición

B : Coeficiente que depende del material en suspensión

Tabla 2*Material transformado*

Material Transformado	Valores
Arcilla muy fina	0.53
Arena muy fina	0.58
Barro arenoso	0.64
Arcilla gruesa	0.70

Relación de máxima eficiencia: Algunas secciones encierran condiciones llamadas de máxima eficiencia hidráulica y son aquellas que para un mismo gasto, pendiente y revestimiento requieren un área mojada mínima cuando el terreno es aproximadamente plano. Esto se obtiene cuando el radio medio hidráulico es máximo y el perímetro mojado es mínimo, la relación es:

Tabla 3*Relación de máxima eficiencia*

TALUD	X = b / d	TALUD	X = b / d
0	2.00	1 : 1	0.83
¼ : 1	1.56	1.5 : 1	0.61
½ : 1	1.23	2 : 1	0.47
¾ : 1	1.00	3 : 1	0.32

Nota: Valores de la relación $X = b/d$ correspondientes a secciones hidráulicamente eficientes para taludes comunes, extraídos del manual de diseño de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2009).

Tabla 4*Relación de máxima eficiencia*

Tipo de Sección	Relación de Máxima Eficiencia
Circular	0.82 d / D
Herradura	0.81 d / D

Nota: La tabla muestra las relaciones geométricas que representan la máxima eficiencia hidráulica en secciones circulares y tipo herradura. Estas proporciones indican la profundidad relativa óptima (d/D) para lograr el máximo caudal con la menor pérdida de energía, siendo fundamentales en el diseño de canales revestidos y conducciones hidráulicas. Fuente: adaptado de Chow, V. T. (1994). Hidráulica de canales abiertos.

Coefficiente de Rugosidad: Es la resistencia al flujo del agua, que presentan los revestimientos de los canales artificiales, se relaciona principalmente a las condiciones y al estado de conservación de los revestimientos. De ello el coeficiente depende del material, de su acabado y de su deterioro con el tiempo.

Tabla 5

Coefficiente de rugosidad de superficie

Superficie	Mejor	Buena	Regular	Mala
Concreto	0.012	0.014	0.016	0.018
Cemento y Mampostería	0.017	0.020	0.025	0.030
Canales de tierra	0.025	0.028	0.030	0.033
Tubería de PVC liso			0.01	

Nota: El coeficiente de rugosidad de Manning es un parámetro fundamental para calcular la velocidad del flujo en canales y tuberías. Esta tabla clasifica distintos materiales según el estado de su superficie, desde condiciones óptimas (mejor) hasta deficientes (mala), lo cual afecta directamente la resistencia al flujo y la eficiencia hidráulica. Fuente: adaptado de Chow, V. T. (1994). Hidráulica de canales abiertos.

Taludes Recomendados: La inclinación de las paredes de los canales depende de la geología de los terrenos que atraviesan y se puede determinar mediante una inspección visual o con muestras de calicatas. En canales estas consideraciones generalmente tienen razones estructurales y económicas. Este factor en el caso de sistemas entubados tiene influencia en el momento de calcular el movimiento de tierras para la excavación de la zanja de instalación.

Tabla 6

Taludes recomendados

Para Cortes	Talud	Para Cortes	Talud
Conglomerados	1 : 1	Suelos arenosos	2 : 1
Suelos arcillosos	1 : 1	Roca alterada suelta	0.5 : 1



Para Cortes	Talud	Para Cortes	Talud
Suelos areno limosos	1.5 : 1	Roca sana	0.25 : 1

Nota: La selección del talud adecuado en cortes depende del tipo de material del terreno. Esta tabla presenta valores de referencia estandarizados que garantizan estabilidad estructural y seguridad en obras de ingeniería civil e hidráulica. Fuente: adaptado de Manual de Diseño de Canales, Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA (2004).

Radios de Curvatura: Para el replanteo de las curvas horizontales es necesario determinar el radio de curvatura mínimo, de acuerdo al diseño elegido.

Se recomienda que varíe entre los siguientes valores:

$$Rc \geq 10d \text{ a } 1.5 d \quad \text{y/o} \quad Rc \geq 3B \text{ a } 5B$$

Cuando se tienen canales con flujos de velocidades altas será necesario calcular la mayor elevación que se produce por cambio de dirección en el lado exterior de la curva. El borde libre en la pared exterior del canal debido al efecto de vorticidad que se produce, se debe aumentar.

El peraltamiento se calcula con la formula siguiente:

$$P = \frac{V^2 B}{g * Rc}$$

Donde:

P: Peraltamiento en metros

V: Velocidad del flujo en m / seg

B: Ancho del espejo de agua en metros

G: Aceleración de la gravedad m / seg²

R: Radio de curvatura en metros



Tirantes recomendados: Para determinar la sección óptima es necesario efectuar un análisis del costo del canal para diferentes tirantes, tomando como base la sección de Máxima Eficiencia Hidráulica, se dan las siguientes recomendaciones:

- Recomendada en taludes de 1.5:1 y tirantes de hasta 3.00 metros: $d = 0.9 f$
- Para canales con caudales mayores a $5 \text{ m}^3/\text{seg}$: $d = 0.5 \sqrt{A}$
- Para canales con caudales menores a $5 \text{ m}^3/\text{seg}$: $d = \sqrt{A} / 1.732$
- Para canales en media ladera, aplicar para tirantes no menores a: $d > 2 R$

Bordes Libres: Para dar seguridad al canal es necesario considerar una altura adicional denominada borde libre, su objeto es evitar desbordamientos por mala operación de compuertas, derrumbes o por oleaje debido al viento que puedan poner en peligro la estabilidad del canal. Para canales pequeños se considera un borde libre de 0.30 metros.

Tirantes críticos: Es aquel para el cual la energía específica es mínima, coincidente con este tirante el régimen lento o subcrítico pasa a régimen rápido o supercrítico. El número de Froude determina la condición del flujo:

Si

$N_f = 1$ Existe flujo crítico

$N_f > 1$ Existe flujo supercrítico

$N_f < 1$ Existe flujo subcrítico

Pendiente crítica: Es el valor particular de la pendiente de un canal que conduce un caudal con régimen uniforme y con una energía específica mínima; es decir que circula con tirante crítico, su expresión es

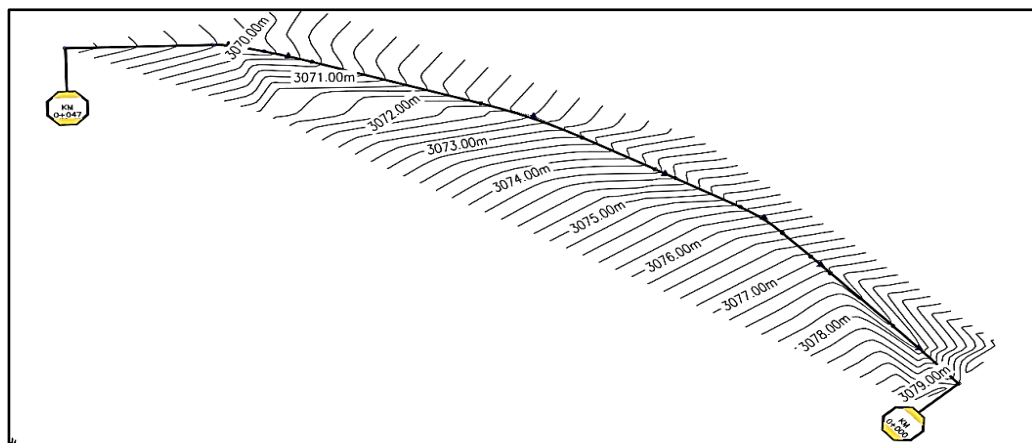
$$S_c = \frac{Agn^2}{BR^{4/3}}$$

a) Cálculo del caudal en el tramo 4 (0+000 al 0+048)

Antes de comenzar con los cálculos, es necesario contar con algunos datos adicionales. Es fundamental conocer la pendiente del terreno por el cual circula el recurso hídrico que abastecerá al sistema de riego agrícola. Para esto, se considera un estudio topográfico incluido en esta investigación, donde se muestran las curvas de nivel a cada metro. Esto nos proporciona una visión general sobre la dirección del flujo de agua debido a su dependencia gravitacional. Posteriormente, se realizó una alineación siguiendo el eje del canal existente. Estos datos ya están disponibles dado que dicho canal tiene un funcionamiento previo y nuestro objetivo principal es mejorar sus condiciones actuales.

Figura 12

Curvas del nivel en el tramo 4



Nota: Elaboración propia (2024)

Una vez obtenido la alineación del tramo 4 como se muestra en la figura 14, procederemos a realizar un perfil longitudinal en el programa civil 3D para determinar las pendientes con que está trabajando el recurso hídrico existente.

En anexos está el plano del perfil longitudinal, se muestra cómo se procedió con la ayuda del software (civil 3D) a evaluar la pendiente existente con la que está trabajando el canal del tramo 4, cabe mencionar que nos indica pendientes diferentes que oscilan desde 16.00% hasta un 42.00% lo cual podríamos considerar como flujo supercrítico ya que sobrepasa el máximo permisible dentro del rango de lo aceptado. Oberkampf (2020).

Para considerar una pendiente promedio en todo el tramo se procede con la formula siguiente:

$$Pendiente = \frac{Diferencia\ de\ altura\ en\ tramo}{Distancia\ total\ de\ tramo} \times 1000$$

$$Pendiente = \frac{(3079.208 - 3069.40)}{47.00} \times 1000$$

$$Pendiente\ \% = \frac{9.808}{47.00} \times 1000$$

$$Pendiente = 208.68\%.$$

Tomando en consideración la formula anterior se determina una pendiente de 20.87% que indica que en un metro de distancia existe una diferencia de altura de 20.87cm, Este resultado es elevado y requiere tomar diversas decisiones respecto al canal construido, ya que podría generar socavación en el mismo y un desgaste prematuro debido a la alta velocidad del flujo de agua. Esto perjudicaría la estructura con el transcurso de los años, originando como consecuencia una pérdida del recurso hídrico que es vital para el sector agrícola en Polobaya.

Cabe mencionar que se toma el tramo completo debido a su distancia, esta es corta de 47 metros lineales y por tal motivo se hace un promedio en la pendiente.

Figura 13

Sección típica del tramo 4



La sección de canal propuesta del tramo 4 es debido a que se tiene un caudal medianamente alto, en los siguientes cálculos se va determinar el flujo real que circula en el canal del tramo 4, tenemos todos los datos correspondientes el único faltante es la rugosidad lo cual se determina según la tabla de coeficiente de rugosidad de la tabla N°5, el cual se basa en una superficie de concreto en un estado regular de construcción así se determina el valor de 0.016, así tenemos:

Datos del canal:

Caudal (Q): 145 l/s o 0.145 m³/s

Ancho de solera (b): 0.40 m

Talud (Z): 0 m

Rugosidad (n): 0.016

Pendiente (S): 0.2087 m/m



Para calcular los factores necesarios de la sección del canal rectangular se procedió a usar las fórmulas antes mencionadas esto con el fin de poder determinar el tipo de flujo que se tiene en el canal y entre otros factores.

Primero se procede a calcular “y” el cual figura como tirante normal usamos la fórmula de Manning ello en función a los datos obtenidos con la topografía del terreno:

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

$$0.145 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{1}{0.016} * 0.40\text{m} * y * \left(\frac{(0.40\text{m})y}{0.40\text{m} + 2y}\right)^{\frac{2}{3}} * (0.2087)^{1/2}$$

$$y = 0.0837 \text{ m}$$

Área del canal:

$$A = b * y$$

$$A = 0.40\text{m} * 0.084\text{m}$$

$$A = 0.0335 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado:

$$P = b + 2 * y$$

$$P = 0.40\text{m} + (2 * 0.084\text{m})$$

$$P = 0.568 \text{ m}$$

Radio Hidráulico:

$$R = \frac{by}{b + 2y}$$

$$R = \frac{0.40\text{m} * 0.084\text{m}}{0.40\text{m} + (2 * 0.084\text{m})}$$

$$R = 0.059 \text{ m}$$



Espejo de agua:

$$T = b$$

$$T = 0.40m$$

Velocidad:

$$Q = VxA$$

$$0.145m^3/s = V * 0.0335$$

$$V = 4.329 m/s$$

A continuación, se realiza un resumen de los cálculos obtenidos con las fórmulas antes mencionadas:

Tabla 7

Resultados de los cálculos para el diseño de canal en el tramo 4

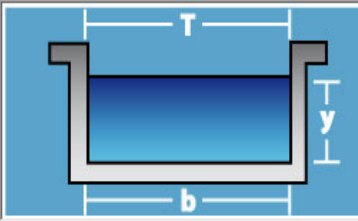
Tramo	Longitud (m)	Pendiente (‰)	Tirante (y)	Área del canal A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio Hidráulico R (m)	Espejo de agua T (m)	Velocidad V (m/s)
04	47	208.68	0.084	0.0335	0.568	0.059	0.40	4.329

Nota: Se muestra los cálculos efectuados para realizar la verificación en el programa Hcanales

Las características hidráulicas de la sección transversal del TRAMO 4 (INGRESO RESERVORIO) ($Q = 0.145 m^3/s$), para contrastar dichos datos obtenidos se procede con la verificación en el programa de apoyo de Hcanales con ello también se determina el número de Froude y el tipo de flujo que está circulando por el tramo de canal.

Figura 14

Características hidráulicas de la sección transversal de tramo 4

Lugar:	<input type="text" value="DLOBAYA CHICO TRAMO 4"/>	Proyecto:	<input type="text"/>
Tramo:	<input type="text"/>	Revestimiento:	<input type="text"/>
Datos:			
Caudal (Q):	<input type="text" value=".145"/>	m ³ /s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value=".40"/>	m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>		
Rugosidad (n):	<input type="text" value=".016"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value=".2087"/>	m/m	
			
Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0837"/>	m	Perímetro (p): <input type="text" value="0.5675"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0335"/>	m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.0590"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.4000"/>	m	Velocidad (v): <input type="text" value="4.3286"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="4.7757"/>		Energía específica (E): <input type="text" value="1.0387"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

Nota: Elaboración propia (2024)

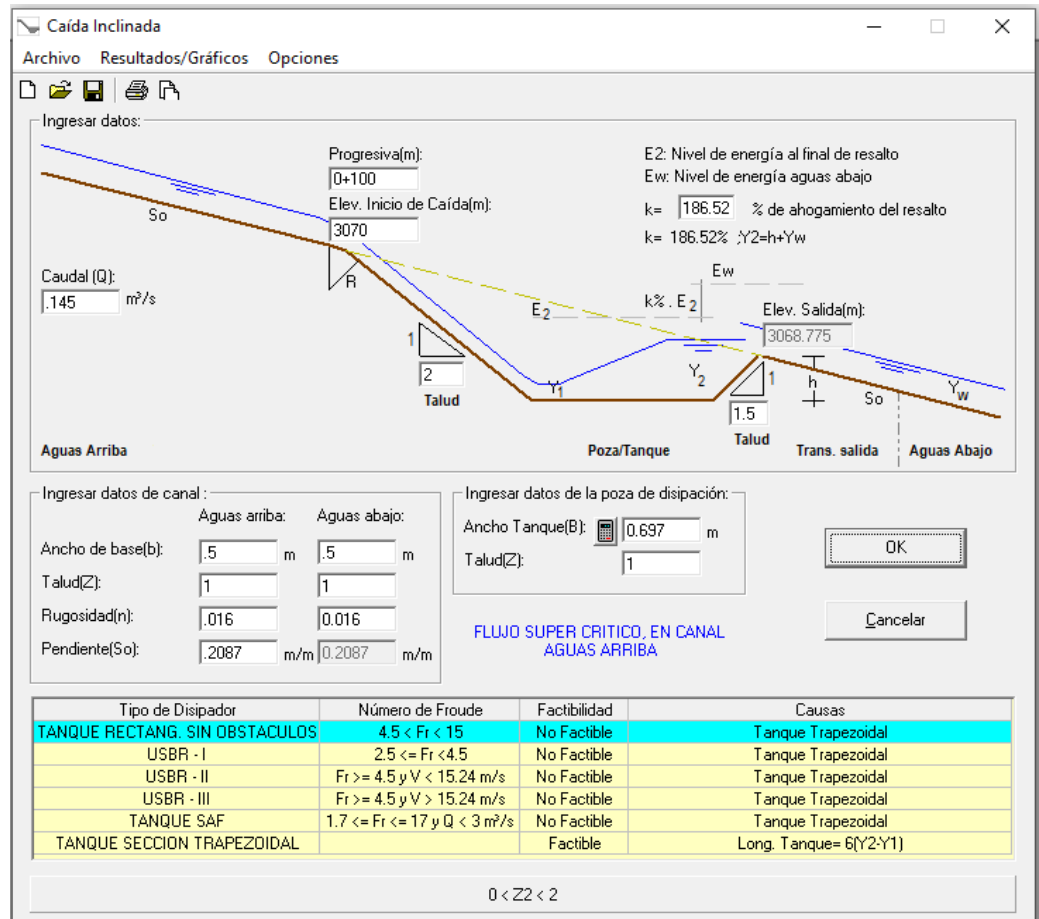
En la figura 14, se muestra los cálculos efectuados de los cuales se tiene resultados similares a lo desarrollado previamente, es importante señalar que el número de Froude es mayor a 1, lo cual indica que el flujo en este tramo es supercrítico. Por esta razón, se hace necesario implementar un tipo de dissipador de energía para garantizar una mayor durabilidad estructural. Los criterios a tener en cuenta para utilizar un dissipador son los siguientes. En este caso, se tomará como referencia un tanque. Para continuar con el cálculo necesario, es fundamental considerar que una poza dissipadora proporcione una mejor pérdida de energía, siendo capaz de reducir hasta un 30% la energía inicial al ingresar. Es importante señalar que se deben tomar en cuenta diversos parámetros para evitar que el diseño de esta estructura resulte costoso. En este sentido, es crucial analizar los resultados obtenidos. (Espejo Mariño & Zabaleta Castro, 2021)

Para considerar este tipo de dissipador hay que tener en cuenta que el número de Froude sea mayor de 4.5, en este caso ocupa 4.776 lo cual va garantizar que sea la mejor opción con respecto a este dissipador, usando el programa rápidas

podemos obtener los datos necesarios para el detalle de poza tomando en cuenta los datos obtenidos previamente.

Figura 15

Diseño de caída en tramo 4



Nota: Elaboración propia (2024)

Como se toma en cuenta se tiene que ampliar la zona de captación para una mejor captación del recurso hídrico y que el ancho de tanque va ser a partir de 0.697m, entre más ensanche tenga se va verificar que es necesario que, entre materiales adicionales, puede optarse el ancho mínimo promedio que da como resultado.

Figura 16

Verificación de funcionamiento de Poz

Verificación del Funcionamiento de la Poza

N°	CAUDAL (M3/S)	TIRANTE Y1 (M)	MOMENTUM 1 (Newton/p[agua])	TIRANTE Y2 (M)	MOMENTUM 2 (Newton/p[agua])	LONGITUD DE RESALTO (M)	NIVEL ENERGIA EN POZA (M)	NIVEL ENERGIA AGUAS ABAJO (M)	FUNCIONAMIENTO DE LA POZA
1	0.145	0.030	0.0980	0.436	0.0980	2.0290	3068.8430	3069.6650	OK
2	0.130	0.028	0.0870	0.414	0.0870	1.9340	3068.8210	3069.6040	OK
3	0.116	0.025	0.0770	0.391	0.0770	1.8320	3068.7980	3069.5400	OK
4	0.101	0.022	0.0660	0.367	0.0660	1.7240	3068.7730	3069.4740	OK
5	0.087	0.019	0.0560	0.341	0.0560	1.6060	3068.7460	3069.4030	OK
6	0.072	0.016	0.0460	0.312	0.0460	1.4770	3068.7170	3069.3270	OK
7	0.058	0.013	0.0360	0.280	0.0360	1.3320	3068.6850	3069.2480	OK
8	0.043	0.010	0.0260	0.244	0.0260	1.1660	3068.6480	3069.1600	OK
9	0.029	0.007	0.0170	0.200	0.0170	0.9660	3068.6040	3069.0620	OK
10	0.014	0.004	0.0080	0.143	0.0080	0.6970	3068.5470	3068.9460	OK

EL DISEÑO ES ACEPTABLE.
EL RESALTO HIDRAULICO ES CONTENIDO DENTRO DE LA POZA

Nota: Elaboración propia (2024)

a. Cálculo del caudal en el tramo 6 (0+440 a 0+553)

Se procede con el cálculo del tramo 6 de igual manera que se hizo con el tramo 4; esto implica conocer la pendiente media del terreno por donde circula el recurso hídrico que abastecerá otros regadíos de campos. Para ello, es importante considerar el estudio topográfico que se está realizando en esta investigación. Según el levantamiento inicial, las curvas de nivel a cada metro proporcionan una visión general sobre la dirección del flujo de agua, dado que este funciona con base en la gravedad. El siguiente paso consiste en trazar alineaciones siguiendo el eje principal del canal utilizando información previamente obtenida a partir de datos topográficos ya disponibles. Estas curvas son necesarias para comprender y evaluar adecuadamente la forma actual del terreno.

Figura 18

Sección típica del tramo 6



Características hidráulicas de la sección transversal del canal “Madre Tacuyo,” CANAL POLOBAYA CHICO TRAMO 6 (BUENAVISTA 3) ($Q = 100$ l/seg o 0.100 m³/s) mediante el uso de la herramienta Hcanales que nos permitió verificar los cálculos manuales.



Datos del canal:

Caudal (Q): 0.100 m³/s

Ancho de solera (b): 0.40 m

Talud (Z): 0 m

Rugosidad (n): 0.016

Pendiente (S): 0.028 m/m

Se prosigue evaluando el tramo 6 entre las progresivas 0+440 – 0+530 se toma el resto de longitud hasta final de tramo debido a que trabaja con una sola pendiente al igual que la progresiva anterior, esto se determina de acuerdo a la superficie generada con el levantamiento previo de la topografía, se hace mención a que esta parte del terreno presenta una forma accidentada con pendientes diferentes, de igual manera se puede visualizar un declive alto en este sector del tramo total.

$$Pendiente = \frac{Diferencia\ de\ altura\ en\ tramo}{Distancia\ total\ de\ tramo} \times 1000$$

$$Pendiente\ ‰ = \frac{(3081.86 - 3098.655)}{99.66} \times 1000$$

$$Pendiente\ ‰ = \frac{16.795}{99.66} \times 1000$$

$$Pendiente = 168.52‰$$

Obteniendo la pendiente promedio en las progresivas 0+440 a 0+530, el cual es de 168.52‰ se procede hacer los cálculos necesarios para poder determinar el flujo con el cual se va trabajar y con ello poder determinar el número de Froude y si es necesario tener un dissipador en esta última parte del tramo, se considera los mismos parámetros variando la pendiente obtenida:

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



$$0.100 = \frac{1}{0.016} * 0.40 * y * \left(\frac{0.40y}{0.40 + (2y)}\right)^{\frac{2}{3}} * (0.168)^{1/2}$$

$$y = 0.071m$$

Área del canal:

$$A = b * y$$

$$A = 0.40 * 0.067$$

$$A = 0.028 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado:

$$P = b + 2 * y$$

$$P = 0.40 + (2 * 0.067)$$

$$P = 0.54 \text{ m}$$

Radio Hidráulico:

$$R = \frac{by}{b + 2y}$$

$$R = \frac{0.40 * 0.0671}{0.40 + (2 * 0.0671)}$$

$$R = 0.052 \text{ m}$$

Espejo de agua:

$$T = b$$

$$T = 0.40m$$

Velocidad:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) V R^{2/3} \sqrt{S}$$

$$0.100 = \left(\frac{1}{0.016}\right) V * 0.052^{2/3} \sqrt{0.168}$$

$$V = 3.565 \text{ m/s}$$

A continuación, se realiza un resumen de los cálculos obtenidos con las fórmulas antes mencionadas:

Tabla 8

Resultados de los cálculos para el diseño de canal en el tramo 06

Tramo	Longitud (m)	Pendiente (%)	Tirante (y)	Área del canal A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio Hidráulico R (m)	Espejo de agua T (m)	Velocidad V (m/s)
06	99.66	168.52	0.071	0.028	0.54	0.052	0.40	3.565

Nota: Se muestra los cálculos efectuados para realizar la verificación en el programa Hcanales

Como se logra apreciar en la figura 19 se tiene un flujo Supercrítico esto indica que entre las progresivas 0+440 – 0+530 va existir socavación en el canal para esto se deberá construir 5 disipadores para disminuir esta desventaja.

Figura 19

Características hidráulicas tramo 6 (progresiva 0+440 – 0+530).

Nota: Elaboración propia (2024)

Objetivo 3: *Mejorar el criterio para selección y diseño de disipadores de energía mediante un modelado hidráulico y mejorar la gestión del flujo en el canal.*

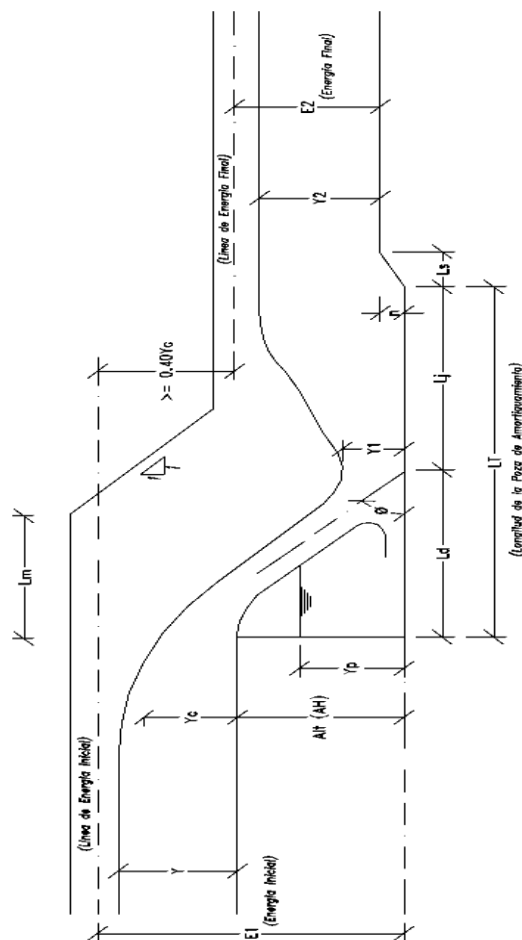
4.1.3. Diseño de disipadores de energía.

Para el dimensionamiento del disipador de energía tendremos en cuenta el siguiente predimensionamiento (Ver planos)

- **Características de la caída vertical:**

Figura 20

Vista en Perfil



Nota: Elaboración propia



Variables utilizadas:

B: Base del canal (m), (Canal Trapezoidal).

D: Diámetro del canal semicircular (m).

H: Altura del Canal (m).

Yc: Tirante Crítico (m)

Alt: Altura de la Caída (m).

Ld: Longitud al punto teórico de impacto (m)

Lj: Longitud teórica del resalto (m).

LT: Longitud total del colchón de amortiguamiento (m).

Ø: Angulo con respecto al plano horizontal.

Lte: Transición de Entrada.

Bc: Base de la caída

n: Desnivel entre la poza y la salida (m).

Y1: Tirante inicial del resalto (m).

Y2: Tirante conjugado del Resalto (m).

E1: Energía Inicial.

E2: Energía Final.

q: Caudal Unitario

Q: Caudal en el canal

Bcal: Base calculada

Basum: Base asumida

Lts: Transición de Salida.

LAP: Longitud aguas arriba de la caída

Tabla 9

Diseño de dissipador en el tramo 6 (0+440 a 0+553)

DATOS DEL TRAMO			
SISTEMA DE ENTRADA		SISTEMA DE SALIDA	
Caudal (Q):	0.100	Caudal (Q):	0.100
Base (B):	0.40	Base (B):	0.40
Altura (H):	0.194	Altura (H):	0.194
Z:	0	Z:	0

Nota: Los datos hidráulicos de entrada y salida utilizados para el diseño del dissipador en el tramo 6 se mantuvieron constantes para asegurar la conservación del caudal. Las dimensiones geométricas del canal, como la base y la altura, junto con el valor de Z (pendiente lateral), permiten determinar el comportamiento del flujo y la eficiencia del dissipador propuesto.

Altura de caída:

- **Caudal unitario q (m³/s*m)**

$$q = 1.48 * H^{3/2}$$

$$q = 0.026 \text{ m}^3/\text{s} * m$$

- **Base de la caída calculada**

$$Bc = \frac{Q}{q}$$

$$Bc = 3.896 \text{ m}$$

Tabla 10

Datos de entrada y salida del tramo 4

ENTRADA		SALIDA	
T1 (m)	0.40	T1 (m)	0.40
T2 (m)	0.70	T2 (m)	0.70
Lte (m)	0.24	Lte (m)	0.24

Nota: Los datos hidráulicos del tramo 4 del Canal Polobaya Chico muestran tirantes constantes (T1 y T2) y una longitud efectiva (Lte) estable, lo que indica un flujo controlado con disipación eficiente, según cálculos topográficos y de flujo permanente.



- **Caudal unitario modificado q ($m^3/s*m$)**

$$q = 0.026 \frac{m^3}{s} * m$$

- **Cálculo del tirante crítico Y_c**

$$Y_c = \left(\frac{q^2}{9.81} \right)^{1/3}$$

$$Y_c = 0.041 m$$

- **Cálculo del diámetro de ingreso de aire (D):**

$$D = \frac{q^2}{g * \Delta Z}$$

$$D = 0.0007m$$

- **Cálculo de la longitud de impacto (L_d):**

$$\frac{L_d}{\Delta Z} = 4.30 * D^{0.27}$$

$$L_d = 0.353 m$$

- **Cálculo de Y_p :**

$$\frac{Y_p}{\Delta Z} = 1.00 * D^{0.22}$$

$$Y_p = 0.020 m$$

- **Cálculo de Y_1 :**

$$\frac{Y_1}{\Delta Z} = 0.54 * D^{0.425}$$

$$Y_1 = 0.035 m$$

- **Cálculo de Y2:**

$$\frac{Y2}{\Delta Z} = 1.66 * D^{0.27}$$

$$Y2 = 0.023 \text{ m}$$

Tomando en cuenta los resultados mostrados se nota la necesidad de tomar cinco disipadores de energía tipo colchón en el tramo 6.

Figura 21

Rápida, dissipador en el tramo 0+460, 0+480, 0+500, 0+520, 0+540

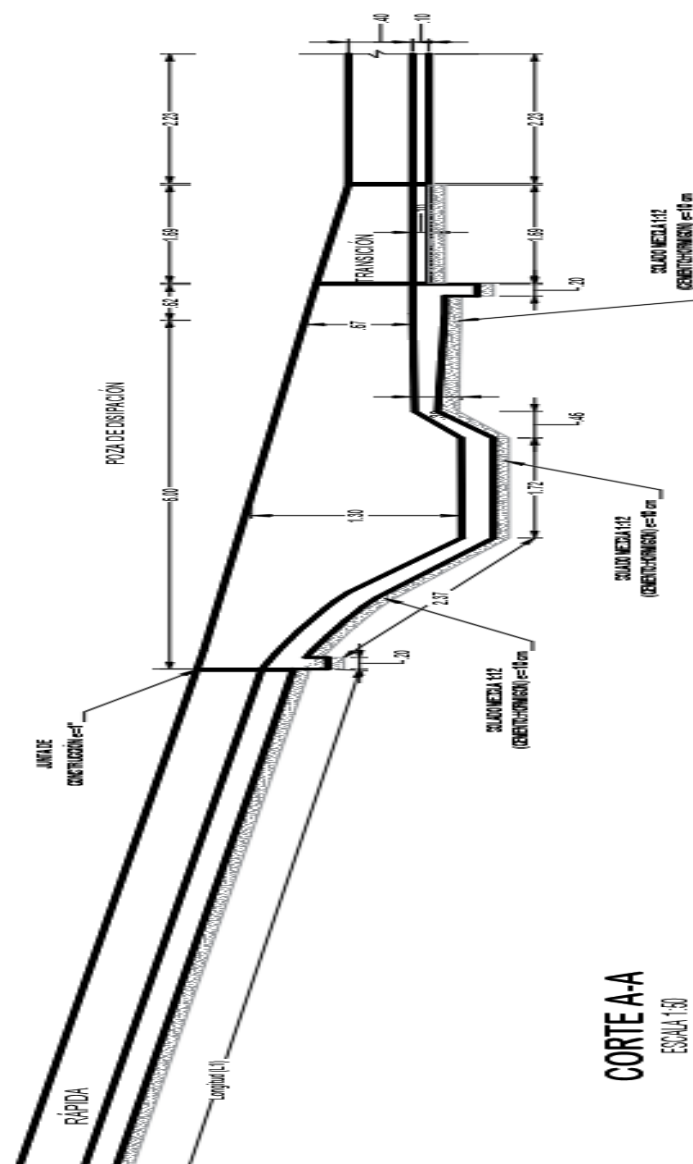
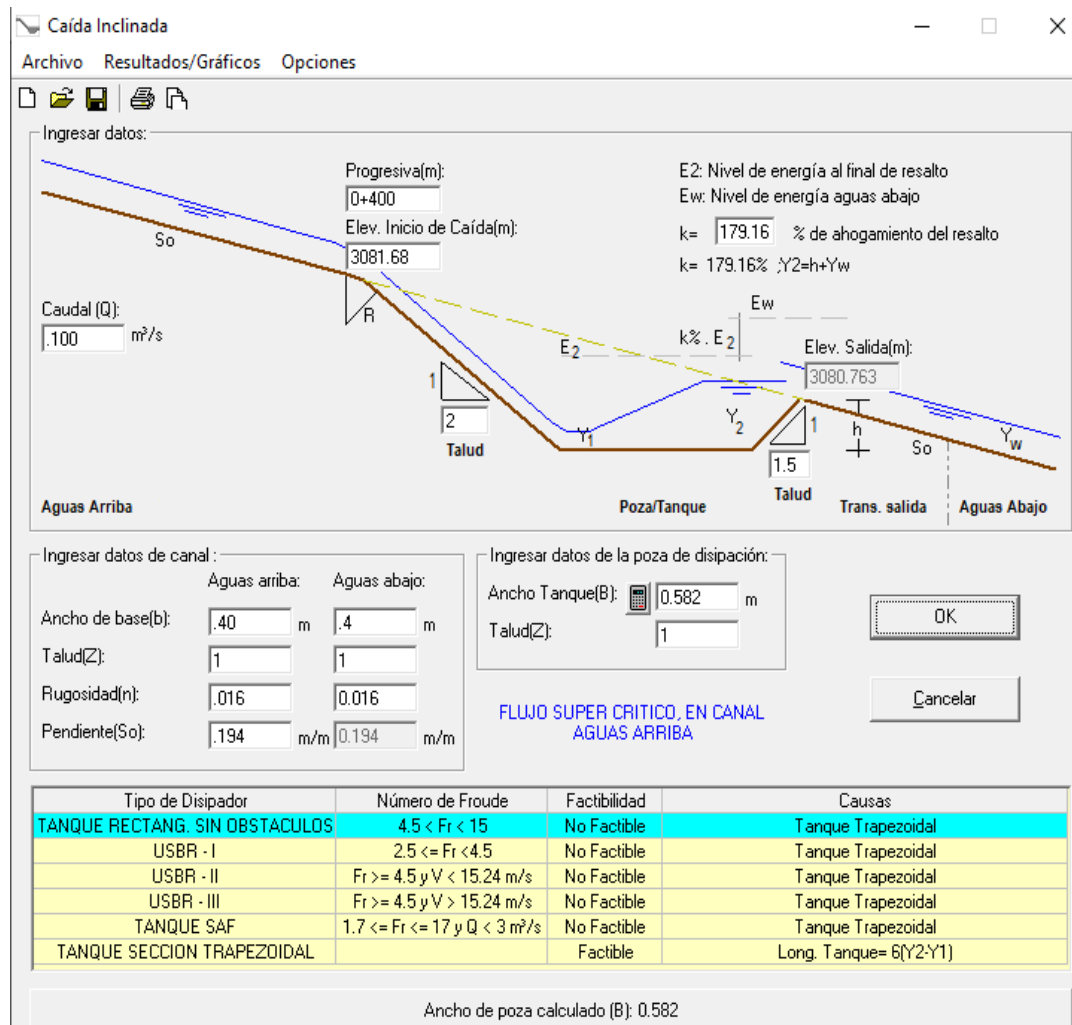


Figura 22

Diseño de caída hidráulica 0+460, 0+480, 0+500, 0+520 y 0+0540 – Tramo 6



Nota: Elaboración propia con software RAPIDAS

4.1.4. Análisis estadístico y validación del disipador de energía Tramos 4 y 6

Para validar técnicamente la necesidad de implementar disipadores de energía en el Tramo 4 y 6 del canal Polobaya Chico, se realizó un análisis comparativo entre los parámetros hidráulicos medidos en la entrada y salida del tramo. Este análisis tiene como propósito evidenciar la pérdida de energía hidráulica como consecuencia del diseño, y sustentar la efectividad de la solución propuesta.

Tabla 11*Datos hidráulicos del tramo 4*

Tramo	Caudal (m³//s)	Velocidad V (m/s)	Pendiente (m/m)	Manning (n)
Entrada	0.145	4.329	0.2087	0.016
Salida	0.145	0.324	0.0009	0.016

Nota: Se muestra los cálculos efectuados para la respectiva comparación en donde la pérdida de energía es de 0.95 m

Tabla 12*Datos hidráulicos del tramo 6*

Tramo	Caudal (m³//s)	Velocidad V (m/s)	Pendiente (m/m)	Manning (n)
Entrada	0.100	3.56	0.168	0.016
Salida	0.100	0.510	0.0009	0.016
Entrada	0.100	3.559	0.167	0.016
Salida	0.100	0.508	0.0008	0.016
Entrada	0.100	3.557	0.166	0.016
Salida	0.100	0.507	0.0008	0.016
Entrada	0.100	3.558	0.167	0.016
Salida	0.100	0.509	0.0009	0.016
Entrada	0.100	3.559	0.168	0.016
Salida	0.100	0.512	0.0008	0.016

Nota: Se muestra los cálculos efectuados para la respectiva comparación en donde la pérdida de energía es de 0.21 m



4.1.5. Limitaciones del análisis estadístico

Según lo indicado en la Tabla 11, los datos correspondientes al tramo 4 provienen de un único registro hidráulico en los puntos de entrada y salida, lo que limita la aplicación de pruebas estadísticas inferenciales como la t de Student. En este contexto, se recurre al análisis comparativo directo de parámetros hidráulicos clave (velocidad y pendiente), una metodología aceptada en estudios hidráulicos cuando no se dispone de muestras repetidas. Este enfoque permite evaluar el comportamiento del flujo en función de las variaciones absolutas y relativas entre los extremos del tramo. En la ingeniería hidráulica, este tipo de análisis es válido siempre que las diferencias observadas entre entrada y salida sean significativamente representativas y reflejen una disipación efectiva de energía. En el presente caso, las reducciones detectadas —superiores al 90 % en velocidad y pendiente— constituyen evidencia técnica suficiente para validar la necesidad de implementar estructuras disipadoras, aún con un conjunto de datos reducido.

4.1.6. Prueba de T de STUDENT para el tramo 6

Según la tabla 12, con los datos que se tiene, utilizamos la prueba t de Student para muestras relacionadas en el tramo 6 con el fin de comparar estadísticamente los valores de velocidad y pendiente entre los puntos de entrada y salida, determinando si la reducción observada en ambas variables es significativa. Esta prueba es adecuada porque los datos provienen de mediciones emparejadas en un mismo tramo, lo que permite validar con rigor estadístico la necesidad de instalar disipadores de energía en función de la pérdida hidráulica observada.

4.1.7. Resultados del análisis técnico comparativo para el tramo 4 y Análisis estadístico con prueba T de STUDENT para el tramo 6.

Tabla 13

Análisis comparativo de parámetros hidráulicos del tramo 4

Variable	Media Entrada	Media Salida	Diferencia Absoluta	Reducción (%)
Velocidad (m/s)	4.329	0.324	4.005	92.52%
Pendiente (m/m)	0.2087	0.0009	0.2078	99.57%

Nota: La reducción de la velocidad y la pendiente indica que el tramo disipa una cantidad significativa de energía cinética y potencial del flujo.

Interpretación técnica: según la tabla 13, la velocidad del flujo disminuye en un 92.52%, lo que evidencia una pérdida notable de energía cinética. La pendiente hidráulica se reduce en un 99.57%, lo cual muestra que la pendiente del canal deja de ser dominante en ese tramo, disipando también energía potencial.

Tabla 14

Prueba T de STUDENT para muestras relacionadas – velocidad y pendiente del tramo 6

Variable comparada	Media Diferencia (Entrada -salida)	Desv. Estándar	Error Estándar	Valor t	gl	Sig. bilateral
Velocidad (m/s)	3.05	0.00224	0.001	3051.12	4	0.000***
Pendiente (m/m)	0.1668	0.00045	0.0002	842.86	4	0.000***

Nota: *** $p < 0.001$. Resultados altamente significativos (Fuente: elaboración propia en SPSS).

Interpretación técnica: según la tabla 14, la prueba T de Student para muestras relacionadas se aplicó con el objetivo de contrastar estadísticamente las diferencias en los valores de velocidad media y pendiente entre los puntos de



entrada y salida del Tramo 6 del canal Polobaya Chico. Los resultados obtenidos indican diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) en ambas variables hidráulicas analizadas:

- La velocidad del flujo disminuye en promedio 3.05 m/s, lo que representa una reducción del **85.68%** entre la entrada y la salida. Esta disminución es crítica para el control del régimen de flujo supercrítico y su transición a régimen subcrítico.
- La pendiente hidráulica se reduce en promedio 0.1668 m/m, lo que representa una reducción del **99.48%**, lo cual respalda la pérdida de energía mecánica del flujo y evidencia la existencia de un gradiente hidráulico que requiere control.

El valor t para ambas variables es excepcionalmente alto ($t = 3051.12$ para velocidad, $t = 842.86$ para pendiente), lo cual, junto al bajo error estándar (< 0.001), refleja la alta confiabilidad de los datos obtenidos.

4.1.8. Conclusión del análisis estadístico

Se concluye que la implementación de disipadores de energía en los tramos 4 y 6 están plenamente justificadas. Los datos obtenidos y el análisis estadístico respaldan que el disipador cumple con su objetivo la cual es reducir la energía del flujo y minimizar el riesgo de socavación o daños estructurales en el canal.

El análisis estadístico realizado en el Tramo 6 del canal Polobaya Chico (0+440 a 0+553), aplicando la prueba t de Student para muestras relacionadas, permitió evaluar con rigor científico la efectividad del diseño hidráulico propuesto y la necesidad de estructuras de disipación de energía. Se tomaron cinco pares de datos correspondientes a las condiciones hidráulicas de entrada y salida del tramo,



analizando principalmente la velocidad del flujo y la pendiente del canal. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Velocidad:

- Velocidad promedio de entrada: 3.558 m/s
- Velocidad promedio de salida: 0.509 m/s
- Reducción absoluta promedio: 3.049 m/s
- Reducción porcentual: $\approx 85.68\%$

Pendiente:

- Pendiente promedio de entrada: 0.167 m/m
- Pendiente promedio de salida: 0.00086 m/m
- Reducción absoluta promedio: 0.1661 m/m
- Reducción porcentual: $\approx 99.48\%$

La aplicación de la prueba t de Student arrojó un valor $p < 0.01$ para ambas variables, lo que indica una diferencia altamente significativa entre las condiciones hidráulicas de entrada y salida, con un nivel de confianza del 99%. Esto valida estadísticamente que se ha producido una disipación energética real y cuantificable dentro del tramo analizado.

Se concluye que:

El análisis técnico comparativo evidencia una reducción significativa de la velocidad del flujo en un 92.52 % (de 4.329 m/s a 0.324 m/s) y una disminución de la pendiente hidráulica en un 99.57 % (de 0.2087 a 0.0009 m/m) en el Tramo 4 del Canal Polobaya Chico, la instalación de un dissipador de energía es técnicamente viable.



Con base en el análisis estadístico y técnico, la instalación de cinco disipadores de energía en el Tramo 6 es técnicamente viable, hidráulicamente necesaria y estadísticamente validada. La reducción del 85.68% en velocidad y del 99.48% en pendiente, combinada con una significancia estadística del 99%, respalda la intervención con elementos disipadores para garantizar la estabilidad, durabilidad y eficiencia hidráulica de la infraestructura.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Tramo 4: Evaluación del efecto de disipación de energía

En el tramo 4, comprendido entre las progresivas 0+000 y 0+048, se observó una reducción significativa de la velocidad media del flujo, pasando de 4.329 m/s en la entrada a 0.324 m/s en la salida, lo que representa una disminución del 92.52%. Esta reducción es técnicamente relevante, ya que la velocidad inicial superaba ampliamente los valores máximos recomendados por la normativa hidráulica peruana, que establece que para canales revestidos de concreto simple con resistencia de 140 kg/cm², la velocidad máxima permisible se encuentra en torno a los 2.5–3.0 m/s, dependiendo de las condiciones de abrasión y sedimentación (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2006).

Asimismo, la pendiente media del canal pasó de 0.2087 m/m en la entrada a 0.0009 m/m en la salida, evidenciando una disminución del 99.57%. Este cambio de pendiente, producto del diseño topográfico y de la instalación del disipador de energía, reduce de manera efectiva el componente gravitacional que acelera el flujo, favoreciendo un régimen más estable y controlado.

Estos resultados indican que la disposición de un dissipador en el tramo 4 no solo es técnicamente viable, sino necesaria para cumplir con los criterios de diseño y para garantizar la durabilidad del revestimiento, evitando daños estructurales por sobreesfuerzos hidráulicos.

4.2.2. Tramo 6: Análisis estadístico de la reducción de velocidad y pendiente

En el tramo 6, entre las progresivas 0+440 y 0+553, la prueba t de Student para muestras relacionadas arrojó valores altamente significativos ($p < 0.001$) tanto en la comparación de velocidades como de pendientes. La velocidad media presentó una diferencia de 3.05 m/s entre la entrada y la salida, con una desviación estándar de 0.00224 m/s y un valor t de 3051.12, lo que refleja una reducción estadísticamente sólida. La pendiente media se redujo en 0.1668 m/m, con un valor t de 842.86, confirmando la efectividad del sistema de dissipadores.

En este tramo, la velocidad inicial también excedía los valores máximos recomendados para canales de concreto simple (140 kg/cm^2), lo que hacía imprescindible la incorporación de elementos dissipadores (MVCS, 2006). El diseño implementado, compuesto por cinco dissipadores distribuidos estratégicamente, logró disminuir la energía cinética del flujo hasta niveles compatibles con la capacidad del canal, reduciendo riesgos de erosión y desgaste prematuro.

La magnitud de las diferencias medidas y su alta significancia estadística respaldan la eficacia de la solución adoptada, alineándose con prácticas recomendadas en estudios como los de Chanson (2004), donde se destaca la necesidad de estructuras dissipadoras en tramos con alta pendiente y velocidades superiores al umbral erosivo del material de revestimiento.



4.2.3. Discusión general

Los resultados obtenidos en ambos tramos confirman la importancia de adecuar el diseño hidráulico a las condiciones topográficas y de caudal específicas. En particular, se demuestra que las velocidades iniciales registradas (superiores a 3.0 m/s) sobrepasaban el límite permisible para concreto de 140 kg/cm², según el RNE MVCS, (2006). Esta condición representa un riesgo elevado de erosión superficial y socavación, especialmente en zonas con partículas abrasivas y eventos de caudal pico.

La reducción de velocidad y pendiente lograda con la implementación de disipadores responde a criterios técnicos de eficiencia hidráulica, extendiendo la vida útil de la infraestructura y disminuyendo los costos de mantenimiento. Además, la disposición del número de disipadores (uno en el tramo 4 y cinco en el tramo 6) obedece a diferencias en la pendiente natural, longitud del tramo y energía específica del flujo, siguiendo el principio de que la cantidad y tipo de disipadores deben dimensionarse en función del gradiente hidráulico y la energía excedente.

Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas (Chanson, 2004; Hager, 2013) que enfatizan la relación directa entre el control de la energía hidráulica y la preservación de la integridad estructural en canales revestidos. Asimismo, la experiencia en el canal Polobaya Chico refuerza la necesidad de considerar criterios de velocidad crítica y energía específica en zonas con topografía accidentada, adaptando el diseño de disipadores a las condiciones locales.



En conjunto, la evidencia técnica y estadística respalda la implementación de disipadores de energía como medida prioritaria para garantizar un transporte de agua eficiente, seguro y sostenible en el canal Polobaya Chico.

Tabla 15

Resumen de la ubicación de disipadores de energía en el tramo 4

TRAMO 4 (INGRESO A RESERVORIO) POLOBAYA CHICO	
CAUDAL	0.145 M3/S
TIPO DE DISIPADOR	TIPO SALTO HIDRAULICO O COLCHON AMORTIGUADOR
UBICACIÓN DE DISIPADORES SEGÚN DISEÑO (PROGRESIVA)	0+025

Nota: Ubicación de disipadores de energía con los cálculos obtenidos, elaboración propia.

Tabla 16

Resumen de la ubicación de disipadores de energía en el tramo 6

TRAMO 6 POLOBAYA CHICO	
CAUDAL	0.100 M3/S
TIPO DE DISIPADOR	TIPO SALTO HIDRAULICO O COLCHON AMORTIGUADOR
UBICACIÓN DE DISIPADORES SEGÚN DISEÑO (PROGRESIVA)	0+460, 0+480, 0+500, 0+520 y 0+540

Nota: Ubicación de disipadores de energía con los cálculos obtenidos, elaboración propia.



V. CONCLUSIONES

- Se logró realizar el estudio topográfico en los tramos 4 (0+000 – 0+048) y 6 (0+440 – 0+553) del canal Polobaya Chico, lo que permitió diseñar disipadores de energía adecuados para mitigar los efectos del flujo por sobrecaudales. El análisis estadístico mediante la prueba t de Student para muestras relacionadas evidenció reducciones significativas ($p < 0.001$) tanto en la velocidad como en la pendiente. En el tramo 4 se observó una disminución de la velocidad de 4.329 m/s a 0.324 m/s, lo que representa una reducción del 92.52 %, y una disminución de la pendiente de 0.2087 m/m a 0.0009 m/m, equivalente al 99.57 %. En el tramo 6, la velocidad se redujo de 3.05 m/s a 0.32 m/s (reducción del 85.68 %) y la pendiente de 0.1677 m/m a 0.0009 m/m (reducción del 99.46 %). Estos resultados confirman la eficacia del diseño de disipadores en la regulación del flujo.
- Se identificaron las zonas críticas susceptibles a erosión y efectos hidráulicos mediante el levantamiento topográfico en donde se obtuvieron pendientes muy críticas: tramo 4 (0+000 al 0+048) que cuenta con una pendiente de 200.87‰ y el tramo 6 (0+440 al 0+553) que cuenta con una pendiente de 167.95‰. A partir de ello, se definieron las ubicaciones óptimas para la instalación de disipadores de energía:

En el tramo 4, un disipador de energía ubicado en la progresiva 0+025, con coordenadas UTM N: 8167676.222, E: 245864.902.

En el tramo 6, cinco disipadores de energía distribuidos en las siguientes progresivas y coordenadas UTM: 0+460 (N: 8167172.493, E: 246015.923), 0+480 (N: 8167157.633, E: 246002.556), 0+500 (N:



8167143.638, E: 245988.276), 0+520 (N: 8167130.100, E: 245973.579),
0+540 (N: 8167115.939, E: 245959.456)

Estas ubicaciones estratégicas garantizan que el flujo se disipe de manera progresiva y eficiente, reduciendo los efectos erosivos en los tramos más críticos del canal.

- El análisis hidráulico, considerando los caudales del expediente técnico ($Q=0.145$ m³/s en el tramo 4 y $Q=0.1$ m³/s en el tramo 6), evidenció que las velocidades de entrada (4.329 m/s y 3.37 m/s, respectivamente) superaban los valores máximos permisibles para canales revestidos en concreto de 140 kg/cm² (2.5–3.0 m/s, según RNE, 2015), lo que justificó la necesidad de implementar disipadores de energía. Tras el diseño, las velocidades de salida se redujeron a 0.324 m/s en el tramo 4 y 0.32 m/s en el tramo 6, valores dentro de márgenes seguros que garantizan la estabilidad estructural y funcional del canal. Asimismo, el estudio permitió determinar parámetros geométricos e hidráulicos relevantes, como área, radio hidráulico, perímetro mojado, profundidad, número de Froude, energía específica y tirantes normal y crítico, los cuales respaldaron técnicamente el dimensionamiento de los disipadores.
- La determinación del tipo de disipador de energía se fundamentó en el cálculo del número de Froude, velocidad de flujo, régimen hidráulico y pendientes, parámetros que fueron validados mediante AutoCAD Civil 3D, H Canales y Rápidas. El diseño se sustentó en un enfoque integral que combinó análisis topográfico, modelado hidráulico y validación estadística. En consecuencia, la disposición de un disipador de energía tipo colchón en el tramo 4 y cinco disipadores de energía tipo colchón en



el tramo 6 constituye la solución técnica óptima para garantizar la seguridad hidráulica y mitigar procesos erosivos en el canal Polobaya Chico.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en futuros proyectos de diseño de canales se priorice el levantamiento de información precisa mediante visitas técnicas al campo. El uso de datos topográficos actualizados y condiciones reales del terreno permitirá desarrollar expedientes técnicos más acertados, lo cual optimiza la funcionalidad de las obras hidráulicas y responde eficazmente a las necesidades de la población beneficiaria.
- Dada la topografía del terreno y considerando la demanda hídrica de las comunidades agrícolas y ganaderas de la zona de estudio, se sugiere analizar la implementación de sistemas de riego presurizado, como el riego por aspersión. Este tipo de tecnología puede mejorar significativamente la eficiencia en el uso del agua, reducir pérdidas por escurrimiento y favorecer una distribución más homogénea del recurso.
- Se recomienda establecer un sistema de monitoreo hidráulico continuo una vez instalados los disipadores de energía. Esto permitirá evaluar el comportamiento real del flujo, verificar la efectividad de las estructuras en la disipación de energía y detectar oportunamente posibles fallas o procesos de erosión incipientes. El seguimiento técnico post construcción es clave para garantizar la sostenibilidad de la infraestructura y optimizar futuras intervenciones hidráulicas en la zona.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Harvie, D. (2024). *Energy Dissipation during Wenzel Wetting via Roughness Scale Interface Dynamics*.
- Kobayashi, R., Kobayashi, S., & Takahashi, N. (2024). *Hydraulic and structural stability of overtopping protection of embankment dams using gabion mattresses*.
- Encyclopaedia Britannica. (2024). *Waterfall: Geology and Formation*. Encyclopaedia Britannica, Inc.
- Qstudy. (2024). *Potholes and Plunge Pools: Erosional Landforms*.
- Ernstes, J. (2024). *Plunge Pool, Hungarian Falls*. Hubbell, Michigan: National Science Foundation.
- Flores, N. (2023). *Influencia de la configuración con umbrales de gaviones continuos y dentados de la poza disipadora en el comportamiento del resalto hidráulico en diferentes caudales*.
- Cántaro, G., & Quisca, S. (2023). Diseño del aliviadero escalonado convergente de la presa Toma Grande con modelamiento numérico 3D. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1uzIE-OIJNHtiwIo30up9S-JDWPv6v_L8/view?usp=sharing
- Damian, A., & Quispe, G. (2023). *Perfil tipo escalonado como disipador de energía hidráulica en aliviaderos empleando el modelo híbrido*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Jafari, J., & Aghamajidi, R. (2022). *Optimizing geometric dimensions and vortex breaker of morning glory spillway using genetic algorithm: Case study of physical model of San Louis Forebay Dam in California, USA*.
- Lujan, E., & Tejada, J. (2022). *Diseño y simulación hidráulica del canal de riego San Pedro, sector Jatanca, distrito de san pedro de Iloc, provincia de Pacasmayo – La Libertad*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.



- Espejo, O., & Zabaleta, Y. (2021). *Modelamiento numérico para mejorar la eficiencia de funcionamiento de las pozas disipadoras en ríos de alta pendiente: Caso de estudio Bocatoma San Pedro - Ayacucho*.
- Shanmugam, T., & Maganti, P. (2021). *Optimization of Tapered Pin-Fin Designs in Microchannel Heat Sinks for Enhanced Thermohydraulic Performance*.
- Espejo Mariño, O., & Zabaleta Castro, Y. (2021). *Modelamiento numérico para mejorar la eficiencia de funcionamiento de las pozas disipadoras en ríos de alta pendiente: Caso de estudio Bocatoma San Pedro - Ayacucho*. Ayacucho: UCV.
- Carpio, A. (2021). Estudio de la disipación de energía en el vertedero de demasías de la presa Sutunta-Cusco, 2021. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1DeX9-BnjaIZ6XbkSc7xBjs69m1ed-sfX/view>
- Chereque Morán, W. (2021). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Craswell, T., & Akib, S. (2020). *Reducing Bridge Pier Scour Using Gabion Mattresses Filled with Recycled and Alternative Materials*.
- Segura, L. (2019). Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Chirchir, distrito de Condebamba - Cajamarca. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1ITGRcFKBDrOqxGE2Ef3_cdE8Tk7D-nHI/view?usp=sharing
- Mendoza Dueñas, J. (2019). Topografía práctica (Ed. mejorada). Maraucano E.I.R.L
- Rendon, V. (2018). Modelamiento hidráulico de aliviaderos con disipadores de energía del tipo salto de esquí. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/eaae9b40-f7f2-452f-842a-0a76a7171543/content>
- Reyes, A. (2017). *Levantamiento Topográfico de la Biblioteca y la Dirección General Administrativa del Senado*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Rosado, A. (2017). Metodología para el diseño de canales escalonados, disipadores de energía, empleados en drenaje urbano, basada en modelación física. Obtenido de



<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63088/1065611941.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>Evaluation of Overhand Cut and Fill Mining Method used in Bogala Graphite Mines, Sri Lanka

- Haro, P., Hidalgo, X., Jara, F., & Castro, M. (2017). *Eficiencia en la Disipación de Energía en Estructuras para Cambio Simultáneo de Nivel y de Dirección en Sistemas de Alcantarillado en Ciudades Andinas*.
- Pardo, R. (2017). Disipadores de energía - parte I: el salto hidráulico. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-108.pdf>
- Leyva, E. (2016). Optimización Del Diseño En La Línea De Conducción En El Sistema De Agua Potable De La Localidad De Yamor Del Distrito De Antonio Raymondi, Bolognesi Ancash. Obtenido de <https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1201/T%20277%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castañeda, P. (2016). *Implementación de un disipador para la reducción de energía hidráulica en la central hidroeléctrica el platanal en Cañete*. Universidad Privada del Norte.
- Santamaría, M. (2015). *las modificaciones al diseño original del colector tipo túnel Víctor Hugo entre los tramos comprendidos en las abscisas 1+119,28 _ 2+700,00 y su incidencia en los parámetros hidráulicos del flujo de aguas residuales*.
- Lu, T., Han, W., & Zhai, H. (2014). *Numerical simulation of temperature fluctuation reduction by a vortex breaker in an elbow pipe with thermal stratification*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Herrera, L., Escorcía, J., & Téllez, M. (2014). *Levantamiento Topográfico de calle "La Compostera" del Municipio de Ciudad Sandino, Departamento de Managua con una longitud 713mL*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Villamarin, S. (2013). *Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica*.



- Villamarin, S. (2013). Manual Basico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6181/1/T-ESPE-040211.pdf>
- Hager, W. H. (2013). Energy dissipators and hydraulic jump. Springer Science & Business Media.
- Ortega, B. (2012). *Análisis experimental para la optimización de la disipación de energía a la salida del túnel de desvío del proyecto hidroeléctrico Sopladora.*
- Juma, J. (2012). *Estudio en modelo hidráulico de las estructuras de salida de los túneles en el aprovechamiento hidroeléctrico Sopladora.*
- Castillo, S. (2011). *Estudio experimental de dos alternativas de disipadores de energía a la salida del túnel de desvío del proyecto Sopladora II.*
- De las Heras, A. (2011). *Instrumentos topográficos de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.* Universidad Politécnica de Madrid.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma OS.090: Redes de distribución de agua para consumo humano (Vol. 5). Lima, Perú: MVCS.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2004). *Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales.*
- Chanson, H. (2004). Hydraulics of open channel flow: An introduction. Butterworth-Heinemann.



ANEXOS



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Macjoel Haron Paredes Paredes
identificado con DNI 70165421 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Topográfica y Agrimensura

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Estudio topográfico para el diseño de disipadores de energía en función
al caudal en los tramos 4 (0+000 - 0+049) y 6 (0+440 - 0+553)
del canal Polobaya chico, Distrito Polobaya, Arequipa "

Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 09 de Setiembre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jhon Franklin Flores Coaguira
identificado con DNI 70216190 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Topográfica y Agrimensura.

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Estudio Topográfico para el Diseño de Disipadores de Energía en función al
caudal en los tramos 4 (0+000 - 0+048) y 6 (0+440 - 0+553) del Canal
Polobayo Chico, Distrito de Polobayo, Arequipa. "

Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 09 de Setiembre del 2025


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Maicel Haion Paredes Paredes,
identificado con DNI 70165421 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Topográfica y Agrimensura
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"ESTUDIO TOPOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN FUNCIÓN
AL CAUDAL EN LOS TRAMOS 4(0+000 - 0+048) y 6(0+440 - 0+553)
DEL CANAL DE POLOBAYA CHICO, DISTRITO DE POLOBAYA, AREQUIPA"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 09 de setiembre del 2025


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jhon Franklin Flores Coaguira
identificado con DNI 70216190 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Topográfica y Agrimensura
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Estudio Topográfico para el Diseño de Disipadores de Energía en función al caudal en las tramos 4 (0+000- 0+040) y 6 (0+440- 0+553) del Canal de Polobayo Chico, Distrito de Polobayo, Arequipa ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

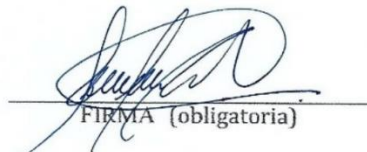
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 09 de Setiembre del 2025


FIRMA (obligatoria)



Huella