

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**DISEÑO Y SIMULACIÓN HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO SAN PEDRO,
SECTOR JATANCA, DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, PROVINCIA DE
PACASMAYO - LA LIBERTAD**

Área de Investigación:

Hidráulica

Autor(es):

BR. LUJAN REYES, ERICK JUVENAL
BR. TEJADA VILCHEZ, JORGE JUNIOR

Jurado Evaluador:

Presidente : Ing. Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Secretario : Ing. Henríquez Ulloa, Paul

Vocal : Ing. Medina Carbajal, Lucio

Asesor:

Dr. Narváez Aranda, Ricardo Andrés

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0505-3163>

TRUJILLO - PERÚ
2022

Fecha de sustentación: 2022/10/18

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**DISEÑO Y SIMULACIÓN HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO SAN PEDRO,
SECTOR JATANCA, DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, PROVINCIA DE
PACASMAYO - LA LIBERTAD**

Área de Investigación:

Hidráulica

Autor(es):

BR. LUJAN REYES, ERICK JUVENAL
BR. TEJADA VILCHEZ, JORGE JUNIOR

Jurado Evaluador:

Presidente : Ing. Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Secretario : Ing. Henríquez Ulloa, Paul

Vocal : Ing. Medina Carbajal, Lucio

Asesor:

Dr. Narváez Aranda, Ricardo Andrés

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0505-3163>

TRUJILLO - PERÚ
2022

Fecha de sustentación: 2022/10/18

DEDICATORIA

Este logro es dedicado principalmente a dos personas muy importantes en mi vida, de hecho, es más de ellos que mío. Sí, así es, hablo de ustedes mamá Santos Reyes y papá Leoncio Lujan, son sin duda mi gran ejemplo a seguir, me han llenado de valores y fuerza para luchar por todos y cada uno de mis sueños, me han apoyado y han creído hasta en mis peores locuras y gracias a eso hoy puedo decir que no solo soy feliz, sino que además soy una persona de bien, que tiene bastante claro lo que quiere en su vida. Nunca me cansaré de darles las gracias, este y absolutamente todos mis logros son y serán siempre en su honor.

Dedicado también a mis hermanas Katia y Vanessa, que con su apoyo incondicional lograron que este objetivo llegue a darse y de esta manera seguir dejando en alto a nuestra familia, que con mucho esfuerzo construyeron nuestros queridos padres.

A mi abuelito José Alberto Reyes Valderrama, que desde el cielo me guio y me dio fuerzas para no rendirme en cada obstáculo encontrado en el proceso de este objetivo.

Finalmente, este logro también está dedicado a mis seres queridos y amigos, que estuvieron presente en vida universitaria.

Br. Lujan Reyes, Erick Juvenal

DEDICATORIA

Este logro está dedicado en primer lugar a mis padres Jorge Tejada y Flor Vílchez, por el la dedicación y apoyo incondicional que me brindaron durante mi carrera académica, que siempre creyeron en mí y estuvieron presentes en cada paso que pude dar. Continuamente está dedicado a mis dos hermanas Jacqueline Tejada y Nataly Tejada, por ser personas que dieron sus vidas para brindarme las herramientas y enseñanzas fundamentales en este camino académico.

Hacer una mención especial a mis tíos Genaro Vílchez, Ana María Vílchez y Carmen Machuca, quienes me respaldaron con sus sabios consejos y certeros comentarios por el paso en mi carrera universitaria.

A mi primo David Iturrino, por ser un ejemplo en mi formación académica.

Dedicado para todos mis amigos y familia que me acompañaron en este trayecto.

Finalmente, para Zambra que fue una mascota acompañante en todas las noches durante la ejecución de nuestros materiales académicos.

Br. Tejada Vílchez, Jorge Junior

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la Virgen María por ser inspiradores y darme fuerzas para continuar en este proceso de lograr uno de mis metas más deseadas.

Agradecer a mis padres, por todo el esfuerzo y dedicación que han dado para que cada uno de sus hijos lleguen a ser mejores que ellos; porque a pesar de las adversidades encontradas, nunca dejamos de ser la familia unida que nos caracteriza. Por cada consejo que me dieron para no rendirme y creer en mí.

Agradezco a mis hermanas por su cariño, consejos y palabras de aliento. Por nunca dejar de creer en mí y siempre dejarme en claro que soy una excelente persona.

También quiero agradecer a mis abuelitos José Reyes y Teresa Horna, por desempeñar el rol de padres y dejarnos en claro que nuestros padres están lejos trabajando para que algún día seamos unos excelentes profesionales.

Agradecer a mis seres queridos por el apoyo incondicional en mi vida.

Agradecer a mis amigos que conocí en la vida universitaria y hoy nos consideramos hermanos, porque me permitieron conocer el verdadero significado de una amistad.

A todas las personas que, directa o indirectamente, han permitido la realización de mi tesis.

Finalmente quiero agradecer a nuestro asesor el Ing. Ricardo Narvárez Aranda, quien con sus conocimientos supo guiar el desarrollo de la presente tesis; y por estar disponible para escuchar y resolver nuestras dudas.

Br. Lujan Reyes, Erick Juvenal

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mis padres, que estuvieron conmigo en cada proceso durante mi vida personal y académica, por siempre estar conmigo cuando más lo he necesitado y darme un ejemplo de perseverancia, decisión, respeto y amor.

Agradezco a mis hermanas, por ser mi soporte en cada paso dado. Por siempre estar conmigo y apoyarme en mis proyectos. Les agradezco por siempre estar unidos como hermanos y salir adelante juntos.

Agradecer a toda mi familia y amigos por estar siempre en momentos buenos y malos. Por apoyarme en momentos difíciles y confiarme en mi.

Agradecer a los docentes de la universidad por brindarme las enseñanzas necesarias para ser un profesional competitivo en el mundo laboral.

Finalmente quiero agradecer a nuestro asesor el Ing. Ricardo Narváez Aranda, por el constante acompañamiento y apoyo en la ejecución de este trabajo de investigación.

Br. Tejada Vílchez, Jorge Junior

RESUMEN

Esta tesis se desarrolló con la finalidad de realizar un proyecto hidráulico que ayude a canalizar y aprovechar el recurso hídrico en un mayor porcentaje. El canal elegido para este estudio fue el canal San Pedro ubicado en el sector Jatanca en el distrito de San Pedro de Lloc, el mismo que encontramos con deficiencias en su estructura, ya que no contaba con un recubrimiento que evite las filtraciones del agua durante su recorrido, debido a eso existe una pérdida de agua contenida en el canal, generando escases de riego en algunas zonas del sector Jatanca.

Para dar inicio al proyecto, elaboramos los estudios básicos como topografía y mecánica de suelos. En cuanto a la topografía, utilizamos recursos propios tales como estación total y nivel de ingeniero para obtener un levantamiento detallado del canal con una extensión de 3.5 km, que posteriormente nos sirvió para realizar nuestro nuevo diseño. La data obtenida del levantamiento topográfico fue procesada en el software Civil 3D 2020 teniendo como resultado los planos de planta y perfil longitudinal adjuntados en los anexos.

Para obtener nuestro caudal, empleamos un método de medición de aforo en campo, utilizando una mira milimétrica; además se determinó la ubicación de los canales de demanda o tomas laterales, teniendo en cuenta las áreas de riego involucradas.

Durante la elaboración del diseño hidráulico empleamos el Manual de criterios de diseño de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico publicado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que contempla los requisitos necesarios para poder realizar el diseño, tales como radios mínimos, tipo de secciones y pendientes mínimas según la orografía del terreno.

Finalmente, se realizó la simulación hidráulica mediante el software HecRAS v6.1 para comprobar la funcionalidad y el cumplimiento de todos los parámetros establecidos en la norma antes mencionada.

Palabras claves: canal de riego, diseño hidráulico, simulación hidráulica, caudal.

ABSTRAC

This thesis was developed with the purpose of carrying out a hydraulic project to help canalize and take advantage of the water resource in a higher percentage. The channel chosen for this study was the San Pedro channel located in the Jatanca sector in the district of San Pedro de Lloc, in this channel we found deficiencies in its structure, this channel doesn't have a lining to prevent water seepage during its route, since there is a loss of water contained in the channel, this deficiency generates a shortage of irrigation in some areas of the Jatanca sector.

To start the project, we prepared the basic studies such as topography report and soil mechanics report. As for the topography report, we used our own resources such as total station and engineer's level to obtain a detailed topographic survey of the canal with an extension of 3.5 km, which later served us to carry out our new hydraulic design. The data obtained from the topographic survey was processed in Civil 3D 2020 software, resulting in the plan view and longitudinal profile drawings attached in the annexes.

To obtain our flow rate, we used a gauging measurement method in the field, using a millimeter sight; we also determined the location of the demand channels or lateral intakes, taking into account the irrigation areas involved.

During the preparation of the hydraulic design, we used the "Manual of design criteria for hydraulic works for the formulation of multisectoral hydraulic projects and water reinforcement" published by the National Water Authority (ANA), which includes the necessary requirements for the design, such as minimum radii, type of sections and minimum slopes according to the terrain orography.

Finally, the hydraulic simulation was performed using HecRAS v6.1 software to verify the functionality and compliance with all the parameters established in the aforementioned standard.

Keywords: Irrigation Canal, Hydraulic Design, Hydraulic Simulation, Flow Rate.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado

Dando cumplimiento y conformidad a los requisitos establecidos en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de suficiencia profesional titulado:

“DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO SAN PEDRO, SECTOR JATANCA, DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, PROVINCIA DE PACASMAYO, LA LIBERTAD”

El mismo que dejamos a su criterio para su dictamen, esperando reunir los requisitos para su respectiva aprobación.

Atentamente,

BR. TEJADA VILCHEZ JORGE JUNIOR

BR. LUJAN REYES ERICK JUVENAL

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	1
1.1.1. Realidad Problemática	1
1.1.2. Formulación de problema	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación del estudio	3
II. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1. Antecedentes del estudio	3
2.1.1. Antecedente Internacional	3
2.1.2. Antecedente Nacional	5
2.1.3. Antecedente Local	6
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Canales hidráulicos	6
2.2.2. Topografía	35
2.2.3. Mecánica de suelos	42
2.2.4. HEC-RAS V6.1	50
2.3. Marco Conceptual	52
2.4. Sistema de hipótesis	53
2.4.1. Hipótesis	53
2.4.2. Variables	53
2.4.3. Operacionalización de la variable	54
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	55
3.1. Tipo y nivel de investigación	55
3.1.1. Tipo de investigación	55
3.1.2. Nivel de investigación	55
3.2. Población y muestra de estudio	55
3.2.1. Población	55
3.2.2. Muestra	55
3.3. Diseño de investigación	55
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
3.4.1. Técnicas	55
3.4.2. Instrumentos	56

3.5. Procesamiento y Análisis de datos	56
3.5.1. Estudio Topográfico	56
3.5.2. Estudio de Mecánica de suelos	56
3.5.3. Estudio Hidráulico	56
3.5.4. Modelamiento Digital	57
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	57
4.1. Análisis e Interpretación de resultados.....	57
4.1.1. Estudio topográfico	57
4.1.2. Estudio de mecánica de suelos	59
4.1.3. Estudio de Hidrología.....	73
4.1.4. Modelamiento hidráulico	102
4.2. Docimasia de hipótesis.....	108
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	108
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	113
ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
Figura 1. Sección transversal irregular	7
Figura 2. Sección transversal de una canal artificial	7
Figura 3. Elementos geométricos de una sección transversal.	9
Figura 4. Pendientes: línea de energía, línea piezométrica y fondo de canal.	12
Figura 5. Tirante vertical y normal (perpendicular a la sección).....	13
Figura 6. Flujo en canales abiertos y su clasificación	14
Figura 7. Tipo de flujos en canales abiertos.....	17
Figura 8. Tipo de flujos en canales abiertos.....	18
Figura 9. Energía total en una sección de un canal	18
Figura 10. Elementos de la energía por unidad de peso	19
Figura 11. Línea de alturas totales, piezométricas y horizonte de energía.....	20
Figura 12. Energía en las secciones 1 y 2.....	21
Figura 14. Sección típica de un canal	26
Figura 15. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes	28
Figura 16. Teodolito electrónico SOKKIA	41
Figura 17. Estación Total SOKKIA	42
Figura 18. Vista satelital canal San Pedro.....	58
Figura 19. Procesamiento levantamiento topográfico	59
Figura 20. Perfil longitudinal KM 0+000.00 – 1+000.00 del canal San Pedro.....	59
Figura 21: Resultados curva granulométrico de calicata N°01	66
Figura 22: Resultados curva granulométrico de calicata N°02	66
Figura 23: Ensayo de corte directo en calicata N°01	71
Figura 24: Ensayo de corte directo en calicata N°02	72
Figura 25: Cuadro de resultados del Eto (mes),.....	80
Figura 26: Sección Típica del canal, indicando sus partes.....	85
Figura 27: Elementos Geométricos del canal, indicando los valores correspondientes.....	91
Figura 28: Elementos Geométricos de una Toma Lateral, indicando sus valores correspondientes.....	92
Figura 29: Sección Típica del Canal Alimentador, indicando sus valores geométricos.	93
Figura 30: Sección Típica del Canal de Derivación, indicando sus valores geométricos.	94
Figura 31: Cálculos de compuerta y orificios.	99

Figura 32: Sección Típica del Canal de Alcantarilla	100
Figura 33: Sección transición y alcantarilla.	101
Figura 34: Detalle de corte horizontal en alcantarilla	102
Figura 35: Selección de superficie de caja del canal en Civil 3D.....	103
Figura 36: Exportación de superficie de canal a archivo .XML en Civil 3D.....	103
Figura 37: Creación de malla geométrica en Hec-RAS v6.1	104
Figura 38: Revisión de breaklines a lo largo de la malla en Hec-RAS v6.1.....	104
Figura 39: Creación de ingreso del caudal al canal en Hec-RAS v6.1.....	105
Figura 40: Ingresamos el coeficiente de rugosidad Manning en Hec-RAS v6.1 .	105
Figura 41: Corroboración de datos ingresados en Hec-RAS v6.1	106
Figura 42: Modificación de pendiente por defecto en Hec-RAS v6.1	106
Figura 43: Digitalización de hidrogramas históricos recopilados	107
Figura 44: Análisis de recorrido hídrico en el canal de diseño.....	107

INDICE DE TABLAS	Pág.
Tabla 01: Radio mínimo en función al canal.....	23
Tabla 02: Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$	23
Tabla 03: Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua.	24
Tabla 04: Elementos de una curva.....	24
Tabla 05: Valores de rugosidad “n” de Manning	29
Tabla 06: Taludes apropiados para distintos de material.....	30
Tabla 07: Pendientes laterales en canales según tipo de suelo.....	30
Tabla 08: Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación.	31
Tabla 09: Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.	32
Tabla 10: Borde libre en función del caudal	34
Tabla 11: Borde libre en relación a la plantilla del canal	34
Tabla 12: Valores de cantidad mínima de espécimen.....	44
Tabla 13: Tamices y su designación.	47
Tabla 14: Tamices y su designación.	48
Tabla 15: Diámetro nominal y Masa aproximada.....	49
Tabla 16: Operacionalización de la Variable	54
Tabla 17: Perfil estatigráfico de calicata N°01	60
Tabla 18: Perfil estatigráfico de calicata N° 02.....	61
Tabla 19: Contenido de Humedad de calicata N°01	62
Tabla 20: Contenido de Humedad de calicata N° 02.....	63
Tabla 21: Resultados analisis granulométrico de calicata N°01	64
Tabla 22: Resultados analisis granulométrico de calicata N° 02.....	65
Tabla 23: Resultados gravedad específica de calicata N° 01.....	67
Tabla 24: Resultados gravedad específica de calicata N° 02.....	68
Tabla 25: Resultados contenido de sales solubles totales calicata N°01	69
Tabla 26: Resultados contenido de sales solubles totales calicata N° 02.....	70
Tabla 27: Resultados de corte directo en calicata N°01.....	71
Tabla 28: Resultados de corte directo en calicata N°02.....	72
Tabla 29: Tipo de Cultivos y áreas de Cultivo	74
Tabla 30: Calendario de Cultivo – Sector Jatanca.....	75
Tabla 31: Coeficientes de Cultivo - Sector Jatanca	77
Tabla 32: Valor de la Evapotranspiración - Mes - Sector Jatanca	79
Tabla 33: Determinación de la Eficiencia de Conducción y de Infiltración por tramo – Con Proyecto.....	81

Tabla 34: Cálculo de la Demanda de Agua	83
Tabla 35: Cálculo de la Demanda de Agua Mensual.....	84
Tabla 36: Valores de Peso Específico y Viscosidad Cinemática.	89
Tabla 37: Canal Alimentador	92
Tabla 38: Canal de Derivación.....	93
Tabla 39: Factor de Fricción.....	96

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Realidad Problemática

Durante la evolución de la humanidad, ha sido importante asegurar el abastecimiento de agua dulce para lograr una estabilidad social dentro de las culturas y civilizaciones. La agricultura es la fuente primordial para el suministro de alimentos en todo el mundo; la cual depende del agua de las lluvias en un porcentaje mayor. La humanidad ha utilizado de forma prioritaria sus recursos hídricos para el riego. En siglo XX se ha registrado el uso del agua dulce con mayor frecuencia en el sector doméstico y en el sector industrial, pero el mayor uso es por parte de la agricultura.

A lo largo de la historia los seres humanos han aprovechado el agua como fuente para usos diversos y de todo tipo. Específicamente la ingeniería hidráulica, ha servido para aprovechar los recursos hídricos y proponer medidas de protección que ayudara contra inundaciones, tormentas, procesos contaminantes, entre otros.

Conforme la población va creciendo, el uso de los recursos hidráulicos experimenta mayor demanda y aumenta el aprovechamiento de las aguas superficiales y de las zonas cercanas a los cauces. Se registra cada vez un mayor número de asentamientos en las riberas de los ríos, lo que ha provocado que los daños ocasionados por las crecidas hayan aumentado.

El diseño de un sistema de riego y drenaje lleva implícito el diseño de un conjunto de obras de arte, mediante las cuales se efectúa la captación, conducción, distribución, aplicación y evacuación del agua, para proporcionar la humedad de una manera adecuada y controlada, que requieren los cultivos para su desarrollo.

En 2017, el Perú se vio gravemente afectado por el fenómeno costero de El Niño, desencadenado por temperaturas oceánicas inusualmente altas a lo largo de las costas del norte del Pacífico

Sur. Las intensas lluvias acontecidas fueron las principales causantes de ocurrencia de diversos desastres tales como inundaciones, deslizamientos y desbordes que afectaron la infraestructura de riego y vial, como viviendas e infraestructura productiva (por erosión, o colmatación y daños en sistemas de captación y conducción).

La presente investigación tendrá como zona de estudio el canal San Pedro, el cual no se encuentra revestido, por lo que existe filtración de agua a lo largo de su trayectoria en aproximadamente 3, 500.00 ml. Producto de la crecida del río Jequetepeque durante el fenómeno del niño costero daño la morfología del canal, este evento provocó que el canal disminuya considerablemente su capacidad de conducción, perjudicando el abastecimiento de agua en las zonas de riego. Es así como nace el interés de realizar el diseño y simulación hidráulica del canal San Pedro y como también la rehabilitación de sus obras de arte, como tomas laterales, alcantarillas y partidores.

1.1.2. Formulación de problema

¿De qué manera se podrá realizar el diseño del canal San Pedro, sector Jatanca, distrito de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo, departamento de la Libertad?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar canal de riego San Pedro, sector Jatanca, distrito de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo, departamento de la Libertad.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características del terreno en el área de estudio mediante un levantamiento topográfico en aproximadamente 3,500.00 ml.

- Determinar características físico-mecánicas del terreno, identificando el material del canal de tierra mediante el estudio de mecánica de suelos.
- Realizar aforos del canal para determinar el caudal de conducción existente.
- Evaluar y determinar el canal de demanda, en función al área de riego y cultivos de la zona.
- Realizar el modelamiento y simulación hidráulica del canal y obras de arte: Caída inclinada, caída vertical, fosas disipadoras, transiciones y rápidas.

1.3. Justificación del estudio

La presente investigación se justifica teóricamente por el estudio y aplicación de métodos Topográficos e Hidrológicos; que nos proporcionará los elementos necesarios para el diseño del canal de riego San Pedro, sector Jatanca, distrito de San Pedro de Lloc.

Se justifica técnicamente por el uso de programas para el diseño; tales como Civil 3D, plantillas de cálculo de Excel y Hec-RAS. El cual nos permitirá obtener el cálculo y diseño óptimo para el canal de riego San Pedro.

Además, se justifica socialmente porque beneficiará a 66 familias que utilizan el agua, para sus actividades agrícolas como: el cultivo de maíz, frutales y arroz; en un total de 175.20 hectáreas.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedente Internacional

Moya, R. y Álvarez, W.(2018) En su tesis titulada “Modelación Hidráulica de un canal urbano en la ciudad de Bogotá, caso de estudio: canal de río Negro”. Los autores marcaron como objetivo principal modelar el canal urbano con la finalidad de obtener los caudales y los niveles máximos que generan desbordamientos para la evaluación de inundación en su zona de influencia. Los autores obtuvieron como conclusión que con

caudales menores a 8 m³/s, un tramo del canal presenta mayor deficiencia, generando desbordamientos y daños en la zona. Por tanto, los aportes que realizó esta tesis a nuestro proyecto fueron los métodos utilizados para identificar los caudales de desbordamiento en cada tramo.

Bravo (2016) en su investigación denominada “Diseño Y Construcción de un Canal Hidráulico con Vertedero Lateral para el Laboratorio de Hidráulica” plantea realizar un diseño y ejecución de un conducto hidráulico para el departamento de obras civiles como laboratorio.

La actual investigación tiene como objetivo el diseño, la planificación, la ejecución y la operatividad del moderno canal de manera macro y de forma puntual se concentra en el diseño, ejecución y operatividad del vertedero lateral del canal. Incluyendo en su totalidad las fases de un proyecto de ingeniería civil, en donde los profesionales calificados pueden desempeñarse, teniendo un campo de acción menor en algunos aspectos comprendiendo con las actividades generales en distintos proyectos. El desarrollo de la presente investigación comprometió una evaluación económica, teniendo como respaldo el financiamiento liderado por el Departamento de Obras Civiles. Para ello se tuvo que presentar un esquema del proyecto, para continuamente armar un presupuesto aproximado, para que así se pueda evidenciar la aceptación económica de la ejecución de este proyecto.

En los diseños del canal se estipuló usar acrílico con un largo de 4 metros, teniendo una sección hidráulica de 0.15 metros de base por 0.25 metros de altura. Además se incorporó una bomba hidráulica con la capacidad de impulsar al canal un caudal que va desde los 0.5 L/s hasta los 10 L/s. Adicionando un mecanismo de cambio de pendiente, teniendo una variación de pendiente que va desde -0.5% hasta un 5%. Se desarrollaron 14 partes con capacidad de tener una función independiente como vertederos

laterales en el conducto. Se presentaron propuestas con dimensiones diferentes, tales como largo: 0.30, 0.40, 0.50 y 0.60 metros y alturas de vertederos: 0.03, 0.06, 0.10, 0.15 metros aproximadamente. Como se menciona, la estructura principal del conducto fue hecha de acrílico, sin embargo fue necesario incluir como soportes perfiles de acero, el armado de tuberías y algunos puntos adicionales para un correcto funcionamiento del sistema. El funcionamiento del canal incluyendo el vertedero sirvió para demostrar dos ecuaciones empíricas con la certeza de obtener el coeficiente de descarga del vertedero lateral del conducto.

Al final, se armó un manual de laboratorio que servirá para que los estudiantes o investigadores puedan experimentar con comportamientos certeros del agua. Así tener datos vigentes de los fenómenos encontrados con vertederos laterales. Además podrán evidenciar, en caso de cambios de pendientes, o caudales máximos como se desempeña un canal hidráulico y como encontrar nuevas propuestas en este campo.

2.1.2. Antecedente Nacional

Santisteban, E. (2019) En su investigación denominada “Diseño hidráulico del canal L-02 Huabal, en el distrito de Mórrope, Lambayeque”. El autor se marcó como objetivo principal realizar el diseño hidráulico del canal L-02 Huabal para determinar si el proyecto cumple con los parámetros que establece la Autoridad Nacional del Agua (ANA). El autor llegó a la conclusión que existen estructuras en mal estado, lo que conlleva a no poder regular adecuadamente el volumen de entrega. Por tanto, el aporte que realizó esta investigación a nuestro proyecto es la aplicación de los parámetros que establece la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para el diseño del canal en estudio.

Goicochea, N. y Reyes, C. (2018) En su tesis titulada “Diseño del canal Romero – distrito de Motupe – provincia de Lambayeque”. Los autores se marcaron como objetivo principal

mejorar el servicio de agua para riego, para aumentar la producción agrícola en el sector Tongorrape – Motupe. Los autores llegaron a la conclusión que después de realizar los estudios topográficos, estudios de suelo y estudios hidrológicos se diseñó el un canal revestido, el cual mejoro el servicio de agua para riego en el sector e incremento la producción agrícola. Por lo tanto, el aporte que realizo esta investigación a nuestro proyecto son los métodos o estudios que se deben hacer para poder diseñar y simular el canal en estudio.

2.1.3. Antecedente Local

Costa, J. (2018) En su investigación titulada “Diseño de la infraestructura del canal de riego Pampas de Jahuey – caserío Pampas de Jahuey – distrito de Ascope – provincia de Ascope – departamento La Libertad”. El autor se marcó como objetivo principal determinar las características técnicas y la correcta metodología constructiva para reemplazar la demanda de la población. La conclusión al que llego el autor fue al determinar las características técnicas, se logró diseñar las obras de artes que contiene el canal y ver cuáles fueron los impactos que genero el diseño. Por lo tanto, el aporte que realizo esta investigación a nuestro proyecto son las características técnicas que deben presentar las obras de arte para el diseño del canal.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Canales hidráulicos

2.2.1.1. Definición de Canales

Son las vías por las cuales el agua se transporta gracias a la gravedad y sin presencia de una presión, esta afirmación se da ya que la zona libre del líquido está expuesta al contacto de nuestra atmosfera. (Villón, 1995)

2.2.1.2. Clasificación de Canales

2.2.1.2.1. Por su origen

- A. **Canales Naturales:** Conductos conformados de manera natural en la Tierra, por donde el agua se transporta. De dimensiones variables que van desde riachuelos hasta una quebrada.(Rodríguez, 2008)

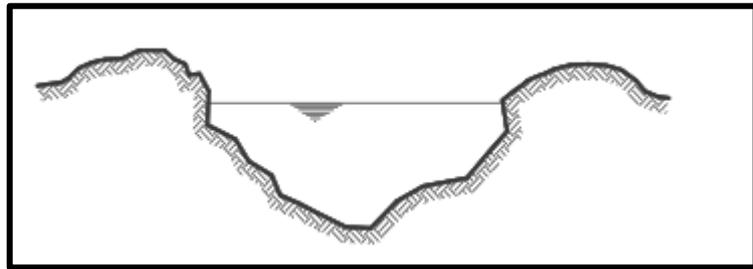


Figura 1. Sección transversal irregular

Fuente: Rodríguez, 2008

- B. **Canales artificiales:** Estructuras construidas por la mano del hombre, que son con características previamente analizadas. Teniendo una sección típica y dándole una pendiente constante.(Rodríguez, 2008)

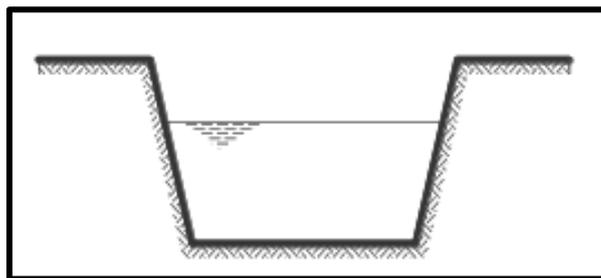


Figura 2. Sección transversal de una canal artificial

Fuente: Rodríguez, 2008

2.2.1.2.2. Por su función

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010; los canales por su función se clasifican en:

- A. Canal de 1er orden:** Este tipo de canal es el de mayores dimensiones, conocido también como canal de derivación o canal maestro. Es diseñado con una pendiente mínima y suele tener una sola dirección por el alto caudal transportado.
- B. Canal de 2do orden:** También denominados como canales laterales. Tienen origen a partir del canal de derivación. El caudal que transporta es compartido con sub ramales. El agua que reparten estos canales hacia los terrenos de cultivo, se denomina unidades de riego.
- C. Canal de 3er orden:** Estos canales se les denomina sub laterales, al nacer de los canales laterales. El agua que reparten estos canales lo hacen a través de tomas del solar. El área de impacto de riego de estos canales se llaman unidad de rotación.

2.2.1.3. Secciones transversales más frecuentes.

Según Villón, (1995) las comunes son las siguientes:

2.2.1.3.1. Secciones trapezoidales

Se plantea en su mayoría en canales de tierra y en canales revestidos de concreto.

2.2.1.3.2. Secciones rectangulares

Estas secciones son empleadas en terrenos rocosos, acueductos fabricados a base de madera, y canales revestidos.

2.2.1.3.3. Secciones triangulares

En su mayoría estas secciones son utilizadas en cunetas en carreteras, canales de tierra pequeños

ya que tiene un proceso de ejecución poco complejo.

2.2.1.3.4. Secciones parabólicas

Es el tipo de sección que la mayoría de canales naturales toman por efecto de la trayectoria del agua, en algunas ocasiones puede ser empleado para canales revestidos.

Presentamos los elementos geométricos de una sección trapezoidal:

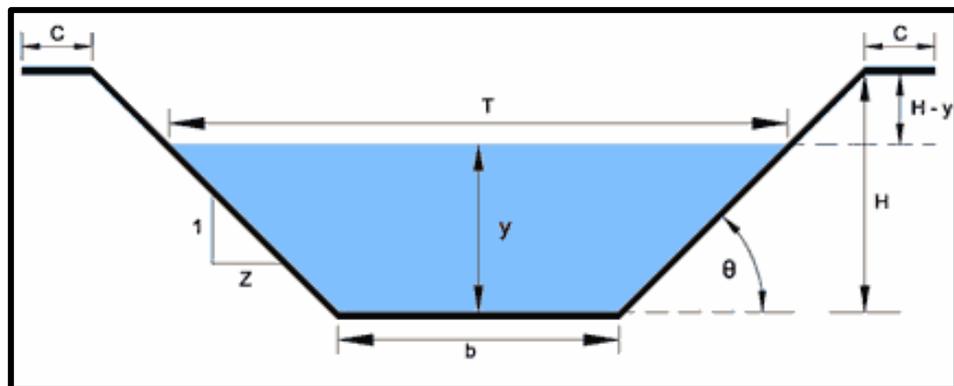


Figura 3. Elementos geométricos de una sección transversal.

Fuente: Villón, 1995

Donde:

y = Tirante de agua. Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre, es decir la profundidad máxima del agua en el canal.

b = Ancho de la solera, ancho de plantilla, es el ancho de la base de un canal.

T = Espejo de agua, es el ancho de la superficie libre del agua.

C = Ancho de corona.

H = Profundidad total del canal.

H - y = Borde libre.

θ = Ángulo de inclinación de las paredes laterales con la horizontal.

Z = Talud, es la relación de la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral (se llama también talud de las paredes laterales del canal). Es decir, Z es el valor de la proyección horizontal cuando la vertical es 1. Aplicando relaciones trigonométricas, se tiene: $Z = \text{ctg}\theta$.

Según Rodríguez (2008):

A = Área hidráulica, es la superficie ocupada por el líquido en una sección transversal normal cualquiera, se expresa en m^2 .

P = Perímetro mojado, la longitud de la línea de contorno del área mojada entre el agua y las paredes del canal, expresado en m .

R = Radio hidráulico, es la dimensión característica de la sección transversal, hace las funciones del diámetro en tuberías, se obtiene de la siguiente relación:

$$R = \frac{A}{P}$$

ym = Tirante medio, es la relación entre el área hidráulica y el espejo de agua.

$$ym = \frac{A}{T}$$

2.2.1.4. Tipos de flujos en canales abiertos.

La clasificación del flujo en un canal depende de la variable de referencia que se tome. (Villón, 1995).

2.2.1.4.1. Flujos permanentes y no permanentes.

Es llamado así al flujo que su profundidad no cambia o es permanente, o se mantiene constante en un periodo de tiempo considerado. Por lo contrario, si la

profundidad cambia es un flujo no permanente. (H. French, 1988)

Para considerar un flujo permanente podemos decir además que algunos parámetros como la velocidad, el tirante, el área, etc., no deben cambiar respecto a un periodo de tiempo, es constante siempre. Por lo contrario, en caso estos parámetros sean variables se denominará flujo no permanente. (Villón, 1995).

En su mayoría los problemas que presentan los canales abiertos son estudiados con flujos de parámetros permanentes. No obstante, si el flujo tiene una alteración en sus parámetros en un periodo de tiempo importante, el flujo será analizado como flujo no permanente. (Te Chow, 1994).

2.2.1.4.2. Flujo uniforme y variado

A. Flujo uniforme: En este tipo de clasificación tomamos en consideración el espacio como variable, decimos que es uniforme si tenemos parámetros como velocidad, área, tirante, etc., que no cambiaran en referencia al espacio, en todas las secciones del canal los elementos del flujo se mantienen constantes. (Villón, 1995)

Según Te Chow (1994), los flujos uniformes se pueden considerar no permanentes o permanentes en caso exista o no variación en la profundidad con relación a un periodo de tiempo:

Un flujo no permanente amerita que el espejo de agua tenga una fluctuación en un periodo de tiempo, pero manteniéndose paralela al fondo de la sección, se puede decir que este fenómeno es imposible.

Un flujo uniforme permanente es el flujo que se busca diseñar en la hidráulica de los canales

abiertos, quiere decir que la profundidad del flujo no presentará una variación durante un periodo de tiempo determinado.

Según Te Chow (1994), los flujos uniformes mantienen características fundamentales como el área mojada, la constancia del caudal en todas las secciones, la línea de energía, la profundidad, la velocidad, el espejo de agua y fondo de canal son paralelos, quiere decir que tienen pendientes iguales.

Llamando:

SE = pendiente de la línea de energía

Sw = pendiente de la superficie libre del agua

SO = pendiente del fondo del canal

Se tiene: $SE = Sw = SO = S$

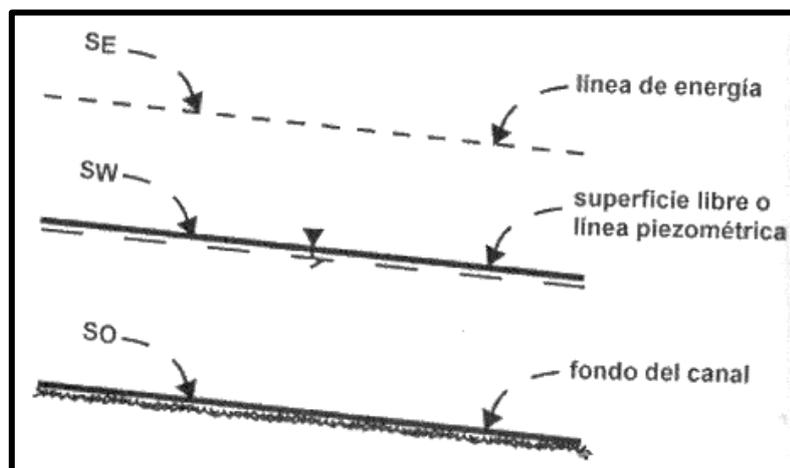


Figura 4. Pendientes: línea de energía, línea piezométrica y fondo de canal.

Fuente: Villón, 1995

Una de las condiciones para que se desarrolle un flujo uniforme en un canal, es que la pendiente sea pequeña, por lo que los tirantes normales se toman iguales a los verticales. (Villón, 1995).

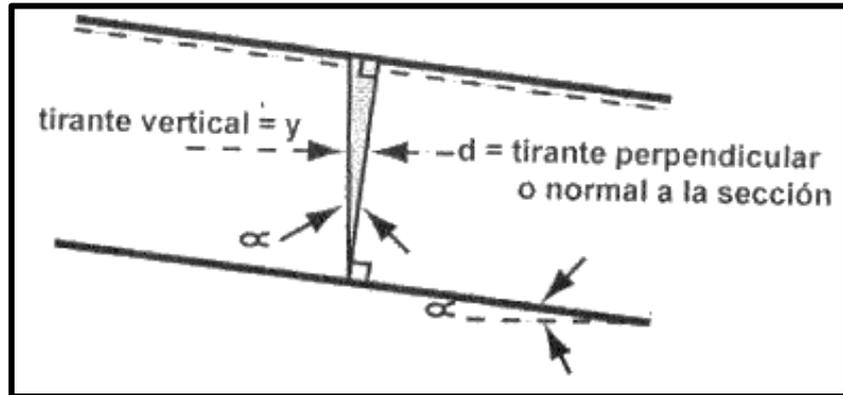


Figura 5. Tirante vertical y normal (perpendicular a la sección)

Fuente: Villón, 1995

De la figura 5, se tiene:

$$\cos \alpha = \frac{d}{y} \rightarrow y = d / \cos \alpha$$

Si α es pequeño, entonces, $\cos \alpha \approx 1$, luego: $y = d$

Para propósitos prácticos, el requerimiento de una velocidad constante puede interpretarse libremente como el requerimiento de que el flujo posea una velocidad media constante. Sin embargo, en rigor, esto significaría que el flujo posee una velocidad constante en cada punto de la sección del canal dentro del tramo del flujo uniforme. En otras palabras, la distribución de velocidades a través de la sección del canal no se altera dentro del tramo. Se considera que el flujo uniforme es sólo permanente, debido a que el flujo uniforme no permanente prácticamente no existe. (Te Chow, 1994).

B. Flujo variado. Si se encuentra una variación de profundidad de flujo en todo el trayecto del canal. (Te Chow, 1994).

Según Villón (1995), los flujos variados tienen a su vez una clasificación de flujo rápidamente variado y gradual:

El flujo rápidamente variado tiene una variación de parámetros en un tramo pequeño del canal, mientras el flujo gradualmente variado tiene una variación escalonada a lo largo de todo el tramo del canal en estudio.

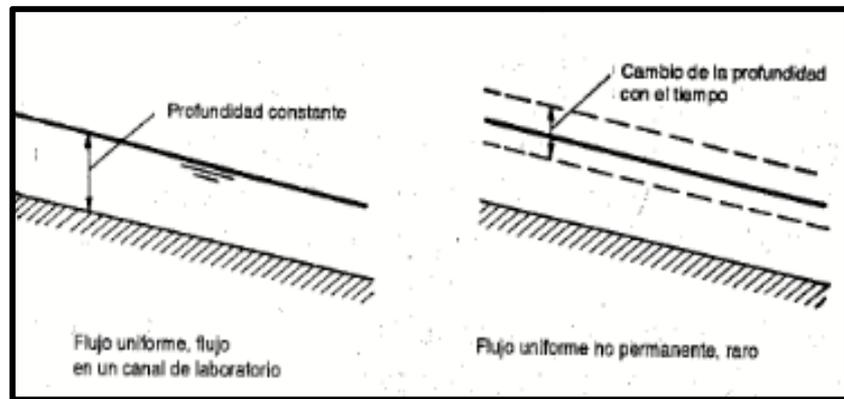


Figura 6. Flujo en canales abiertos y su clasificación

Fuente: Te Chow, 1994

2.2.1.4.3. Flujo laminar y turbulento

En canales abiertos el comportamiento de estos está generalmente relacionado a la presencia de la gravedad y viscosidad en relación a las reacciones de inercia que presenta el flujo. (Te Chow, 1994)

Según Villón, (1995), al realizarse estudios en laboratorio se ha comprobado que los canales y tuberías tienen flujos similares. Teniendo esta consideración por criterios prácticos podemos decir en caso de los canales las siguientes acotaciones:

- A. Flujos laminares para $Re < 580$** , cuando las fuerzas de inercia se presentan en menor proporción que las fuerzas viscosas.
- B. Flujos de transiciones para $580 \leq Re \leq 750$** , cuando existe una combinación entre turbulento y laminar.
- C. Flujos turbulentos para $Re > 750$** , cuando se considera que las fuerzas de inercia son más fuertes que las fuerzas viscosas.

Tenemos que la fuerza viscosa será medida por medio del número de Reynolds (Re), las cuales crean un enlace entre fuerzas de viscosidad y fuerzas de inercia, las cuales se definen de la siguiente forma:

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

Donde:

R = Radio hidráulico de la sección transversal, en metros (m).

v = Velocidad media, en metros por segundo (m/s).

ν = Viscosidad cinemática del agua, en (m²/s).

2.2.1.4.4. Flujo crítico, subcrítico y supercrítico

Haciendo mención al efecto de la gravedad, tenemos que la forma correcta de medir esta fuerza es mediante el número de Froude (F) que mantiene una relación entre fuerzas gravitatorias y fuerzas de inercia de velocidad. (Villón, 1995).

$$F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

Donde:

v = Velocidad media de la sección, en m/s.

g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

L = Longitud característica de la sección, en m.
(Villón, 1995)

Para Villón (1995). En los canales, la longitud característica viene dada por la magnitud de la profundidad media o tirante medio $\bar{y} = A/T$, como cual se tiene:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g\bar{y}}}$$

Según Villón (1995), tomando en cuenta el número de Froude, el flujo deberá ser:

- A. Flujos sub-críticos** ($F < 1$), la fuerza de la gravedad será dominante en este caso, se evidencia baja velocidad en el flujo, teniendo un comportamiento calmado y lento. En caso exista alguna alteración, la zona afectada será aguas arriba.
- B. Flujos críticos** ($F = 1$), presenciamos que existe un equilibrio entre la fuerza de gravedad y la de inercia.
- C. Flujos supercríticos** ($F > 1$), las fuerzas de inercia se encuentran más pronunciadas, entonces la velocidad aumentará en el flujo, presentándose torrencioso y rápido. En caso exista alguna alteración, la zona afectada será aguas abajo.

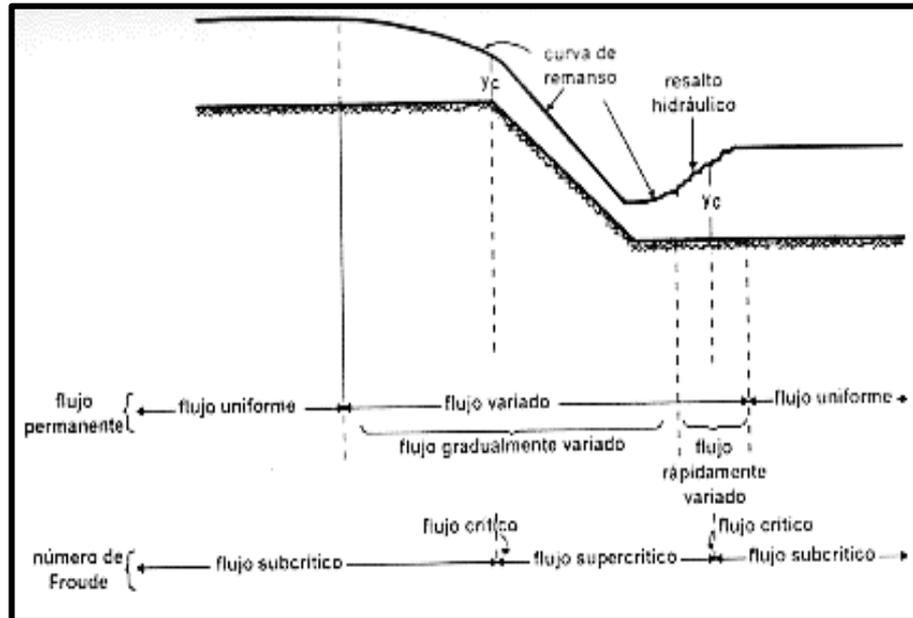


Figura 7. Tipo de flujos en canales abiertos

Fuente: Villón, 1995

2.2.1.5. Ecuaciones Fundamentales de la Hidráulica

2.2.1.5.1. Ecuación de Continuidad.

Según Villón (1995), el caudal Q , o el volumen de fluido que circula por una sección en la unidad de tiempo, que está dado por:

$$Q = V \cdot A$$

Donde tenemos que la sección normal al flujo tiene como velocidad representada con la letra V y de área transversal la letra A , como se muestra en la figura 8.

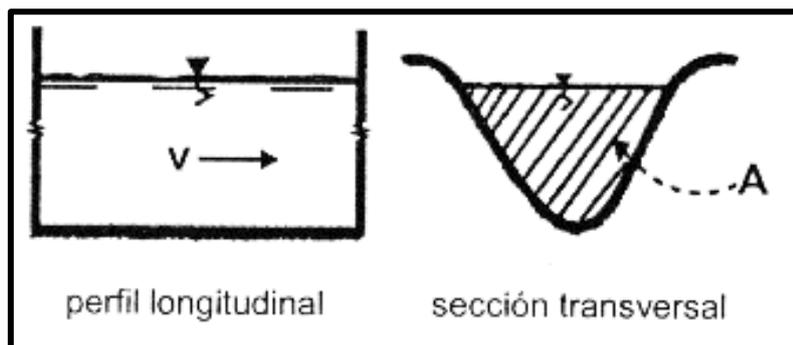


Figura 8. Tipo de flujos en canales abiertos

Fuente: Villón, 1995

Si en un tramo el caudal permanece constante, la ecuación que representa el flujo, desde el punto de vista de la conservación de la masa se llama ecuación de continuidad. Esta ecuación aplicada a las secciones 1, 2, 3, ..., n se puede escribir:

$$V_1A_1 = V_2A_2 = \dots = V_nA_n = ct$$

2.2.1.5.2. Ecuación de Bernoulli o Ecuación de la Energía.

Para (Villón, 1995), en cualquier línea de corriente que atraviesa una sección de un canal, se diseña como energía total a la suma de las energías de posición, más la de presión y más la de velocidad, es decir:

Energía total = Energía de posición + Energía de presión + Energía de velocidad.

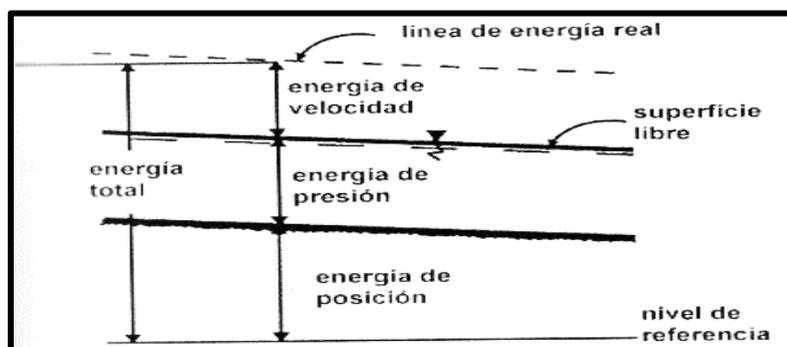


Figura 9. Sección de un canal y su energía total

Fuente: Villón, 1995

Según Villón (1995), la energía total es representada mediante la unidad de peso, así se logra obtener la forma más elemental de la ecuación de Bernoulli, como la presentamos a continuación:

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} = cte.$$

$$E = Z + y + \alpha \frac{V^2}{2g} = cte.$$

Donde:

E = energía total en la sección

Z = energía posición o elevación

y = tirante en la sección

v = velocidad media que lleva el flujo en esa sección

α = coeficiente de Coriolis para la sección

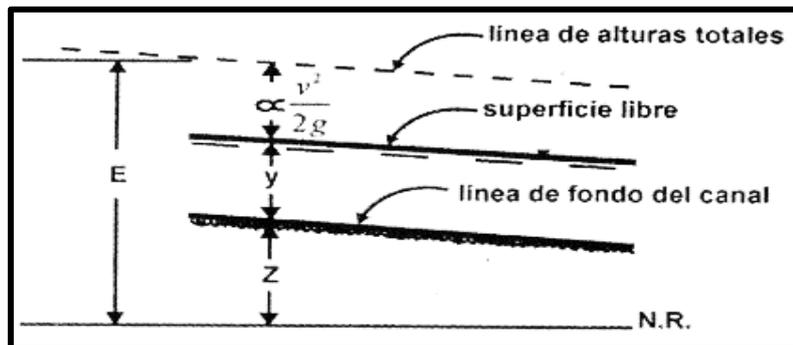


Figura 10. Elementos de la energía por unidad de peso

Fuente: Villón, 1995

Según Villón (1995), como la energía por unidad de peso [m – kg/kg] se expresa en unidades de longitud, entonces los elementos de:

$$E = Z + y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Se expresa de la siguiente forma:

E = altura total de energía

Z = altura de posición

y = altura de presión

$\alpha \frac{V^2}{2g}$ = altura de velocidad

Siendo:

$P = Z + y =$ la altura piezométrica

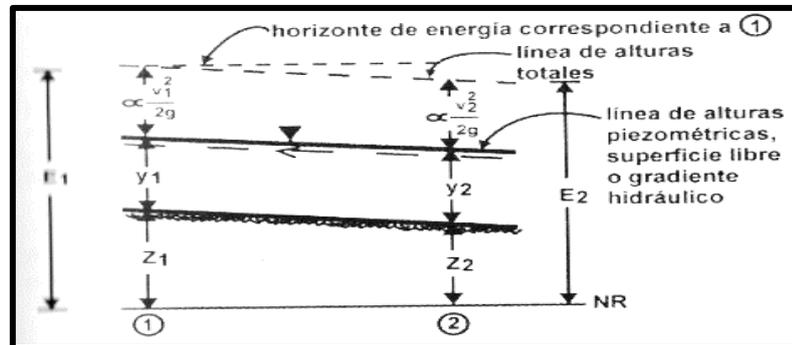


Figura 11. Líneas piezométricas, horizonte de energía y alturas totales

Fuente: Villón, 1995

La energía "E" en 01 será idéntica a la energía 02, en caso sea un fluido ideal.

Si hablamos de un flujo real, se hará presente una ausencia de energía 1 y 2. No se pierde energía en este proceso, si no que se transforma en calor gracias a la fricción presentada.

Se concluye según Villón (1995), que podemos representar la ecuación de la energía para el tramo 1 y 2 como se muestra en la figura 10:

$$Z_1 + y_1 + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}}$$

O bien:

$$E_1 = E_2 + h_{f_{1-2}}$$

Donde: $h_{f_{1-2}}$ es la disipación de energía entre las secciones 1 y 2.

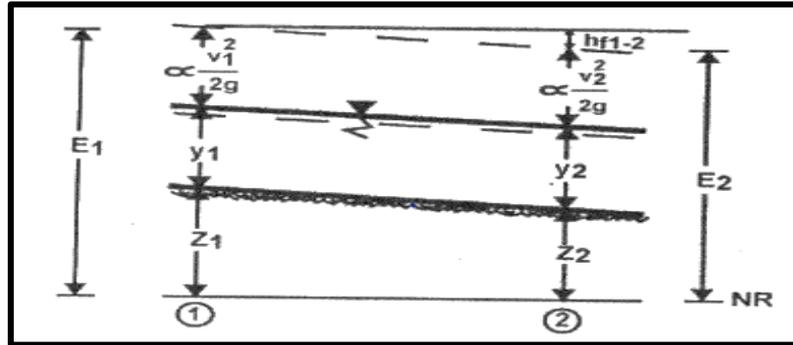


Figura 12. Energía en las secciones 1 y 2

Fuente: Villón, 1995

Según Villón (1995), tenemos que el coeficiente de Coriolis “ α ” que se presenta en la forma de la energía cinética $\alpha \frac{v^2}{2g}$, nos indica una relación para una sección típica, entre energía realista y una energía obtenida gracias a la distribución constante de velocidades. Siendo calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{\int v^3_h dA}{v^3 A}$$

Donde:

V_h = componente vertical de velocidad a una profundidad h

dA = diferencial de área correspondiente a la velocidad V_h

v = velocidad media

A = área total

Según (Villón, 1995), luego de realizar experimentos de prueba obtenemos coeficientes “ α ” que varían entre 1.03 y 1.06 en canales prismáticos (canales con pendiente constante y sección transversal).

La presencia del coeficiente de Coriolis α , dependerá del detalle requerido en los cálculos, existiendo muchas ocasiones en donde amerita considerar $\alpha = 1$, teniendo como expresión la siguiente ecuación:

$$Z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}}$$

$$Z_1 + y_1 + hv_1 = Z_2 + y_2 + hv_2 + h_{f_{1-2}}$$

Donde:

$$hv = \frac{v^2}{2g} \text{ (carga de velocidad)}$$

2.2.1.6. Diseño de Canales

2.2.1.6.1. Radios Mínimos

Según ANA (2010), debemos tener consideraciones al realizar un diseño de un canal. Es así que al presentarse un cambio de dirección brusco se debe incluir una curva, cuyas características no deben ser exageradas y deben escogerse parámetros mínimos ya que al diseñar curvas con radios superiores a los establecidos como mínimos no habrá ahorro de energía. Si bien es cierto hidráulicamente será eficiente pero el costo de la ejecución se elevará al tener más longitud en las progresivas.

Tabla 01: *Radio mínimo en función al canal*

Capacidad del canal	Radio mínimo
Hasta 10 m ³ /s	3 * ancho de la base
De 10 a 14 m ³ /s	4 * ancho de la base
De 14 a 17 m ³ /s	5 * ancho de la base
De 17 a 20 m ³ /s	6 * ancho de la base
De 20 m ³ /s a mayor	7 * ancho de la base

Los radios mínimos deben ser redondeados hasta el próximo metro superior.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

Tabla 02: *Radio mínimo en canales abiertos para Q < 20 m³/s*

Capacidad de canal	Radio mínimo
20 m ³ /s	100 m
15 m ³ /s	80 m
10 m ³ /s	60 m
5 m ³ /s	20 m
1 m ³ /s	10 m
0.5 m ³ /s	5 m

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

Tabla 03: Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua.

Canal de riego		Canal de drenaje	
Tipo	Radio	Tipo	Radio
Sub – canal	4T	Colector principal	5T
Lateral	3T	Colector	5T
Sub – lateral	3T	Sub - colector	5T

Siendo T el ancho superior del espejo de agua

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

2.2.1.6.2. Elementos de una Curva.

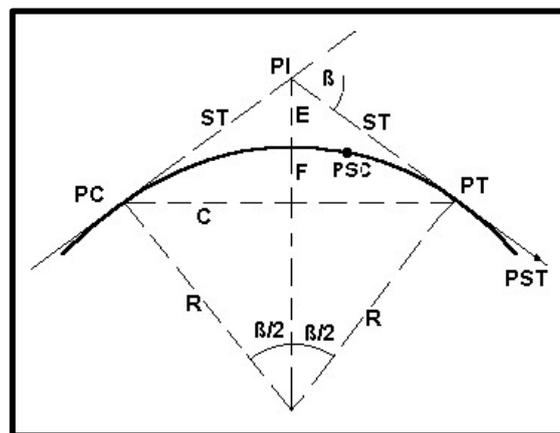


Figura 13. Elementos de una curva en canales.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

Tabla 04: Elementos de una curva

ITEM	DESCRIPCIÓN
A	= Arco, es la longitud de curva medida en cuerdas de 20 m
C	= Cuerda larga, es la cuerda que sub – tiende la curva desde PC hasta PT.
β	= Angulo de deflexión, formado en el PI.
E	= External, es la distancia de PI a la curva medida en la bisectriz.

F	= Flecha, es la longitud de la perpendicular bajada del punto medio de la curva a la cuerda larga.
G	= Grado, es el ángulo central.
LC	= Longitud de curva que une PC con PT.
PC	= Principio de una curva.
PI	= Punto de inflexión.
PT	= Punto de tangente.
PSC	= Punto sobre curva.
PST	= Punto sobre tangente.
R	= Radio de la curva.
ST	= Sub tangente, distancia del PC al PI.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

2.2.1.6.3. Rasante de un canal

Según ANA (2010), para el diseño de la rasante se debe tener en cuenta:

- La rasante se debe trabajar sobre la base de una copia del perfil longitudinal del trazo.
- Tener en cuenta los puntos de captación cuando se trate de un canal de riego y los puntos de confluencia si es un dren u otra obra de arte.
- Para definir la rasante del fondo se prueba con el caudal especificado y diferentes cajas hidráulicas, chequeando la velocidad obtenida en relación con el tipo de revestimiento a proyectar.
- El plano final del perfil longitudinal de un canal debe presentar como mínimo la siguiente información.

- ✓ Kilometraje
- ✓ Cota de terreno
- ✓ BMs (cada 500 o 1000m)
- ✓ Cota de rasante
- ✓ Pendiente

- ✓ Indicación de las deflexiones del trazo con los elementos de curva
- ✓ Ubicación de las obras de arte
- ✓ Sección o secciones hidráulicas del canal, indicando su kilometraje
- ✓ Tipo de suelo
- ✓ Cuadro con elementos geométricos e hidráulicos del diseño

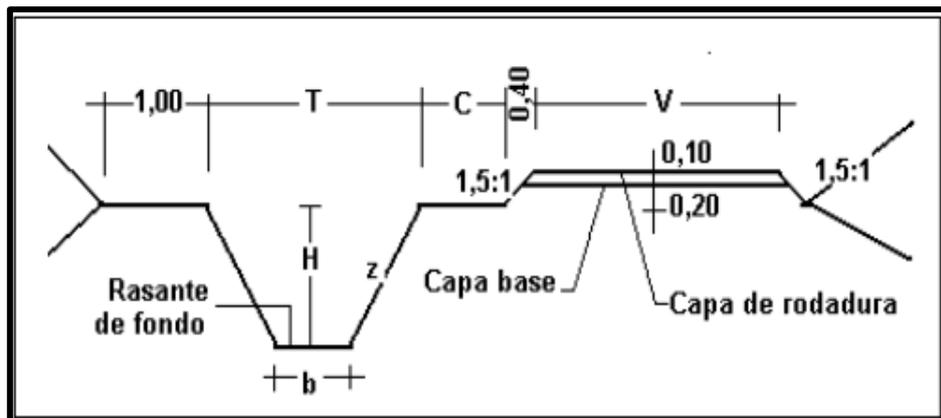


Figura 14. Sección típica de un canal

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

Donde:

T = Ancho superior del canal

b = Plantilla

z = Valor horizontal de la inclinación del talud

C = Berma del camino, puede ser de 0,5; 0,75; 1,00 m, según el canal sea de tercer, segundo o primer orden respectivamente.

V = Ancho del camino de vigilancia, puede ser: 3; 4 y 6 m, según el canal sea de tercer, segundo o primer orden respectivamente.

H = Altura de caja o profundidad de rasante del canal.

En algunos casos el camino de vigilancia puede ir en ambos márgenes, según las necesidades del canal, igualmente la capa de rodadura de 0,10 m. a veces

no será necesaria, dependiendo de la intensidad del tráfico.

2.2.1.6.4. Sección Hidráulica Optima

A. Determinación de Máxima Eficiencia Hidráulica

Un canal lleva el termino de máxima eficiencia hidráulica, si para una pendiente y área equitativa lleva un caudal máximo posible, lo anterior mencionado se toma en cuenta siempre y cuando se tenga un perímetro húmedo mínimo, así se concluye en una ecuación que nos permite obtener la sección máxima de eficiencia hidráulica:

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

Siendo θ el ángulo que forma el talud con la horizontal, $\arctn(1/z)$, b plantilla del canal y tirante o altura del agua. (ANA, 2010).

2.2.1.6.5. Diseño de secciones hidráulica

Se debe tener en cuenta ciertos factores, tales como: tipo de material del cuerpo del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal, taludes, etc. Las ecuaciones más utilizadas es la de Manning o Strickler, y su expresión es:

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

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

n = Rugosidad

A = Área (m²)

R = Radio hidráulico = Área de la sección húmeda / Perímetro húmedo. (ANA, 2010).

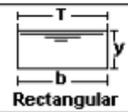
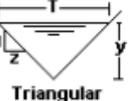
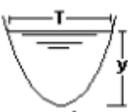
Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$2/3 Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 15. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

A. Criterios de Diseño

Se tienen diferentes factores que se consideran en el diseño de canales, los cuales tendrán en cuenta: el caudal a conducir, factores geométricos e hidráulicos de la sección, materiales de revestimiento, la topografía existente, la geología y geotecnia de la zona, los materiales disponibles en la zona o en el mercado más cercanos, costos de materiales, disponibilidad de mano de obra calificada, tecnología actual, optimización económica, socioeconómica de los beneficiarios, climatología, altitud, etc. Si tiene en cuenta todos estos factores, se llegará a una solución técnica y económica conveniente. (ANA, 2010).

a) Rugosidad. Esta depende del cauce y el talud, dado a las paredes laterales del mismo, vegetación, irregularidad y trazado del canal, radio hidráulico y obstrucciones en el canal, generalmente cuando se diseña canal de tierras se supone que el canal está recientemente abierto, limpio y con un trazo uniforme, sin embargo el valor de rugosidad inicialmente asumido difícilmente se conservará con el tiempo, lo que quiere decir que en la práctica constantemente se hará frente a un continuo cambio de la rugosidad.

En canales proyectados como revestimiento, la rugosidad es función del material usado, que puede ser de concreto, geo manta, o si van a trabajar a presión atmosférica o presurizados. (ANA, 2010).

Tabla 05: *Valores de rugosidad “n” de Manning*

n	Superficie
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre.
0.011	Concreto muy liso.
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado.
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones.
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación.
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo.
0.035	Canales naturales con abundancia vegetación.
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

b) Talud óptimo según el tipo de materia. Encontramos que en los canales existe una inclinación en las paredes, por distintos factores. Sin embargo, esto dependerá del tipo de terreno donde se encuentre, U.S.

BUREAU OF RECLMATION nos dice que debemos mantener un talud único de 1.5:1 para distintos canales. Presentamos un listado de taludes óptimos para diferentes tipos de suelo. (ANA, 2010).

Tabla 06: *Taludes apropiados para distintos de material*

MATERIAL	TALUD (h: v)
Roca	Prácticamente vertical
Suelos de turba y detritos	0.25:1
Arcilla compactada o tierra con recubrimiento de concreto	0.5:1 hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Arcilla firma o tierra en canales pequeños	1.5:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Grada arenoso arcilla porosa	3:1

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

Tabla 07: *Pendientes laterales en canales según tipo de suelo*

MATERIAL	CANALES POCO PROFUNDOS	CANALES PROFUNDOS
Roca en buenas condiciones	Vertical	0.25:1
Arcillas compactadas o conglomerados	0.5:1	1:1
Limos arcillosos	1:1	1.5:1
Limos arenosos	1.5:1	2:1
Arenas sueltas	2:1	3:1
Concreto	1:1	1.5:1

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

c) Velocidades máximas y mínimas permisible. La velocidad mínima permisible es aquella velocidad que no permite sedimentación, este valor es muy variable y no puede ser determinado con exactitud, cuando el agua fluye sin limo este valor carece de importancia, pero la baja velocidad favorece el crecimiento de las plantas, en canales de tierra. El valor de 0.8 m/seg se considera como la velocidad apropiada que no permite sedimentación y además impide el crecimiento de plantas en el canal. (ANA, 2010)

La velocidad máxima permisible, algo bastante complejo y generalmente se estima empleando la experiencia local o el juicio del ingeniero; las siguientes tablas nos dan valores sugeridos. (ANA, 2010)

Tabla 08: *Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación*

MATERIAL DE CAJA DEL CANAL	“n” Manning	VELOCIDAD (m/s)		
		Agua limpia	Agua con partículas coloidales	Agua transportando arena, grava o fragmentos
Arena fina coloidal	0.020	1.45	0.75	0.45
Franco arenosos no coloidal	0.020	0.53	0.75	0.60
Franco limoso no coloidal	0.020	0.60	0.90	0.60
Limos aluviales no coloidales	0.020	0.60	1.05	0.60

Franco consistente normal	0.020	0.75	1.05	0.68
Ceniza volcánica	0.020	0.75	1.05	0.60
Arcilla consistente muy coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Limo aluvial coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Pizarra y capas duras	0.025	1.80	1.80	1.50
Grava fina	0.020	0.75	1.50	1.13
Suelo franco clasificado no coloidal	0.030	1.13	1.50	0.90
Suelo franco clasificado coloidal	0.030	1.20	1.65	1.50
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.20	1.80	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.80	1.80	1.50

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

Para velocidades máximas, en general, los canales viejos soportan mayores velocidades que nuevos; además un canal profundo conducirá el agua a mayores velocidades sin erosión, que otros menos profundos. (ANA, 2010)

Tabla 09: *Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.*

RESISTENCIA (kg/cm ²)	PROFUNDIDAD DEL TIRANTE (m)				
	0.5	1	3	5	10
50	9.6	10.6	12.3	13.0	14.1
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4

100	12.7	13.8	16.0	17.0	18.3
150	14.0	15.6	18.0	19.1	20.6
200	15.6	17.3	20.0	21.2	22.9

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

La Tabla N° 9, da valores de velocidad admisibles altos, sin embargo, la U.S BUREAU OF RECLAMTION, recomienda que, para el caso de revestimiento de canales de hormigón no armado, las velocidades no deben exceder de 2.5 – 3.0 m/seg. Para evitar la posibilidad de que el revestimiento se levante. (ANA, 2010)

d) Borde Libre. Es el espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua, no existe ninguna regla fija que se pueda aceptar usualmente para el cálculo del borde libre, debido a que las fluctuaciones de la superficie del agua en un canal, se puede originar por causas incontrolables. (ANA, 2010)

Según ANA (2010), la U.S BUREAU RECLAMTION menciona que es recomendable calcular el borde libre con la siguiente formula:

$$\text{Borde Libre} = \sqrt{CY}$$

El borde libre representado en pies.

C = 1.5 en caso de caudales inferiores a 20 pies³/seg., y hasta 2.5 en caso caudales rodeen los 3000 pies³/seg.

Y = Tirante del canal en pies.

Según (ANA, 2010), La institución de Recursos Hidráulicos de MX, nos proporciona los datos en relación al caudal:

Tabla 10: Borde libre en función del caudal

Caudal m³/seg	Revestimiento (cm)	Sin revestir (cm)
≤ 0.05	7.5	10.0
0.05 – 0.25	10.0	20.0
0.25 – 0.50	20.0	40.0
0.50 – 1.00	25.0	50.0
>1.00	30.0	60.0

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010

Tabla 11: Borde libre en relación a la plantilla del canal

Ancho de la plantilla (m)	Borde libre (m)
Hasta 0.8	0.4
0.8 – 1.5	0.5
1.5 – 3.0	0.6
3.0 – 20.0	1.0

Fuente: Villón, 1995

2.2.1.6.6. Criterios de espesor de revestimiento

No existe una regla general para definir los espesores del revestimiento de concreto, sin embargo, según la experiencia acumulada en la construcción de canales en el país, se puede usar un espesor de 5 a 7.7 cm para canales pequeños y medianos, y 10 a 15 cm para canales medianos y grandes, siempre que estos se diseñen sin armadura.

En el caso particular que se quiera proyectar un revestimiento con geomembranas, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Para canales pequeños se debe usar geomembrana de PVC y para canales grandes geomembrana de polietileno – HDP.
- Los espesores de la geomembrana varían entre 1 a 1.5 mm
- Si el canal se ubica en zonas en donde puede ser vigilado permanentemente, por lo tanto, no puede ser afectada la membrana.
- Características y cuidado en la actividad de operación y mantenimiento.
- Técnica y cuidados de instalación de la geomembrana.
- El grupo social beneficiado tiene que ser capacitado para el manejo de dicho tipo de revestimiento.

También se puede usar asociada la geomembrana con un revestimiento de concreto; la geomembrana actúa como elemento impermeabilizante (el concreto se deteriora con las bajas temperaturas) y el concreto como elemento de protección, sobre todo cuando se trata de obras ubicadas por encima de los 4, 000 m.s.n.m. o zonas desoladas. (ANA, 2010).

2.2.2. Topografía

2.2.2.1. Definición

Ciencia aplicada encargada de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, las cuales podrán ser plasmadas en un plano de porción (limitada) de la superficie terrestre. Estudia los procedimientos y métodos para realizar mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada. Además, nos servirá para realizar trazos y replanteos sobre el terreno para la

realización de diversas obras de ingeniería, a partir de las condiciones del proyecto establecidas sobre un plano.

Para el desarrollo dentro de la topografía es necesario tener conocimientos previos de matemáticas, así como un adiestramiento sobre el manejo de instrumentos para hacer mediciones. Adicional a estos conocimientos previos, es fundamental llevar una preparación previa en materias como astronomía, cosmografía, geología y otras ciencias complementarias al tema.

La ciencia de la topografía está directamente relacionada con ciencias como geodesia y cartografía. Si hablamos de la geodesia, es la que se encarga de representar las dimensiones y forma de la Tierra; por otra parte, la cartografía representa gráficamente en un plano, carta o mapa parte o el total de la Tierra.

Realizando un comparativo de topografía y geodesia, podíamos decir que la metodología y post proceso de la información de la topografía se emplea en áreas de menor metraje, en donde se puede considerar que el área de estudio es plana en su totalidad, mientras que en la geodesia se toma en cuenta la curvatura de la tierra y su área de estudio es de mayor proporción como manzanas, pueblos, países, etc. (Alcántara, 2014)

2.2.2.2. Desarrollo de la topografía

La ciencia de la topografía es fundamental en los rubros de la ingeniería y arquitectura, tomando en cuenta que en otras áreas también se pueden emplear para obtención de información. Por lo que es indispensable tener conocimientos previos en campos como: física, geometría y trigonometría.

Algunos tipos de proyectos en donde vemos estudios de topografía son: canales hidráulicos, carreteras, puentes, líneas de alta tensión, obra de alcantarillado y agua potable, acueductos, puertos, aeropuertos, etc. (Fuentes, 2012)

Según Fuentes (2012) clasifica la topografía según las operaciones de toma de datos para representar las áreas de estudio.

- Planimetría: es el procedimiento por el cual nosotros obtenemos el posicionamiento de los vértices de un área de estudio, tomando en cuenta que se encuentra en una zona ligeramente plana horizontalmente.
- Altimetría: es la toma de datos que corresponde a la altura del terreno respecto al nivel medio del mar. En su mayoría esta altura es denominada en un término técnico como cota y es representada en metros.
- Agrimensura: es utilizada para realizar subdivisiones de terrenos o áreas de estudio con dimensiones superiores.

2.2.2.2.1. Levantamiento topográfico

En principio es necesario definir el levantamiento topográfico, que viene a ser el conjunto de técnicas y procedimientos operacionales en campo para determinar la ubicación y dimensiones de un predio en estudio, posteriormente a ello será representado en un plano.

Un levantamiento puede ser considerado de dos tipos topográfico y geodésico. El levantamiento topográfico se emplea en áreas con una extensión máxima de 30 km en un margen derecho e

izquierdo, además en los trabajos topográficos no se considera la curvatura de la tierra. Mientras que un levantamiento geodésico es empleado en extensiones masivas con dimensiones que pueden abarcar países enteros, por ello es necesario en este punto considerar la curvatura terrestre con la finalidad de obtener una mejor precisión. De esta forma la topografía al considerar que la forma de la tierra es un plano y no toma en cuenta la forma original de la tierra (elipsoide), los puntos o data obtenida de los trabajos realizados son representadas mediante coordenadas regulares planas representadas con las letras x, y, z(altura).

Al considerar que la superficie terrestre tiene una forma plana, se debe considerar un error necesariamente, si hablamos de una extensión aproximada de 20 km el error obtenido será de 1 centimetro en mayor dimensión que la cuerda subtendida y solo se obtiene un error de 1" (segundo) en una poligonal con un área aproximada de 190 km. Con esto podemos decir que si necesitamos obtener mediciones de un territorio como el de un país no se pueden tomar en cuenta las técnicas topográficas, tendríamos que emplear geodesia y tomar en cuenta todas las consideraciones del globo terráqueo. (Fuentes, 2012)

Según Fuentes (2012) habiendo mencionado los fundamentos anteriormente, podemos tener las siguientes afirmaciones al realizar un levantamiento topográfico:

- a) La recta es la línea de menor trayectoria que une dos puntos sobre la superficie de la tierra.

- b) La proyección que forma la plomada al colocarlas en dos puntos diferentes, son paralelas.
- c) Las alturas se tomarán a partir de una superficie de referencia imaginaria considerada plana.
- d) Al intersectar dos líneas sobre la superficie terrestre, conformará un ángulo plano, mas no esférico.

Según Fuentes (2012) en topografía si hablamos de calidad, podemos clasificarlo de la siguiente manera:

- a) *Precisa*, Es una topografía donde se emplean poligonales o triangulaciones para aumentar la precisión. Al ser de alta precisión es empleada para delimitar fronteras o límites entre ciudades o países.
- b) *Regulares*. Elaboradas mediante la aplicación de poligonales, son levantamientos tiene un parámetro estándar por lo que se emplea para medir predios, canales, pequeñas ciudades, etc.
- c) *Taquimétricos*. Las distancias son medias a través métodos indirectos, es utilizado el tránsito y la estadía. Este tipo de topografía contiene una precisión intermedia.
- d) *Expeditivos*. Se realiza con un equipo portátil de poca precisión. Estas mediciones son realizadas en etapas de reconocimiento de campo o expediciones donde no requieren de mayor detalle.

2.2.2.3. Equipos topográficos

2.2.2.3.1. Teodolitos electrónicos

La tecnología tuvo mucha influencia en la evolución de los equipos utilizados en la topografía, uno de estos equipos es el teodolito.

Estos cambios no lo hemos notado en la forma ya que aún mantienen una forma similar al teodolito prismático. Uno de los cambios que si tiene relevancia es la pantalla digital que se ha incorporado debajo del lente telescópico, donde podemos visualizar ángulos horizontales, verticales y datos como pendientes. Estos ángulos antes mencionados están representados en grados, minutos y segundos.

Algunos de los cambios fueron las baterías incorporadas en el teodolito, al tener la pantalla digital. Tenemos la medición de ángulos en sentido horario o anti horario. Llevaba una plomada física, pero se incorporó una plomada óptica.

Luego de mencionar algunas de las modificaciones, hay que aclarar que el uso del teodolito electrónico es muy similar al uso del teodolito mecánico tradicionales. Anteriormente se tenía que llevar una anotación constante de las mediciones lecturadas, sin embargo, ahora algunos teodolitos electrónicos llevan una memoria en donde el equipo va grabando de manera autónoma esta información lecturada, los mismos que pueden ser importadas a un ordenador para ser procesado. (Fuentes, 2012)



Figura 16. Teodolito electrónico SOKKIA

Fuente: Fuentes, 2012

2.2.2.3.2. Estaciones totales

Las estaciones totales vienen a ser la combinación de un teodolito electrónico y un distanciometro o medidor electrónico además de incluir más componentes como un procesador. La estación total nos ayudará a obtener longitudes y dirección exacta de cada punto de un área de interés.

Estos equipos tienen una gran importancia en obras civiles o arquitectónicas, ya que dan el inicio de estudios básicos como levantamientos topográficos cálculos de área, movimiento de tierras, verticalidad de estructuras, replanteos, alturas respecto a una superficie, etc. Al tener un microprocesador en su interior, nos proporcionará de manera directa los datos horizontales y verticales, así también como el azimut, de esta forma obtener las coordenadas de las visuales. Luego de realizar los trabajos en campo con una estación total, al tener componentes sofisticados, nos da la opción de realizar el almacenamiento de la información leída, dependiendo de la capacidad de la estación podremos almacenar cierta densidad de puntos en

la memoria interna. Podemos hacer mención que cuenta con un teclado alfa numérico con el cual podemos interactuar de una manera más dinámica con el equipo y poder realizar una toma de datos con mayor rendimiento. Se debe tomar en cuenta que este equipo contiene muchos componentes frágiles como vidrio en caso de los lentes ópticos, por lo que se recomienda siempre transportar en caja y llevarlo con cuidado. (Fuentes, 2012)



Figura 17. Estación Total SOKKIA

Fuente: Fuentes, 2012

2.2.3. Mecánica de suelos

2.2.3.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad o la humedad en el suelo es la relación, del peso de agua en una masa de suelo dada, al peso de las partículas sólidas. (Norma Técnica Peruana - NTP 339.127, 1999)

A. Principio del Método

El principio de este método consiste en secar, en un horno a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, el suelo húmedo hasta un peso constante. La cantidad de suelo que permanece en el horno es usada y/o considerada como el peso de las partículas sólidas y lo que se pierde debido al proceso

de secado se considera como peso del agua. (Norma Técnica Peruana - NTP 339.127, 1999)

B. Aparatos

Según la Norma Técnica Peruana - NTP 339.127 (1999)

- **Horno de secado:** Es utilizado para el proceso del secado de los suelos húmedos con capacidad de mantener una temperatura de 100 ± 5 °C.
- **Balanzas:** Nos permite obtener el peso de las muestras con las siguientes aproximaciones: para muestras menores de 200g con una aproximación de 0.01g y con una aproximación de 0.1g para muestras mayores a 200g.
- **Recipientes:** Son aparatos que deben poseer alta resistencia a la corrosión, soportar exposición de Ph y a los cambios de peso que se dan por los enfriamientos o calentamientos consecutivos.
- **Utensilios para manipulación de recipientes:** Es primordial el uso de utensilios, ya sea guantes o sujetador, para la adecuada manipulación y traslado de los recipientes expuestos a fuertes temperaturas durante el proceso de secado.
- **Otros utensilios:** En el laboratorio también es de suma importancia el uso de otros utensilios como, por ejemplo: divisores de muestras, espátulas, cucharas, etc.

C. Muestras

El cálculo del contenido de humedad se tiene que hacer tan rápido como sea viable desde el muestreo, en especial se aplican contenedores corrosibles (como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura. Etcétera.) o bolsas plásticas. (Norma Técnica Peruana - NTP 339.127, 1999)

D. Espécimen de Ensayo

Si no consideramos la cantidad de total de la muestra, la porción mínima del material por secar debe ser de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 12: Valores de cantidad mínima de espécimen

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\%$
2 mm. o menos	ITINTEC 2.00 mm. (N° 10)	20 g	20 g
4.75 mm.	ITINTEC 4.75 mm. (N° 4)	100 g	20 g
9.5 mm.	ITINTEC 9.51 mm. (9/8")	500 g	50 g
19.00 mm.	ITINTEC 19.0 mm. (3/4")	2.5 g	250 g
37.5 mm.	ITINTEC 38.1 mm. (1/2")	10 g	1 kg
75.0 mm.	ITINTEC 76.1 mm. (3")	50 g	5 kg

Fuente: (Norma Técnica Peruana - NTP 339.127, 1999)

E. Selección del Espécimen de Ensayo

Según la Norma Técnica Peruana - NTP 339.127 (1999) :

- La manera de la selección del espécimen del ensayo depende de tres condiciones: la primera es el tipo de material que se va ensayar, la segunda es la aplicación y objetivo del ensayo; y como tercera es el tipo de muestra (en bolsa o en bloque).

- Si el material al ser manipulado no posee pérdida significativa de humedad, entonces dicho material tiene que mezclarse y luego mediante separación o cuarteo disminuir al tamaño solicitado.
- El espécimen de ensayo para muestras intactas tal como: bloques, tubos, muestreadores divididos y otros; se obtendrá por uno de los próximos procedimientos dependiendo del objetivo y potencial uso de la muestra.

F. Cálculos

Para obtener el contenido de humedad de la muestra se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo sec al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

En donde:

W = Contenido de humedad, en porcentaje

M_{cws} = Peso del depósito más el suelo húmedo, en gramos

M_{cs} = Peso del depósito más el suelo secado en horno, en gramos

M_c = Peso del depósito, en gramos

M_w = Peso del agua, en gramos

M_s = Peso de las partículas sólidas, en gramos

2.2.3.2. Análisis Granulométrico

Este procedimiento consiste en la determinación cuantitativa del reparto de tamaños de partículas de los suelos. Se da en dos criterios de clasificación: el primero criterio consiste en que las partículas mayores que 75 μm (retenido en el tamiz N° 200) se efectúa por

tamizado y el segundo criterio consiste en la determinación de las partículas menores que 75 μm , que se hace por medio de un proceso de sedimentación basada en la ley de Stoke usando un densímetro adecuado. (Norma Técnica Peruana - NTP 339.128, 1999)

A. Instrumentos

Según la Norma Técnica Peruana - NTP 339.128 (1999)

- **Balanzas:** Estas deben ser de dos sensibilidades: la primera de sensibilidad 0.01g para obtener el peso del material que pasa por la malla N° 10 (2.0 mm) y la segunda de sensibilidad 0.1 % de la masa de la muestra, para obtener el peso del material retenido en la malla N° 10.
- **Agitador:** Es usado para la exploración físico del suelo y tenemos la posibilidad de usar 2 tipos de máquinas. El primero se basa en un dispositivo de agitación que por medio de un motor eléctrico que hace girar un eje vertical a no menor de 10,000 rpm, para conservar la muestra a medida que se le dispersa; y el segundo se basa en un vaso de dispersión por chorro de viento.
- **Densímetro:** Es un instrumento que debe ser graduado, ya sea en gramos por litro de suspensión o en gravedad específica de la suspensión, para medir la densidad de un líquido. Según las especificaciones los densímetros pueden ser de 151 H o 152 H; la diferencia de ambos vendría ser la escala diferencial.
- **Probeta de Sedimentación:** Este instrumento es utilizado para el proceso de separación sólido – fluido. Sus características son las siguientes: un

cilindro de vidrio con una altura aproximada de 457 mm y un diámetro interior de 63.5 mm.

- **Termómetro:** Instrumento que debe tener como característica la aproximación de 1° F (0.5 °C).
- **Tamices:** Instrumento que se usa en el laboratorio de mecánica de suelos con la finalidad de separar las partes gruesas de las finas de una muestra dada. Está constituida por una serie de tamices de malla cuadrada que está sujeta a un aro, deben cumplir con las especificaciones establecida por ASTM. El juego de tamices incluye los siguientes:

Tabla 13: *Tamices y su designación.*

TAMICES	DESIGNACIÓN ASTM
75.00 mm	(3 pulgadas)
50.00 mm	(2 pulgadas)
37.50 mm	(1 ½ pulgada)
25.00 mm	(1 pulgada)
19.00 mm	(¾ pulgada)
9.50 mm	(3/8 pulgada)
4.75 mm	(N° 4)
2.00mm	(N° 10)
850.0 µm	(N° 20)
425.0µm	(N° 40)
250.0 µm	(N° 60)
106.0µm	(N° 140)
75.0 µm	(N° 200)

Fuente: (Norma Técnica Peruana - NTP 339.128, 1999)

Para lograr un uniforme espaciamiento de puntos en la gráfica se puede utilizar la siguiente serie de tamices:

Tabla 14: *Tamices y su designación.*

TAMICES	DESIGNACIÓN ASTM
75.00 mm	(3 pulgadas)
50.00 mm	(2 pulgadas)
37.50 mm	(1 ½ pulgada)
25.00 mm	(1 pulgada)
19.00 mm	(¾ pulgada)
9.50 mm	(3/8 pulgada)
4.75 mm	(N° 4)
2.00mm	(N° 10)
850.0 µm	(N° 20)
425.0µm	(N° 40)
250.0 µm	(N° 60)
106.0µm	(N° 140)
75.0 µm	(N° 200)

Fuente: (Norma Técnica Peruana - NTP 339.128, 1999)

- **Baño de temperatura controlada:** Está constituida por paredes aisladas que nos permitirá controlar la temperatura de la suspensión cercana a 20 °C. El baño no será necesario cuando el trabajo se realice en ambientes que de temperatura constante controlada automáticamente.
- **Vaso de precipitación:** Es un aparato de forma cilíndrica, con una pequeña boca y posee un fondo plano. Según lo establecido debe tener una capacidad de 250 cm³.
- **Dispositivo de control del tiempo:** Un cronómetro.

B. Preparación de la Muestra

La preparación de la muestra que se va ensayar para el análisis mecánico de acuerdo a la NTP

339.128.090. El procedimiento de preparación consiste en dividir la muestra en dos porciones. Una porción contiene solo partículas que quedan retenidas en el tamiz 2.00mm (N°10) y la otra porción contiene partículas que pasan el tamiz 2.00mm (N°10). (ntp 339-128).

La masa del suelo secada al aire, que es separa con el propósito de hacer el análisis mecánico, dependerá del tamaño máximo de las partículas y de la masa de la porción retenida sobre el tamiz 2.00mm (N°10) de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 15: Diámetro nominal y Masa aproximada

Diámetro nominal máximo de las partículas por el tamiz 2.00 mm (N°10)	Masa aproximada retenida en gramos
76.2 mm (3 pulg)	5000
50.8 mm (2 pulg)	4000
38.1 mm (1 ½ pulg)	3000
25.4 mm (1 pulg)	2000
19.0 mm (¾ pulg)	1000
9.5 mm (3/8 pulg)	500

Fuente: (Norma Técnica Peruana - NTP 3391.28, 1999)

C. Análisis por Tamizado

Para analizar el proceso del análisis por tamizado se debe realizar los siguientes pasos: Después de obtener la lectura final del termómetro y del densímetro, pasamos al proceso de la suspensión del tamiz N° 200 y luego lavamos muchas veces con agua de grifo o corriente hasta que el agua sea clara. Transferimos el material, que no pasa por la malla N°

200, a un recipiente adecuado para luego ser llevado a su respectivo secado.

2.2.4. HEC-RAS V6.1

2.2.4.1. Definición

El software HEC-RAS proviene de un nombre en inglés HEC (HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER) y RAS (RIVER ANALYSIS SYSTEM). La finalidad del programa es realizar una modelación con un régimen no permanente y permanente, análisis de calidad del agua ríos, canales, canales artificiales, transporte de sedimentos, etc. Es un software que fue desarrollado y formulado por el centro de ingeniería de hidráulica del cuerpo de la armada de los E.E.U.U.

En esta misma línea, el citado Cuerpo de Ingenieros ha desarrollado otras aplicaciones, como por ejemplo el Hec-Hms (Hydrologic Modeling System), el Hec-GeoRas (que integra Arc View o ArcGIS con Hec-Ras) y el Hec-GeoHms (que integra ArcView o ArcGIS con Hec-Hms). (Villón, 2014)

2.2.4.2. Origen

Partiendo desde el programa anteriormente utilizado en el sistema DOS, llamado HEC-2, podríamos decir que HEC-RAS es evolución de HEC-2, varias mejoras, entre las que destaca la interfaz gráfica de usuario, que facilita las labores de proceso y postproceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante el Hec-GeoRas. La primera versión del Hec-Ras (la 1.0) fue presentada en julio de 1995. A partir de esa fecha se han presentado muchas más versiones, tales como 1.1, 1.2, 2.0, 2.1 hasta la presenta que es la 6.1.

Este software nos ayudará a realizar cálculos de perfiles de agua o parámetros del cauce. Además, podremos calcular niveles de superficie del recurso hídrico con un flujo gradualmente variado. Tiene un manejo a escala variable, podemos modelar o analizar un río como también a una red de ríos en estudio. Obteniendo un estudio de régimen supercrítico o subcrítico. (Villón, 2014)

2.2.4.3. Importancia en diseños hidráulicos

Según Villón (2014) la importancia del Hec-Ras en la modelación hidráulica radica en que permite las siguientes acciones:

- Predicción de las áreas de inundación y su mitigación en un río o sistema de ríos para diferentes periódicos de retorno.
- Determinación de las variables hidráulicas para el diseño de estructuras hidráulicas en los ríos, tales como, puentes, alcantarillas, cunetas, etc.
- Delimitación de fajas marginales de los ríos.
- Determinación de la altura óptima en el diseño de una carretera que puede ser afectada por el caudal de un río.

Para trabajar con el Hec-Ras existe la aplicación Hec-GeoRas, que opera en el entorno GIS. A partir de un modelo digital del terreno se puede crear un archivo para exportar al Hec-Ras la información geométrica necesaria para llevar a cabo una simulación con el Hec-Ras, se pueden pasar los resultados al entorno GIS con el fin de elaborar mapas de inundación y riesgo. (Villón, 2014)

2.3. Marco Conceptual

Alcantarilla: Son conductos que pueden ser de sección circulares o de marco (cuadradas o rectangulares) usualmente enterradas, utilizadas en desagües o en cruces con carreteras. [Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2008]

Caudal: Cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o período dado. [Ministerio de Transporte Y Comunicaciones (MTC), 2008]

Erosión: Es un proceso natural que se desarrolla continuamente desde los tiempos geológicos y que determinan y modela la forma de la corteza terrestre. (Rocha, 1998).

Nivel del Agua: Es la elevación de la superficie libre del agua relativa a un plano de referencia. (H. French, 1988)

Pendiente de Canal: La pendiente longitudinal del fondo de un canal por lo general está dada por la topografía y por la altura de energía requerida para el flujo de agua. (Te Chow, 1994).

Resalto Hidráulico: Es una alteración puntual, que se evidencia en los flujos variados rápidamente, el mismo que tiene como defecto un aumento crítico del tirante y presenta pérdida de energía en gran proporción. (Villón, 1995).

Rugosidad Superficial: Se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. (Te Chow, 1994).

Tirante Crítico: Es el tirante hidráulico que existe cuando el caudal es el máximo para una energía específica determinada, o el tirante al que ocurre un caudal determinado con la energía específica mínima. (Villón, 1995).

Transición: Es una estructura diseñada en una canal que permite cambiar la forma o el área de la sección transversal del flujo. (Te Chow, 1994).

Velocidad Crítica: Es la velocidad media cuando el caudal es el crítico. (Villón, 1995).

Velocidad Mínima Permissible: Es la velocidad que no permite el inicio de la sedimentación y no induce el crecimiento de plantas acuáticas y de musgo. (Te Chow, 1994).

Velocidad Máxima Permissible: Es la mayor velocidad promedio que no causará erosión en el cuerpo del canal. (Te Chow, 1994).

2.4. Sistema de hipótesis

2.4.1. Hipótesis

El diseño del canal San Pedro mejorará en un 95% el aprovechamiento del recurso hídrico, beneficiando a todos los pobladores de la zona.

2.4.2. Variables

La variable general analítica es Diseño Hidráulico de canal de riego, en la cual se descompone en las dimensiones:

- Estudio topográfico
- Mecánica de suelos
- Gasto formativo.

2.4.3. Operacionalización de la variable

Tabla 16: Operacionalización de la Variable

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
DISEÑO HIDRÁULICO DE CANAL DE RIEGO	Es el planeamiento Hidráulico que tiene principal importancia en su concepción, debido a que es allí donde se determinan las estrategias de funcionamiento del sistema de riego (captación, conducción – canal abierto o a presión y regulación). (ANA. 2010).	El presente proyecto se orienta al diseño hidráulico del canal de riego San Pedro;	Levantamiento topográfico	Altimetría (msnm)	Estación total
		mediante la descripción y determinación de las características		Alineamiento (Km)	AutoCAD civil 3D
		hidráulicas para el diseño de canales abiertos. Se hace uso del Manual de la		Perfiles longitudinales (km, m)	AutoCAD civil 3D
		Autoridad Nacional del Agua; “Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico”.		Secciones transversales (m2)	AutoCAD civil 3D
			Estudio de mecánica de suelos	Granulometría (%)	Tamices
				Contenido de humedad (%)	Formula
				Peso específico (gr.)	Formula
				Velocidad Mínima permitida (m/s)	Formula
		Gasto formativo	Caudal (m3)	Formula	

Fuente: Elaboración propia

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

- De acuerdo a su finalidad: Aplicada

3.1.2. Nivel de investigación

- De acuerdo a la técnica de contrastación: Investigación Descriptiva

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

La población de estudio estará constituida por el canal de regadío San Pedro.

3.2.2. Muestra

La muestra está conformada por 3.5 km del canal San Pedro.

3.3. Diseño de investigación

El diseño del proyecto es no experimental, descriptivo simple, cuyo esquema es el siguiente:

M ----- O

Donde:

M: canal de regadío San Pedro

O: mediciones de levantamiento topográfico y estudio de suelo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

a) Observación

Se hizo el reconocimiento in situ para analizar la problemática en el canal San Pedro, de esta manera obtener información previa al desarrollo del proyecto.

b) Entrevista

Programar una entrevista con los especialistas responsables de La Comisión de usuarios del agua de San Pedro de Lloc.

3.4.2. Instrumentos

- Ficha de observación
- Ficha de entrevista no estructurada

3.5. Procesamiento y Análisis de datos

3.5.1. Estudio Topográfico

Se realizará un levantamiento topográfico en el área que conforma el canal San Pedro mediante estación total. Tanto al fondo del canal como en el margen derecho e izquierdo. Obteniendo como resultado una nube de puntos conformado por coordenadas y nivel de terreno, para posteriormente ser procesado en los softwares respectivos.

3.5.2. Estudio de Mecánica de suelos

- Se tomará muestras del material encontrado en el margen derecho o izquierdo del canal.
- En el laboratorio se realizará ensayos de gravedad específica y análisis granulométrico.

3.5.3. Estudio Hidráulico

Se pretende evaluar el caudal de diseño que pasara por el canal en estudio. Para esta tarea evaluaremos la Cédula de Cultivo, Coeficiente de Cultivo y la Evapotranspiración Potencial; para este último utilizaremos el método Penman-Monteihht en el software Cropwat. Este software nos permite ingresar los datos de la estación meteorológica más cercana al área de estudio (Temperatura, humedad, viento e insolación); y lograr resultados óptimos de la Evapotranspiración. El software nos ofrece acceso gratuito y no brinda su entorno en idioma español, lo cual supone una ventaja.

3.5.4. Modelamiento Digital

Luego de realizar el levantamiento topográfico, exportamos la base de datos para trabajarlos con el apoyo de los siguientes programas:

A) AutoCAD Civil 3D 2020

- Exportaremos la data obtenida mediante la estación total al ordenador, para luego procesarlo en el programa AutoCAD Civil 3D 2020
- Procedemos a crear el alineamiento, perfil longitudinal y secciones transversales del canal de regadío San Pedro.

B) Hec-RAS v6.1

- Luego de generar el diseño y superficies en AutoCAD Civil 3D 2020 importamos los datos hacia Hec-RAS v6.1, para comprobar que nuestra sección hidráulica sea viable.
- Generaremos el modelamiento hidráulico con nuestro diseño para su respectivo análisis y comprobación de resultados.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e Interpretación de resultados

4.1.1. Estudio topográfico

Al no existir estudios previos de la zona, se determinó realizar un levantamiento topográfico del tramo de estudio. Con la ayuda de un GPS navegador se instalaron 02 puntos base, durante el levantamiento se instalaron más puntos auxiliares o puntos de cambio con estación total de esta forma se realizó el levantamiento a lo largo de los 3.5 km de canal. Las mediciones fueron realizadas de manera seccionada cada 30 metros aproximadamente.



Figura 18. Vista satelital canal San Pedro

Fuente: Autoría Propia

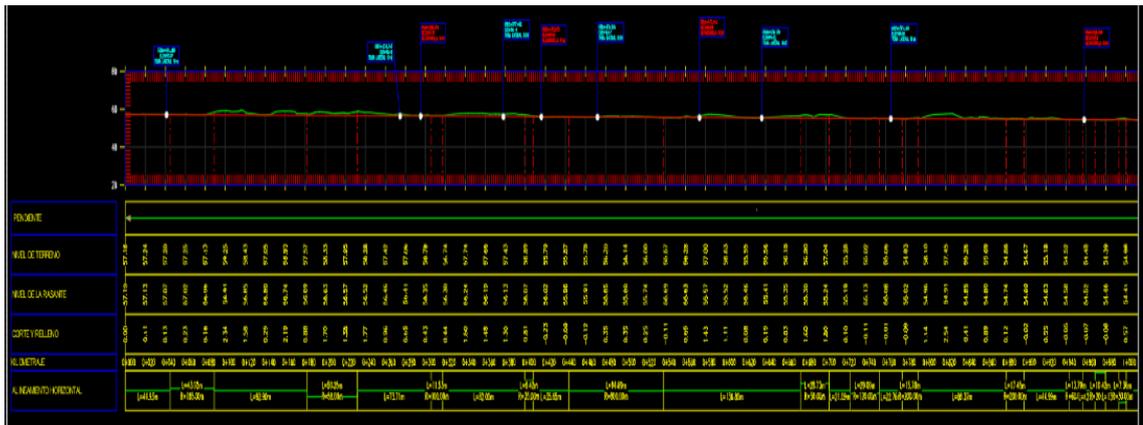
Luego de realizar el levantamiento total del canal San Pedro a lo largo de 3.5 km (zona de estudio) con la ayuda del software CIVIL 3D 2021 se logró procesar los datos obtenidos en campo con la estación total, este levantamiento nos servirá para definir el trazo del eje del canal de regadío, curvas de nivel, modelamiento hidráulico, etc.



Figura 19. Procesamiento levantamiento topográfico

Fuente: Autoría Propia

Luego de analizar el relieve del canal de tierra existente, se procedió al diseño de alineamiento y rasante de diseño para que con estos datos se de paso al diseño hidráulico. Además, se logró identificar las curvas y tangentes, siguiendo el manual de diseño de canales se definió los radios de curvatura mínima.



San Pedro

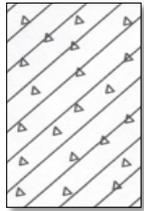
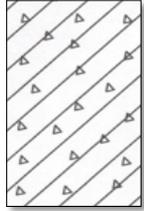
Fuente: Autoría Propia

4.1.2. Estudio de mecánica de suelos

Para el estudio de suelos, se gestionó el apoyo de la comisión de usuarios de San Pedro de Lloc con la finalidad que se nos proporcione un EMS con ubicación aproximada a nuestra zona de estudios. Teniendo la siguiente información se supo que se extrajo 02 muestras para ser estudiadas en laboratorio. Estas calicatas tuvieron una profundidad de 1.50 metros. A continuación, presentamos los resultados obtenidos.

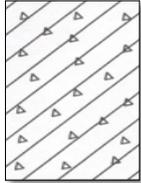
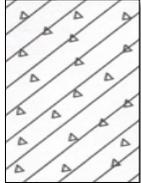
Tabla 17: Perfil estratigráfico de calicata N°01

PERFIL ESTRATIGRAFICO					
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN			Nivel freático :	NO PRESENTA
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO			Profundidad :	2.00 m
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC			Calicata :	01
Fecha :	OCTUBRE - 2021				

CALICATA 01					
PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN (SUCS)	SIMBOLO
0.20	A CIELO ABIERTO	M-1	capa de suelo orgánico con basura en estado suelto	Relleno	
0.80		M-2	Material de gravas arcillosas, de color marrón oscuro, de poca humedad, compactad media a compacta, conteniendo piedras. No presenta el NAF	GC	
1.00		M-3	Material de gravas arcillosas, de color marrón oscuro, de poca humedad, compactad media a compacta, conteniendo piedras. No presenta el NAF	GC	

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 18: Perfil estratigráfico de calicata N° 02

PERFIL ESTRATIGRAFICO					
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN			Nivel freático :	NO PRESENTA
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO			Profundidad :	2.00 m
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC			Calicata :	02
Fecha :	OCTUBRE - 2021				
CALICATA 02					
PROF. (m)	TIPO DE EXCAVACIÓN	MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN (SUCS)	SIMBOLO
0.30	A CIELO ABIERTO	M-1	capa de suelo orgánico con basura en estado suelto	Relleno	
0.85		M-2	Material de gravas arcillosas, de color marrón oscuro, de poca humedad, compacidad media a compacta, conteniendo piedras. No presenta el NAF	GC	
0.85		M-3	Material de gravas arcillosas, de color marrón oscuro, de poca humedad, compacidad media a compacta, conteniendo piedras. No presenta el NAF	GC	

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 19: Contenido de Humedad de calicata N°01

CONTENIDO DE HUMEDAD			
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN		
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO		
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC - LA LIBERTAD	Calicata :	01
Fecha :	OCTUBRE - 2021		
Calicata N°	1		
Profundidad	0.80		
Lata N°	1	2	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	35.42	41.25	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	33.52	38.60	
Peso del agua (gr)	1.90	2.65	
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00	
Peso de la muestra seca (gr)	20.52	25.60	
Contenido de humedad (%)	9.26	10.35	
Contenido de humedad Promedio (%)	9.81		
Calicata N°	1		
Profundidad	0.80		
Lata N°	3	4	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	52.18	48.56	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	47.72	44.50	
Peso del agua (gr)	4.46	4.06	
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00	
Peso de la muestra seca (gr)	34.72	31.50	
Contenido de humedad (%)	12.85	12.89	
Contenido de humedad Promedio (%)	12.87		

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 20: *Contenido de Humedad de calicata N° 02*

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN	
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO	
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC	Calicata : 02
Fecha :	OCTUBRE - 2021	
Calicata N°	2	
Profundidad	0.85	
Lata N°	5	6
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	61.84	42.12
Peso de la muestra seca + lata (gr)	57.00	39.30
Peso del agua (gr)	4.84	2.82
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00
Peso de la muestra seca (gr)	44.00	26.30
Contenido de humedad (%)	11.00	10.72
Contenido de humedad Promedio (%)	10.86	
Calicata N°	2	
Profundidad	2.00	
Lata N°	7	8
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	42.38	41.2
Peso de la muestra seca + lata (gr)	39.11	38.15
Peso del agua (gr)	3.27	3.05
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00
Peso de la muestra seca (gr)	26.11	25.15
Contenido de humedad (%)	12.52	12.13
Contenido de humedad Promedio (%)	12.33	

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 21: Resultados analisis granulométrico de calicata N°01

ANALISIS GRANULOMETRICO					
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN			Profundidad :	2.00 m
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO			Calicata :	01
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC				
Fecha :	OCTUBRE - 2021				
CALICATA 01					
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	48.52	1.60	1.60	98.40
3/4"	19.00	185.62	6.14	7.74	92.26
1/2"	12.70	231.66	7.66	15.40	84.59
3/8"	8.46	302.00	9.99	25.39	74.60
1/4"	6.35	35.00	1.16	26.55	73.45
N° 4	4.76	750.00	24.81	51.36	48.64
N° 8	2.38	124.36	4.11	55.47	44.52
N° 10	2.00	185.22	6.13	61.60	38.40
N° 16	1.19	134.62	4.45	66.05	33.94
N° 20	0.84	124.52	4.12	70.17	29.83
N° 30	0.59	102.00	3.37	73.54	26.45
N° 40	0.43	91.25	3.02	76.56	23.43
N° 50	0.30	92.32	3.05	79.61	20.38
N° 60	0.25	81.47	2.69	82.30	17.69
N° 80	0.18	65.25	2.16	84.46	15.53
N° 100	0.15	48.25	1.60	86.06	13.93
N° 200	0.07	32.16	1.08	87.14	12.87
Recipiente	-	389.00	12.87	100.00	0.00
Sumatoria		3023.22	100.00		
D10=0.30	D30=1.52	D60=6.20	Cu>6	1 < Cc < 3	LL:NP
Clasificación SUCS: GC (Grava Arcillosa)					LP:NP
					IP:NP

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 22: Resultados analisis granulométrico de calicata N° 02

ANALISIS GRANULOMETRICO					
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN			Profundidad :	2.00 m
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO			Calicata :	02
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC				
Fecha :	OCTUBRE - 2021				
CALICATA 02					
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	31.25	1.04	1.60	96.96
3/4"	19.00	175.22	5.85	7.45	93.10
1/2"	12.70	185.00	6.18	13.63	86.93
3/8"	8.46	276.14	9.22	22.85	77.70
1/4"	6.35	234.22	7.82	30.67	69.88
N° 4	4.76	631.00	21.07	51.74	48.81
N° 8	2.38	151.11	5.05	56.79	43.76
N° 10	2.00	185.47	6.19	62.98	37.57
N° 16	1.19	124.62	4.16	67.14	33.41
N° 20	0.84	124.00	4.14	71.28	29.27
N° 30	0.59	95.32	3.18	74.46	26.08
N° 40	0.43	83.16	2.78	77.24	23.30
N° 50	0.30	90.25	3.01	80.25	20.29
N° 60	0.25	84.17	2.81	83.06	17.48
N° 80	0.18	63.22	2.11	85.17	15.37
N° 100	0.15	45.18	1.51	86.68	13.86
N° 200	0.07	40.00	1.34	88.02	12.52
Recipiente	-	375.00	12.52	100.00	0.00
Sumatoria		2994.33	100.00		
D10=0.29	D30=1.53	D60=6.15	Cu>6	1 < Cc < 3	LL:NP
Clasificación SUCS: GC (Grava Arcillosa)					LP:NP
					IP:NP

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

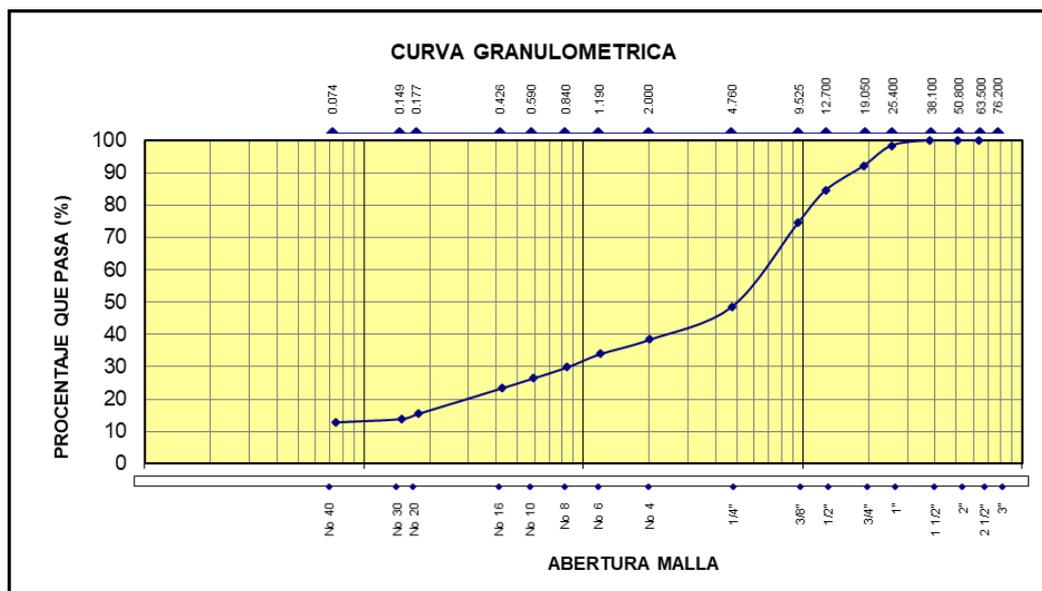


Figura 21: Resultados curva granulométrico de calicata N°01

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

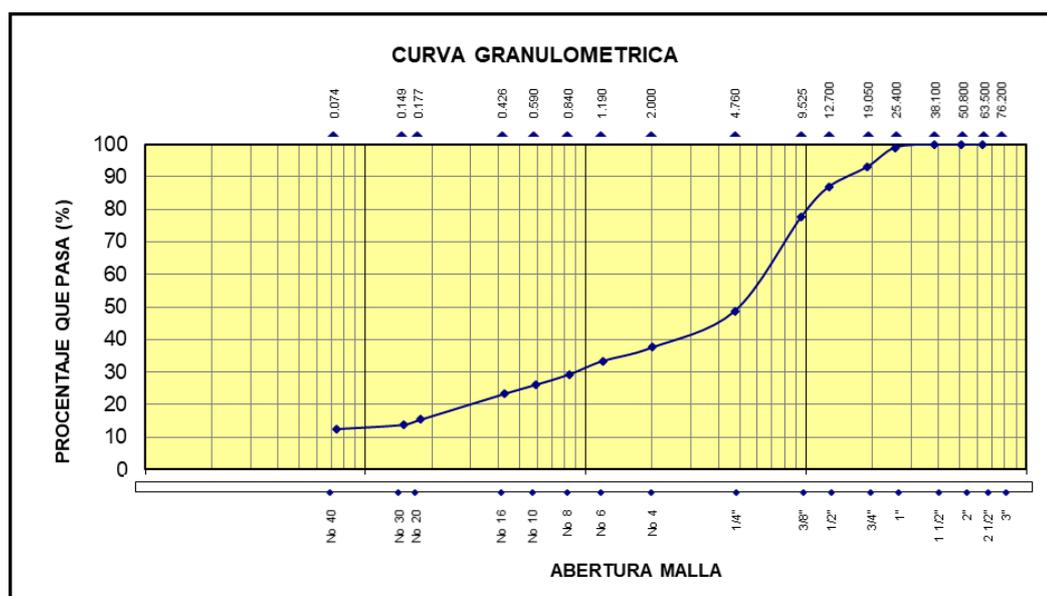


Figura 22: Resultados curva granulométrico de calicata N°02

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 23: Resultados gravedad específica de calicata N° 01

GRAVEDAD ESPECIFICA			
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN		
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO		
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC - LA LIBERTAD	Calicata :	01
Fecha :	OCTUBRE - 2021		

CALICATA - 01

PROFUNDIDAD = 0.80 m

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1. Peso de la fiola	gr	153.70
2. Peso de la fiola + 500 cm ³ de agua	gr	648.00
3. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua	gr	291.00
4. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua + Muestra seca	gr	494.63
5. Peso de la Muestra Seca	gr	203.63
6. Peso de la fiola + Muestra + 500 cm ³ de agua	gr	776.00
7. Peso sumergido	gr	128.00
8. Volumen	cm ³	75.63
9. Peso específico Partículas Finas	gr/cm ³	2.69
10. Peso específico del agua	gr/cm ³	1.00
11. Gravedad específica sólidos		2.69

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1. Peso de la fiola	gr	153.70
2. Peso de la fiola + 500 cm ³ de agua	gr	648.05
3. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua	gr	291.00
4. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua + Muestra seca	gr	494.77
5. Peso de la Muestra Seca	gr	203.77
6. Peso de la fiola + Muestra + 500 cm ³ de agua	gr	776.10
7. Peso sumergido	gr	128.05
8. Volumen	cm ³	75.72
9. Peso específico Partículas Finas	gr/cm ³	2.69
10. Peso específico del agua	gr/cm ³	1.00
11. Gravedad específica sólidos		2.69

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 24: Resultados gravedad específica de calicata N° 02

GRAVEDAD ESPECIFICA		
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN	
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO	
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC - LA LIBERTAD	Calicata : 02
Fecha :	OCTUBRE - 2021	

CALICATA - 02

PROFUNDIDAD = 0.85 m

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1. Peso de la fiola	gr	153.70
2. Peso de la fiola + 500 cm ³ de agua	gr	648.00
3. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua	gr	291.00
4. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua + Muestra seca	gr	494.98
5. Peso de la Muestra Seca	gr	203.98
6. Peso de la fiola + Muestra + 500 cm ³ de agua	gr	776.00
7. Peso sumergido	gr	128.00
8. Volumen	cm ³	75.98
9. Peso específico Partículas Finas	gr/cm ³	2.68
10. Peso específico del agua	gr/cm ³	1.00
11. Gravedad específica sólidos		2.68

CALICATA - 02

PROFUNDIDAD = 2.00 m

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1. Peso de la fiola	gr	153.70
2. Peso de la fiola + 500 cm ³ de agua	gr	648.05
3. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua	gr	291.00
4. Peso de la fiola + 50 cm ³ de agua + Muestra seca	gr	494.85
5. Peso de la Muestra Seca	gr	203.85
6. Peso de la fiola + Muestra + 500 cm ³ de agua	gr	776.10
7. Peso sumergido	gr	128.05
8. Volumen	cm ³	75.80
9. Peso específico Partículas Finas	gr/cm ³	2.69
10. Peso específico del agua	gr/cm ³	1.00
11. Gravedad específica sólidos		2.69

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 25: Resultados contenido de sales solubles totales calicata N°01

CONTENIDO DE SALES SOLUBES TOTALES			
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN		
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO		
Ubicación:	SAN PEDRO DE LLOC - LA LIBERTAD		Calicata: 01
Fecha:	OCTUBRE - 2021		
Calicata N°:	1		
Profundidad (m) :	0.80		
Lata N°:	1	2	
Peso del recipiente vacio (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	179.00	181.00	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.60	117.57	
Peso de la sal (gr)	0.70	0.67	
Contenido de Sales (%)	1.13	1.05	
Contenido Promedio de Sales (%)	1.09		
Calicata N°:	1		
Profundidad (m):	2.00		
Lata N°:	3	4	
Peso del recipiente vacio (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	178.66	180.00	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.60	117.62	
Peso de la sal (gr)	0.70	0.72	
Contenido de Sales (%)	1.13	1.14	
Contenido Promedio de Sales (%)	1.14		

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 26: Resultados contenido de sales solubles totales calicata N° 02

CONTENIDO DE SALES SOLUBES TOTALES			
Solicitante:	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN		
Proyecto:	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO		
Ubicación:	SAN PEDRO DE LLOC - LA LIBERTAD		Calicata: 02
Fecha:	OCTUBRE - 2021		
Calicata N°:	2		
Profundidad (m):	0.85		
Lata N°:	5	6	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	179.00	178.37	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.60	117.57	
Peso de la sal (gr)	0.70	0.67	
Contenido de Sales (%)	1.13	1.09	
Contenido Promedio de Sales (%)	1.11		
Calicata N° :	2		
Profundidad (m) :	2.00		
Lata N°:	7	8	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	178.66	176.00	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.60	117.62	
Peso de la sal (gr)	0.70	0.72	
Contenido de Sales (%)	1.13	1.22	
Contenido Promedio de Sales (%)	1.18		

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 27: Resultados de corte directo en calicata N°01

CORTE DIRECTO				
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN			
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO			
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC - LA LIBERTAD	Calicata :	01	
Fecha :	OCTUBRE - 2021			
CALICATA - 01				
Espécimen N°	Peso Volumen Seco gr/cm3	Esfuerzo Normal Kgr/cm2	Esfuerzo de corte Kgr/cm2	Proporción de Esfuerzos
1	1.59	1.08	1.22	1.13
2	1.62	2.25	1.88	0.836
3	1.65	3.55	2.68	0.755
Cohesión (Kg/cm2)		=	0.00	
Angulo de fricción Interna		=	31.60°	

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

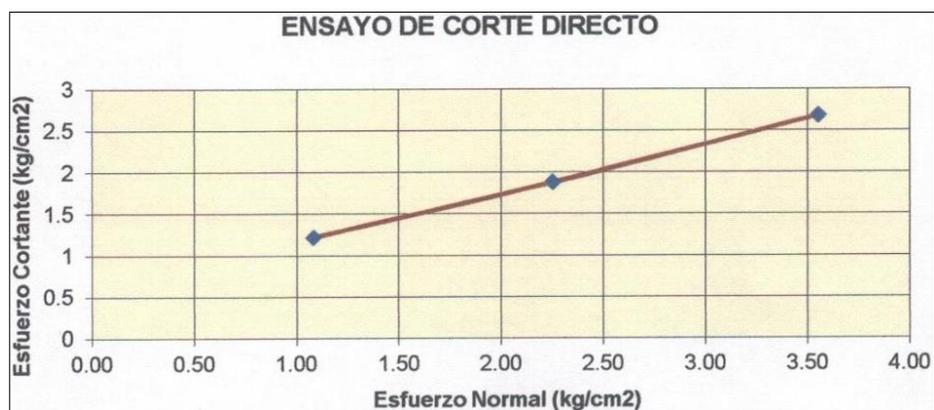


Figura 23: Ensayo de corte directo en calicata N°01

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

Tabla 28: Resultados de corte directo en calicata N°02

CORTE DIRECTO				
Solicitante :	BACH. TEJADA - BACH. LUJAN			
Proyecto :	DISEÑO Y SIMULACION HIDRAULICA DEL CANAL DE RIEGO			
Ubicación :	SAN PEDRO DE LLOC - LA LIBERTAD	Calicata :	02	
Fecha :	OCTUBRE - 2021			
CALICATA - 02				
Especimen N°	Peso Volumen Seco gr/cm ³	Esfuerzo Normal Kgr/cm ²	Esfuerzo de corte Kgr/cm ²	Proporción de Esfuerzos
1	1.62	1.05	1.03	0.981
2	1.64	2.18	1.85	0.849
3	1.67	3.75	2.85	0.76
Cohesión (Kg/cm²)		=	0.00	
Angulo de fricción Interna		=	32.49°	

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

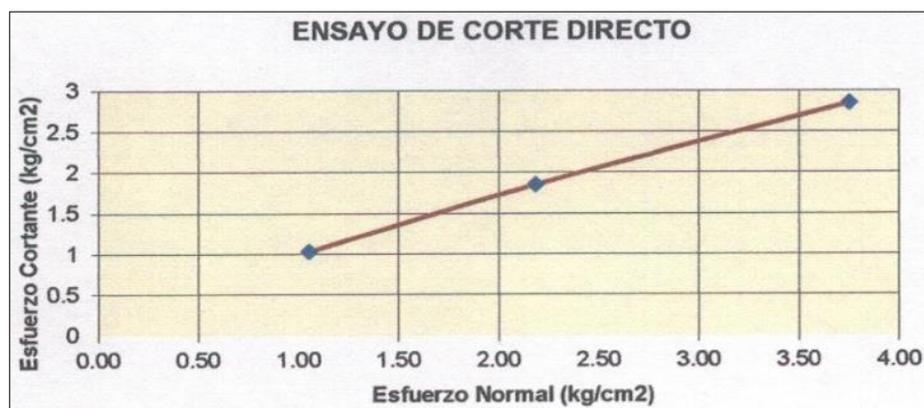


Figura 24: Ensayo de corte directo en calicata N°02

Fuente: Comisión de usuarios San Pedro de Lloc

4.1.3. Estudio de Hidrología

4.1.3.1. Demanda de agua en la irrigación del canal San Pedro

Es fundamental saber las necesidades de los cultivos que fueron considerados en la cédula de nuestra tesis. Para obtener su cálculo se ha optado por un método empírico, que consiste en parámetros evaluables como los indicadores climáticos de una zona determina y la evapotranspiración.

Hemos considerado los campos de cultivos con aptitudes agrícolas para el cálculo de la demanda, Por lo tanto, debemos conocer la cédula de cultivo, luego obtener los valores respectivos referente a la evapotranspiración y finamente verificar los coeficientes de cultivos.

a) Cédula de Cultivo

Se define como la distribución de los cultivos en el transcurso del año, basados en su adaptabilidad a las condiciones ecológicas y de acuerdo a los factores: disponibilidad de agua, demanda de productos en el mercado, tamaño de la unidad agrícola, capacidad económica del agricultor, rentabilidad, técnicos, climatológicos, etc. [Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI), 2020]

La cédula de cultivo representa la propuesta del desarrollo agrícola para la estabilización en el periodo de un año. Su estructuración depende de la combinación de las fechas de siembra y cosecha, periodo vegetativo y tipo de cultivo. Para el desarrollo agrícola del canal de riego San Pedro, Sector Jatanca los cultivos y sus valores fueron proporcionados por la Junta de Usuarios del Distrito de Riego

Jequetepeque. Los valores se pueden apreciar en la tabla N° 29:

Tabla 29: *Tipo de Cultivos y áreas de Cultivo*

CULTIVOS	AREAS DE CULTIVO
	(has.) CON PROYECTO
PERMANENTES	175.20
MAIZ	12.00
ARROZ	155.20
FRUTALES	8.00
TOTAL	175.20

Fuente: Autoría Propia

Tabla 30: *Calendario de Cultivo – Sector Jatanca*

CULTIVO	AREA		MESES DEL AÑO											
	Has	(%)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
MAIZ	12.00	6.85	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
ARROZ	155.20	88.58	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20
FRUTALES	8.00	4.57	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Total	175.20	100.00	175.20											
Porcentaje	100		100.00											

Fuente: Autoría Propia

b) Coeficiente de Cultivo (Kc)

Lo que viene a ser el coeficiente denominado al cultivo se fija por la relación que se tiene entre una evapotranspiración determinada a una de referencia donde ambas engloban un cultivo. (conocido como evaporación potencial); dependiendo de los periodos vegetativos de los cultivos y características fisiológicas.

Con ayuda del manual de la FAO N° 24 se obtuvo los valores que se observan en la tabla N° 31, respecto a los coeficientes de cultivos Kc. Estos valores son los siguientes:

Tabla 31: Coeficientes de Cultivo - Sector Jatanca

CULTIVO	MESES DEL AÑO											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
MAIZ	1.15	1.05	0.80	1.15	1.15	0.80	1.15	1.05	0.80	1.15	1.15	0.80
ARROZ	1.20	1.20	1.15	1.00	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00
FRUTALES	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
	1.17	1.13	1.03	1.10	1.13	1.05	1.17	1.10	1.02	1.10	1.10	0.98

Fuente: Autoría Propia

c) Información Meteorológica a utilizar

La información Meteorológica que se ha utilizado es de la Estación de Guadalupe porque se encuentra dentro del área del proyecto y posee mayores datos.

d) Determinación de la Evapotranspiración Potencial (ET_o)

Se conoce a la Evapotranspiración como la combinación de dos procesos: el primero, agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y la segunda, el agua se pierde mediante la transpiración del cultivo.

Para el obtener el valor de la evapotranspiración potencial hemos utilizado el método de Penman – Monteith. Para ello se ha utilizado información de la estación meteorológica más cercana que vendría ser la estación de Guadalupe, en ella logramos obtener horas de sol, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura. En el desarrollo del cálculo nos apoyamos con el programa Cropwat 8.0 y en la tabla N° 32 se observa los resultados obtenidos:

Tabla 32: Valores de la Evapotranspiración - Mes - Sector Jatanca

EVAPOTRANSPIRACION (Eto)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Eto	4.15	4.27	4.58	4.30	4.07	3.70	3.54	3.63	3.87	3.91	3.91	4.04
Nº días Eto	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
Eto mes	128.65	119.56	141.98	129.00	126.17	111.00	109.74	112.53	116.10	121.21	117.30	125.24

Fuente: (Estudio Riego F A O, 2006)

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith Mensual' software interface. The input fields are: País: PERU, Estación: GUADALUPE, Altitud: 117 m., Latitud: 7.20 °S, and Longitud: 79.25 °W. Below these is a table with 8 columns: Mes, Temp Min (°C), Temp Max (°C), Humedad (%), Viento (km/día), Insolación (horas), Rad (MJ/m²/día), and ETo (mm/día). The table lists monthly data from Enero to Diciembre, with a final row for the average (Promedio).

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	19.0	31.6	81	172	5.7	18.6	4.15
Febrero	20.2	32.8	79	172	5.2	18.0	4.27
Marzo	20.2	33.8	77	172	5.9	18.7	4.58
Abril	17.8	33.0	78	172	6.2	18.0	4.30
Mayo	15.8	32.0	79	172	7.2	18.0	4.07
Junio	13.2	28.4	78	172	8.2	18.4	3.70
Julio	12.0	26.8	82	172	8.8	19.6	3.54
Agosto	11.2	26.0	82	172	8.4	20.5	3.63
Septiembre	12.0	27.2	82	172	7.7	21.0	3.87
Octubre	14.2	29.2	86	172	6.5	19.8	3.91
Noviembre	12.2	28.6	87	172	7.0	20.6	3.91
Diciembre	17.4	30.4	83	172	6.4	19.5	4.04
Promedio	15.4	30.0	81	172	6.9	19.2	4.00

Figura 25: Cuadro de resultados del Eto (mes)

Fuente: Software Cropwat, 2022

e) Eficiencia de Riego

Se conoce como Eficiencia de Riego a la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la captación o bocatoma. La cantidad de agua es captada de una fuente natural, luego es conducida por un canal principal y derivada por un canal de distribución y finalmente el agua llega a nivel de parcela para algún cultivo del producto agrario. Esta eficiencia está compuesta por la Eficiencia de Conducción en el canal principal, Eficiencia de Distribución en los canales laterales y la Eficiencia de Aplicación a nivel de parcela. [Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), 2015]

Tabla 33: *Determinación de la Eficiencia de Conducción y de Infiltración por tramo – Con Proyecto.*

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION Y DE INFILTRACION POR TRAMO - CON PROYECTO											
Punto Control	NOMBRE CANAL	Ubicación Progresiva		Longitud (m)	Aforo (m3/s) Inicio Final		Pérdidas (m3/s)	Perimetro (m)	Infiltración (l/m2/día)	Eficiencia (%)	Observación
Tramo I	SAN PEDRO	0+000	3+500	3,500	0.600	0.580	0.020	1.600	1080.000	96.67	Canal de Concreto
				3,500	0.600	0.580	0.020				

EFICIENCIA DE CONDUCCION %	96.67
EFICIENCIA DE DISTRIBUCION %	95.00
EFICIENCIA DE APLICACIÓN %	40.00
EFICIENCIA DE RIEGO %	36.73

Fuente: Autoría Propia

f) Cálculo de Demanda de Agua Mensual

El procedimiento de este cálculo depende mucho de la cedula del cultivo propuesto; ya que sus valores varían de acuerdo al tipo de cultivo, área que se va irrigar y las condiciones meteorológicas mensuales.

Tabla 34: *Cálculo de la Demanda de Agua*

CULTIVO DE REFERENCIA	Área (has)	Áreas Cultivadas por mes (has)											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
MAIZ	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
ARROZ	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20	155.20
FRUTALES	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
AREA CULTIVADA (has)	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20	175.20
Kc Ponderado	KcPnd	1.17	1.13	1.03	1.10	1.13	1.05	1.17	1.10	1.02	1.10	1.10	0.98
Etp (mm/día)	ETP día	4.15	4.27	4.58	4.30	4.07	3.70	3.54	3.63	3.87	3.91	3.91	4.04
Etp (mm/mes)	ETP mes	128.65	119.56	141.98	129.00	126.17	111.00	109.74	112.53	116.10	121.21	117.30	125.24
Eta (mm/mes)	ETA mes	150.09	135.50	146.71	141.90	142.99	116.55	128.03	123.78	118.04	133.33	129.03	123.15
Pp (mm/mes)	PP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Número de días por mes	Días	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
Demanda Neta (mm/mes)	DN	150.09	135.50	146.71	141.90	142.99	116.55	128.03	123.78	118.04	133.33	129.03	123.15
Eficiencia de riego	Ef%	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367	0.367
Horas de riego/día	Horas	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Demanda Bruta (mm/mes)	DB	408.60	368.88	399.40	386.30	389.27	317.29	348.54	336.98	321.33	362.97	351.26	335.26
Demanda Unitaria (m3/mes)	DU	4,085.98	3,688.78	3,993.99	3,862.98	3,892.72	3,172.87	3,485.39	3,369.77	3,213.29	3,629.70	3,512.61	3,352.61
Módulo de Riego (lps/ha)	MR	3.05	3.05	2.98	2.98	2.91	2.45	2.60	2.52	2.48	2.71	2.71	2.50
Caudal Q (l/s)	Q	534.55	534.29	522.51	522.22	509.26	428.92	455.97	440.85	434.39	474.85	474.85	438.60

Fuente: Autoría Propia

Tabla 35: *Cálculo de la Demanda de Agua Mensual*

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CAUDAL (l/s)	534.55	534.29	522.51	522.22	509.26	428.92	455.97	440.85	434.39	474.85	474.85	438.60

Fuente: Autoría Propia

Caudal de operación del sistema = $Q + Q/10 = 534.55 \text{ l/s} + 53.455 = 588.005 \text{ l/s} = 588.00/1000 = 0.59 \text{ m}^3/\text{s}$

g) Caudal de diseño para el canal principal

El cálculo del caudal de diseño para el canal principal se ha basado al mes que presenta máxima demanda de agua; es por ello que se ha considerado que el caudal de diseño será de $0.60\text{m}^3/\text{s}$ para 12 horas de riego.

4.1.3.2. Diseño Hidráulico de Canal

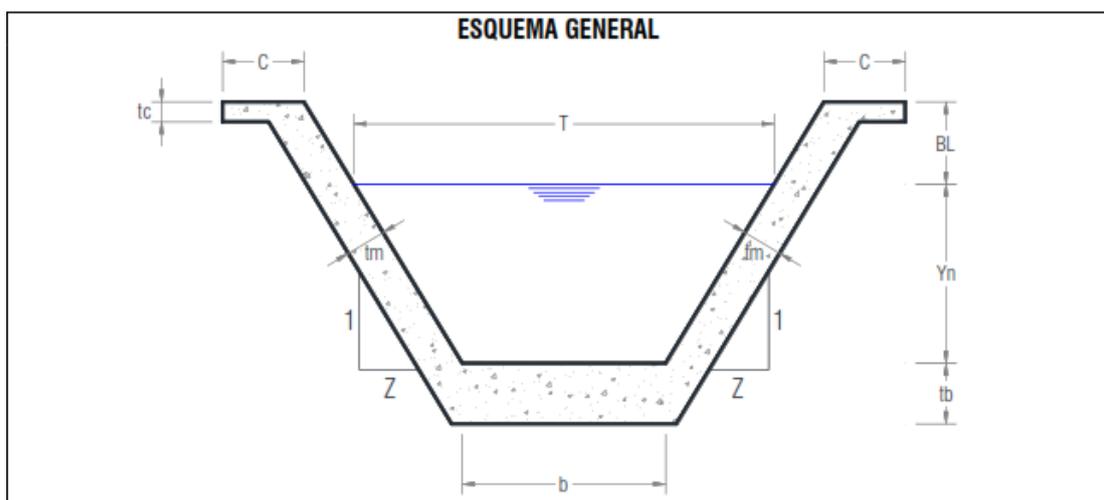


Figura 26: Sección Típica del canal, indicando sus partes

Fuente: Autoria Propia

A) Datos

Caudal de Diseño	:	Q	=	0.60	m^3/s
Ancho de Solera	:	b	=	0.80	m
Talud	:	Z	=	1.00	
Rugosidad	:	n	=	0.014	
Pendiente	:	S	=	0.0028	m/m
Borde Libre	:	BL	=	0.537	m
Ancho de Corona	:	C	=	0.20	m
Temp. del Agua	:	Ta	=	25.0	$^{\circ}\text{C}$
Espesor de Corona	:	Tc	=	0.13	m
Espesor de Muro	:	Tm	=	0.13	m

Espesor de Solera : Tb = 0.13 m

B) Tirante Normal (yn)

Por ecuación de Manning:

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

Donde:

- Q : Caudal de Diseño
- A : Área Hidráulica
- P : Perímetro Mojado
- R : Radio Hidráulico
- S : Pendiente del Canal
- T : Espejo de Agua
- y : Tirante de Agua
- g : Aceleración de la Gravedad (g=9.81 m/s²)

$$A = (b + Z * y) * y$$

$$P = b + 2 * y * \sqrt{1 + Z^2}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + Z * y) * y}{b + 2 * y * \sqrt{1 + Z^2}}$$

$$T = b + 2 * Z * y$$

Mezclado las ecuaciones se tiene:

$$Q = \frac{[(b + Z * y) * y]^{5/3} * S^{1/2}}{(b + 2 * y * \sqrt{1 + Z^2})^{2/3} * n}$$

$$0.60 = \frac{[(0.80 + 1.0 * y) * y]^{5/3} * 0.028^{1/2}}{(0.80 + 2 * y * \sqrt{1 + 1.0^2})^{2/3} * 0.014}$$

$$y = 0.3627m$$

C) Área Hidráulica (A)

$$A = (b + Z * y) * y$$

$$A = (0.80 + 1.0 * 0.3627) * 0.3627$$

$$A = 0.4217 \text{ m}^2$$

D) Espejo de Agua (T)

$$T = b + 2 * Z * y$$

$$T = 0.80 + 2 * 1.0 * 0.3627$$

$$T = 1.525 \text{ m}$$

E) Perímetro Mojado (P)

$$P = b + 2 * y * \sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 0.80 + 2 * 0.3627 * \sqrt{1 + 1^2}$$

$$P = 1.826 \text{ m}$$

F) Radio Hidráulico (R)

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + Z * y) * y}{b + 2 * y * \sqrt{1 + Z^2}}$$

$$R = 0.4217 / 1.826$$

$$R = 0.231 \text{ m}$$

G) Velocidad Media (V)

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

$$V = 0.60 / 0.4217$$

$$V = 1.4228 \text{ m/s}$$

H) Energía Específica (E)

$$E = y + \alpha * \frac{V^2}{2 * g}, \alpha = 1.0$$

$$E = 0.3627 + 1.0 * ((1.4228 * 1.4228) / 2 * 9.81)$$

$$E = 0.466 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{kg}$$

I) Número de Froude (F)

$$F = \frac{V}{\sqrt{\frac{g * A}{T}}}$$

$$F = \frac{1.4228}{\sqrt{\frac{9.81 * 0.4217}{1.525}}}$$

$$F = 0.864 \text{ (FLUJO SUBCRÍTICO)}$$

J) Peso Específico y Viscosidad Cinemática del Agua

El cálculo del peso específico y viscosidad siempre se calculan en función a la temperatura, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 36: Valores de Peso Específico y Viscosidad Cinemática.

N	Temperatura Ta (°C)	Densidad ρ (kgf*s ² /m ⁴)	Peso Específico γ_w (kgf/m ³)	Viscosidad Dinámica μ (kgf*s/m ²)	Viscosidad Cinemática ν (m ² /s)
1	0	101.94	1000	1.81E-04	1.78E-06
2	5	101.94	1000	1.55E-04	1.52E-06
3	10	101.94	1000	1.33E-04	1.30E-06
4	15	101.94	1000	1.17E-04	1.15E-06
5	20	101.74	998	1.04E-04	1.02E-06
6	25	101.63	997	9.09E-05	8.94E-07
7	30	101.53	996	8.15E-05	8.03E-07
8	35	101.33	994	7.32E-05	7.22E-07
9	40	101.12	992	6.63E-05	5.65E-07
10	45	100.92	990	6.06E-05	6.00E-07
11	50	100.71	988	5.52E-05	5.48E-07
12	55	100.51	986	5.08E-05	5.05E-07
13	60	100.31	984	4.68E-05	4.67E-07
14	65	100.00	981	4.39E-05	4.39E-07
15	70	99.69	978	4.10E-05	4.11E-07
16	75	99.39	975	3.81E-05	3.83E-07
17	80	98.98	971	3.56E-05	3.60E-07
18	85	98.67	968	3.36E-05	3.41E-07
19	90	98.37	965	3.17E-05	3.22E-07
20	95	98.06	962	2.98E-05	3.04E-07
21	100	97.66	958	2.87E-05	2.94E-07

Fuente: Rocha Arturo, 2007

Luego, para Ta = 25.0 °C se tiene:

$$\gamma_w = 997 \text{ kgf/m}^3$$

$$\nu = 8.94E-07 \text{ m}^2/\text{s}$$

K) Numero de Reynolds (Re)

La característica principal del número de Reynolds es que las fuerzas de gravedad y viscosas son primordiales en la conducta de un flujo respecto a la relación de las fuerzas de inercia.

$$Re = \frac{V * R}{\nu}$$

$$R_e = 1.4228 \cdot 0.231 / 8.94E-07$$

$$R_e = 367573.13$$

L) Tipo de Flujo de Acuerdo al Numero de Reynolds

(Según: VILLON BEJAR, Máximo. HIDRAULICA DE CANALES. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. Lima - Perú, 2007)

- **Flujo Laminar para $R_e < 580$** , para este estado las fuerzas viscosas son aproximadamente más grandes que las fuerzas de inercia.
- **Flujo de Transición para $580 \leq R_e \leq 750$** , en esta condición el estado es mixto entre laminar y turbulento.
- **Flujo Turbulento para $R_e > 750$** , en esta condición las fuerzas viscosas presentan mayor debilidad en comparación con las fuerzas de inercia.

Luego de realizar el cálculo se obtuvo que nuestro R_e es mayor a 750 y según el tipo de flujo de acuerdo al número de Reynolds se llega a la conclusión que nuestro flujo es: **FLUJO TURBULENTO.**

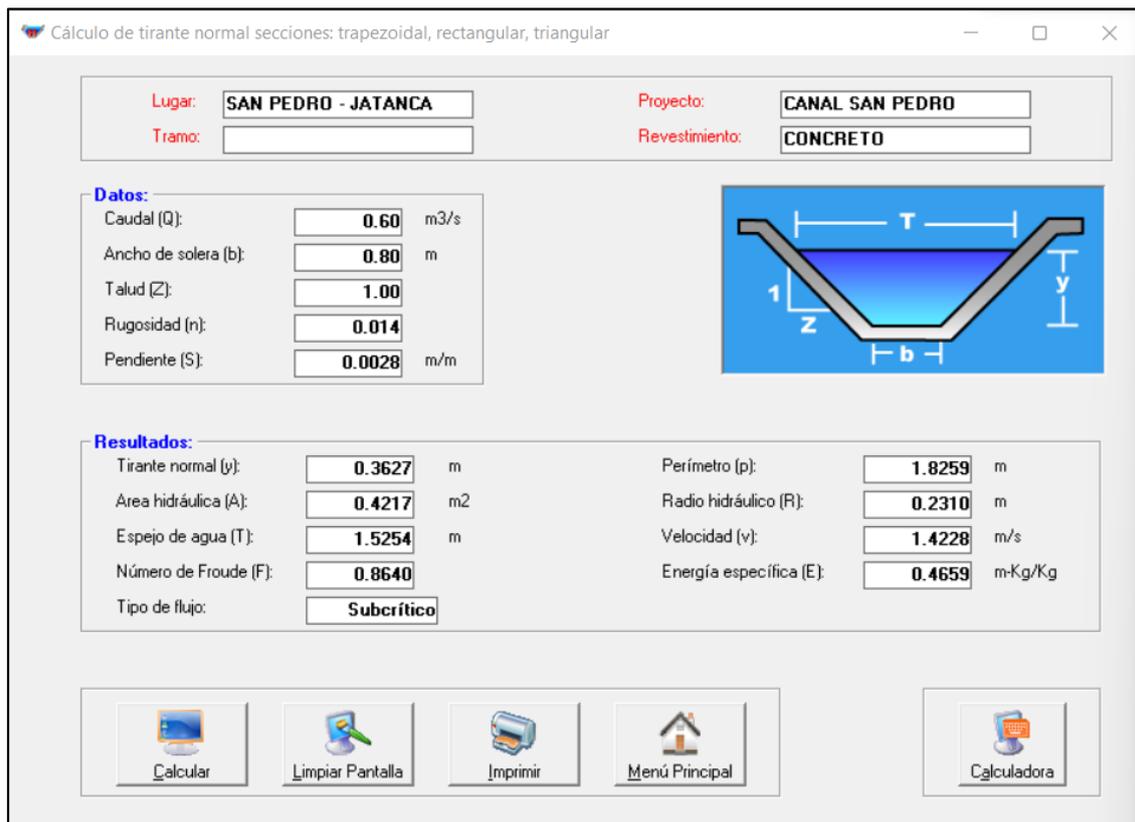


Figura 27: Elementos Geométricos del canal, indicando los valores correspondientes.

Fuente: H Canales, 2022

4.1.3.3. Diseño de tomas laterales

Las condiciones topográficas que presente la rasante del canal alimentador y el canal derivador, son importantes para el diseño de las tomas laterales. El estudio de las pérdidas de carga nos permite el cálculo de los niveles de energía, muy importantes para el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas.

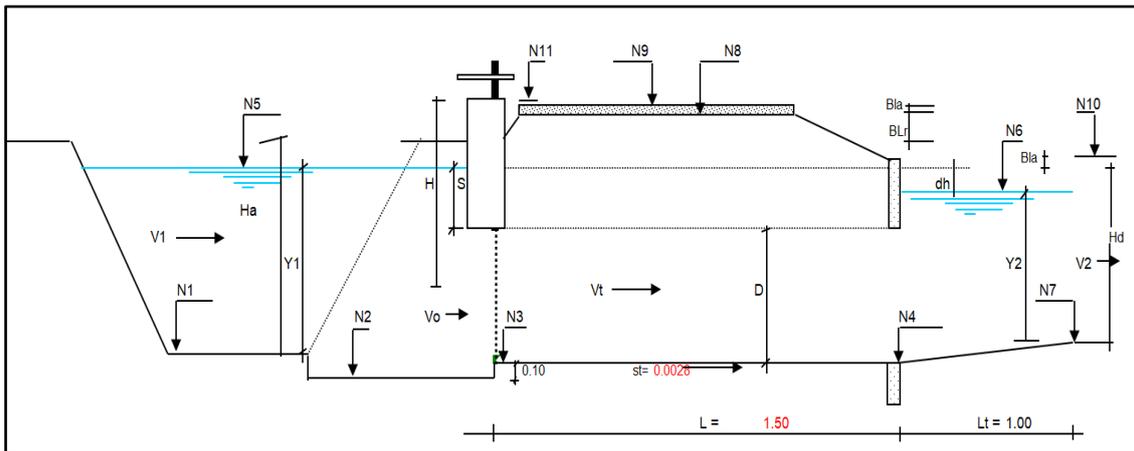


Figura 28: Elementos Geométricos de una Toma Lateral, indicando sus valores correspondientes.

Fuente: Autoría Propia

A. CALCULO HIDRAULICO

Tabla 37: Canal Alimentador

CANAL ALIMENTADOR		
Caudal (m ³ /s)	Qa	0.600
Ancho de Base (m)	ba	0.800
Talud	Z	1.000
Pendiente m/m	Sa	0.0028
Rugosidad	n	0.014
Altura de agua (m)	Y1	0.363
Velocidad (m/s)	V1	1.423
Carga de Velocidad (m)	hv1	1.423
Altura de canal (m)	Ha = 0.48	0.90

Fuente: Autoría Propia

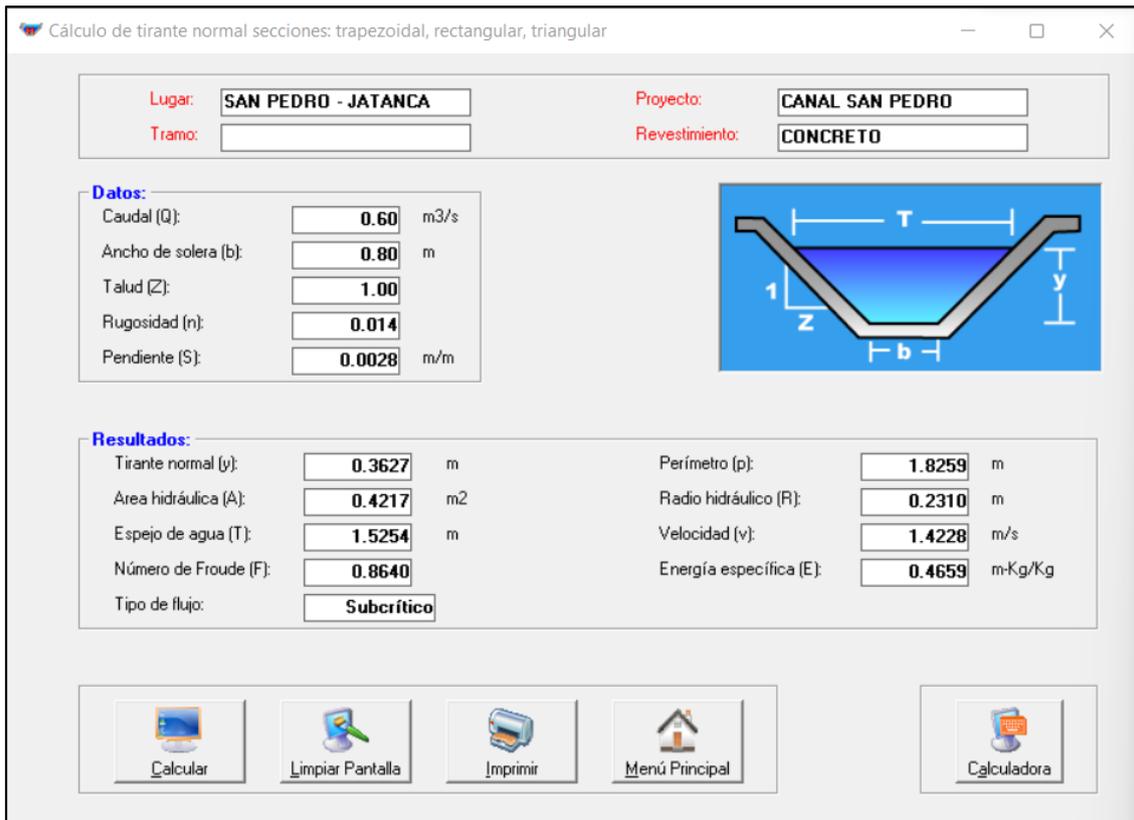


Figura 29: Sección Típica del Canal Alimentador, indicando sus valores geométricos.

Fuente: H Canales, 2022

Tabla 38: Canal de Derivación

CANAL DE DERIVACIÓN		
Caudal (m3/s)	Qa	0.320
Ancho de Base (m)	ba	0.800
Talud	Z	0.000
Pendiente m/m	Sa	0.0028
Rugosidad	n	0.014
Altura de agua (m)	Y2	0.331
Velocidad (m/s)	V2	1.210
Carga de Velocidad (m)	hv2	0.06
Altura de canal (m)	Hd = 0.84	1.00

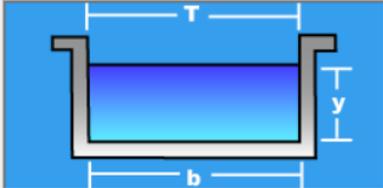
Fuente: Autoría Propia

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **SAN PEDRO - JATANCA** Proyecto: **CANAL SAN PEDRO**
Tramo: Revestimiento: **CONCRETO**

Datos:

Caudal (Q): m³/s
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m



Resultados:

Tirante normal (y): m Perímetro (p): m
Área hidráulica (A): m² Radio hidráulico (R): m
Espejo de agua (T): m Velocidad (v): m/s
Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg/Kg
Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 30: Sección Típica del Canal de Derivación, indicando sus valores geométricos.

Fuente: H Canales, 2022

- La velocidad en el canal de la estructura de la toma debe ser similar a la del canal derivado, es decir, $V_t = V_d$; por lo tanto:

$$A \text{ (m}^2\text{)} = Q_a / V_2$$

$$A = 0.320 / 1.210$$

$$\mathbf{A = 0.264 \text{ m}^2}$$

- Luego realizaremos un tanteo para elegir la compuerta que se ajuste a la sección que estamos considerando en el proyecto (sección cuadrada), con la única finalidad que el caudal que pase por ella no tenga pérdidas apreciables. Probamos con distintos tipos de compuertas, pero llegamos a la conclusión que utilizaremos

una compuerta deslizante Tipo ARMCO Modelo 5.00: 16 x 16 pulgadas y un tubo de diámetro D = 16 pulgadas = 16 * 0.0254 = 0.406 m.

- Área del tubo (m²):

$$A_t = \text{PI} () * 0.406 * 0.406 / 4$$

$$\mathbf{A_t = 0.13 \text{ m}^2}$$

- Velocidad en el tubo (m/s):

$$V_t = Q_d / A_t$$

$$V_t = 0.320 / 0.13$$

$$\mathbf{V_t = 2.48 \text{ m/s}}$$

Verificamos que la Velocidad en él tubo es mayor a 1.21 m/s, que vendría ser la velocidad del canal de Derivación; por lo tanto, cumple con lo establecido.

- Después de realizar el cálculo observamos que la velocidad "V_t" tiene una similitud con la velocidad del canal derivado, por ello pasamos a realizar el cálculo de las pérdidas de carga:

$$\mathbf{dh (m): (V_t^2 / 19.62) * [1 + (0.78 / C_c^2) + f * (L / D)]}$$

- ✓ Coeficiente de Contracción en la Tubería:
C_c = 0.644 (valor normal, cuando la toma es perpendicular al canal)
- ✓ Factor de fricción: f = 0.0167 (en la Tabla N° 38, con D = 16" y V_t = 2.48 m/s)

Tabla 39: Factor de Fricción

Diámetro		Velocidad (Vt) en m/s										
(Pulg)	(m)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.44	3.05	4.57	6.10	
		f										
4	0.10	0.0285	0.0255	0.0240	0.0230	0.0225	0.0220	0.0210	0.0200	0.0190	0.0180	
5	0.13	0.0275	0.0245	0.0230	0.0225	0.0215	0.0210	0.0200	0.0195	0.0185	0.0175	
6	0.15	0.0265	0.0240	0.0225	0.0215	0.0210	0.0200	0.0195	0.0190	0.0175	0.0170	
8	0.20	0.0255	0.0230	0.0215	0.0205	0.0200	0.0195	0.0185	0.0180	0.0170	0.0160	
10	0.25	0.0245	0.0220	0.0205	0.0200	0.0190	0.0185	0.0180	0.0175	0.0165	0.0155	
12	0.30	0.0235	0.0215	0.0200	0.0190	0.0185	0.0180	0.0175	0.0170	0.0160	0.0150	
14	0.36	0.0233	0.0210	0.0197	0.0188	0.0183	0.0178	0.0170	0.0165	0.0155	0.0148	
16	0.41	0.0228	0.0205	0.0194	0.0185	0.0180	0.0175	0.0167	0.0162	0.0152	0.0145	
18	0.46	0.0220	0.0200	0.0190	0.0180	0.0175	0.0170	0.0165	0.0160	0.0150	0.0140	
20	0.51	0.0215	0.0195	0.0185	0.0175	0.0170	0.0165	0.0160	0.0155	0.0145	0.0140	
24	0.61	0.0210	0.0190	0.0180	0.0170	0.0165	0.0160	0.0155	0.0150	0.0140	0.0135	
30	0.76	0.0200	0.0185	0.0175	0.0165	0.0160	0.0155	0.0150	0.0145	0.0135	0.0130	
36	0.91	0.0195	0.0180	0.0170	0.0160	0.0155	0.0150	0.0145	0.0140	0.0130	0.0125	
42	1.07	0.0190	0.0175	0.0165	0.0155	0.0150	0.0145	0.0140	0.0135	0.0130	0.0125	
48	1.22	0.0185	0.0170	0.0160	0.0155	0.0150	0.0145	0.0140	0.0135	0.0125	0.0120	
60	1.52	0.0180	0.0165	0.0155	0.0150	0.0145	0.0140	0.0135	0.0130	0.0120	0.0115	
72	1.83	0.0175	0.0160	0.0150	0.0145	0.0140	0.0135	0.0130	0.0125	0.0120	0.0115	
84	2.13	0.0170	0.0155	0.0145	0.0140	0.0135	0.0130	0.0125	0.0120	0.0115	0.0110	
96	2.44	0.0165	0.0150	0.0140	0.0135	0.0130	0.0125	0.0120	0.0120	0.0110	0.0105	

Fuente: Russell George, 1976

- ✓ Al reemplazar los valores en la fórmula, se obtiene:

$$dh = (2.48^2/19.62) * [1+(0.78/0.644^2) + 0.0167*(1.50/0.406)]$$

$$dh = 0.922$$

Asumimos: dh = 1.1 (perdida de carga en la toma).

El valor de " dh ", se aproxima al mayor ya que de haber aproximado dh = 0.920 m, no nos garantiza de que pasara el caudal necesario; es por ello que aproximamos a: 1.1 m, nos permitirá que el caudal aumenté y poder controlarlo mediante la compuerta.

- Determinada la pérdida de carga en la toma (dh), pasaremos a esquematizarla:

- ✓ Cota de Rasante de fondo de Canal Alimentador " N1 ".

$$N1 = 0 \text{ msnm}$$

- ✓ Nivel de Agua Canal Alimentador: N1+Y1

$$N5 = 0 + 0.363$$

$$\mathbf{N5 = 0.363 \text{ msnm}}$$

- ✓ Cota de Rasante de fondo de Canal Derivado " N7 ".

$$N7 = 0.363 - 1.1 - 0.331$$

$$\mathbf{N7 = -1.068 \text{ msnm}}$$

- ✓ Con el objetivo de obtener un cálculo del caudal bastante aproximada, la sumergencia " S " tiene que ser igual al diámetro del conducto, es decir: $S = D$; por lo tanto, se tiene que la:

Cota de Captación:

$$N3 = 0.363 - 2 * 0.406$$

$$\mathbf{N3 = - 0.449 \text{ msnm}}$$

- ✓ Asumimos un valor de 0.10 m, por el empotramiento de la compuerta.

Cota del escalón:

$$N2 = - 0.449 - 0.10$$

$$\mathbf{N2 = - 0.549 \text{ msnm}}$$

- ✓ Nivel de Agua Canal Derivado: $\mathbf{N1 - dh}$

$$N6 = 0 - 1.1$$

$$\mathbf{N6 = - 1.1 \text{ msnm}}$$

- ✓ Cota: salida del conducto:

$$N4 = -0.449 - 1.50 * 0.0028$$

$$\mathbf{N4 = - 0.453 \text{ msnm}}$$

- ✓ Nivel de subrasante:

$$\mathbf{N8 = N1 + BLr + Ha}$$

Altura del Relleno, $BLr = 0.20 \text{ m}$

Altura del canal alimentador, $Ha = 0.90 \text{ m}$

$$N8 = 0 + 0.20 + 0.90$$

$$\mathbf{N8 = 1.100 \text{ msnm}}$$

- ✓ Nivel de Carretera Canal Alimentador

$$\mathbf{N9 = N8 + Bla}$$

Borde libre de afirmado, $Bla = 0.20 \text{ m}$

$$N9 = 1.000 + 0.20$$

$$\mathbf{N9 = 1.200 \text{ msnm}}$$

- ✓ Nivel de Carretera Canal Derivado

$$\mathbf{N10 = N7 + Hd + BLr}$$

Altura del canal derivado, $Hd = 1.00 \text{ m}$

Borde libre de afirmado, $BLr = 0.20 \text{ m}$

$$N10 = -1.068 + 1.00 + 0.20$$

$$\mathbf{N10 = 0.132 \text{ msnm}}$$

- ✓ Nivel superior de la pantalla de concreto (N11), donde se empotra la compuerta:

$$\mathbf{N11 = N3 + (D/2) + H}$$

Este valor fue obtenido del manual Compuertas de Control Tipo ARMCO; se observa para compuertas Modelo 5.00 y Tamaño de Abertura: 16 x 16 pulgadas, se tiene un $H = 4$ a 8 pies y tomaremos: $H = 5.5$ pies = 1.68 m .

$$N11 = -0.449 + (0.406/2) + 1.68$$

$$\mathbf{N11 = 1.434 \text{ msnm}}$$

$$N11 = 1.434 > N9 = 1.200 \text{ OK}$$

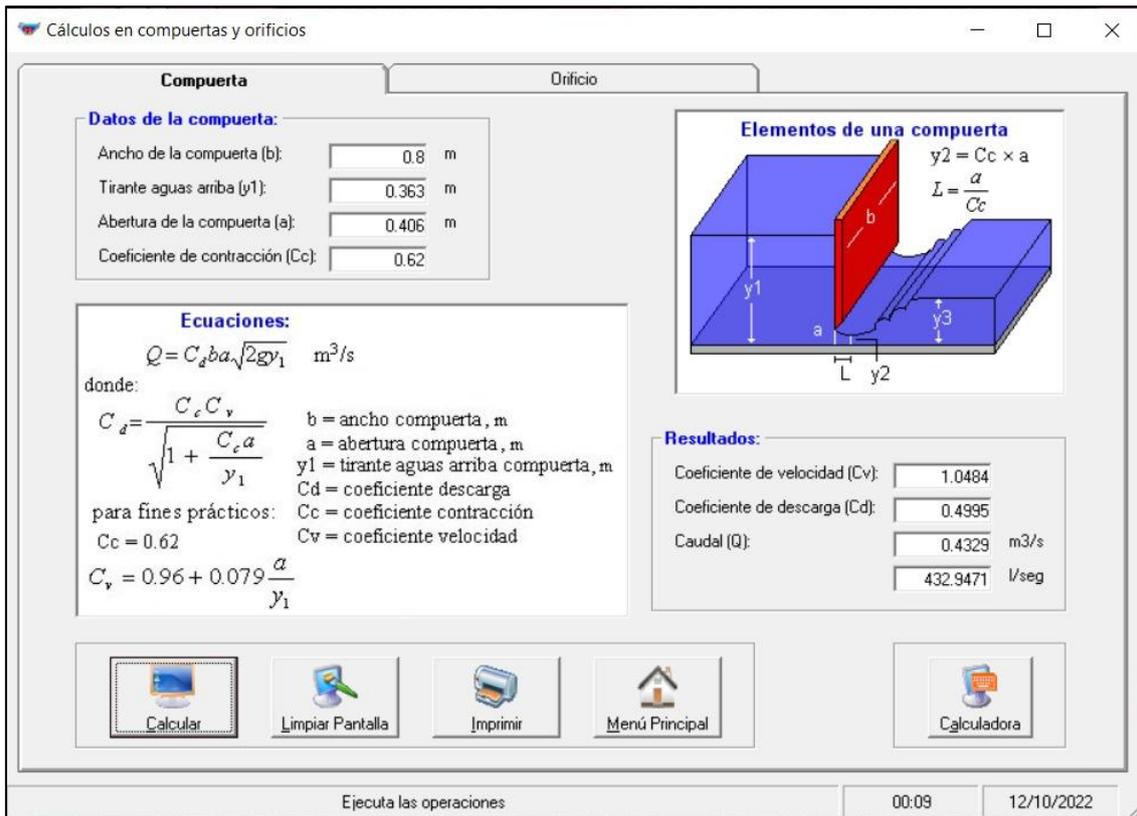


Figura 31: Cálculos de compuerta y orificios.

Fuente: H Canales, 2022

4.1.3.4. Diseño de alcantarillas

Dentro de las obras de arte que contiene nuestro trabajo de investigación se encuentra contemplada las alcantarillas, las mismas que serán utilizadas como puentes de paso para peatones o vehículos ya que existe un camino de acceso aledaño a nuestro proyecto. Además, en algunos casos servirá como puentes de ingreso a tierras de cultivo.

A continuación, presentamos los cálculos de diseño.

- Cálculo de diseño de alcantarilla

Datos:

- Velocidad de diseño (v) = 1.423 m/s
- Caudal (Q) = 0.60 m³/s

Hallamos el área hidráulica:

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

$$A = \frac{0.60}{1.423} = 0.42 \text{ m}^2$$

Sabemos que el tirante (y) es 0.36 m

$$A = b \times h$$

$$b = \frac{0.42}{0.36}$$

$$b = 1.166 \text{ m}$$

Por un criterio de diseño, definimos:

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

Para determinar la altura de la alcantarilla tomamos en cuenta la altura de nuestra sección del canal por lo que definimos la altura de la alcantarilla en 1.00.

$$h = 1.00$$

Nuestra sección final de diseño de alcantarilla quedaría de la siguiente manera:

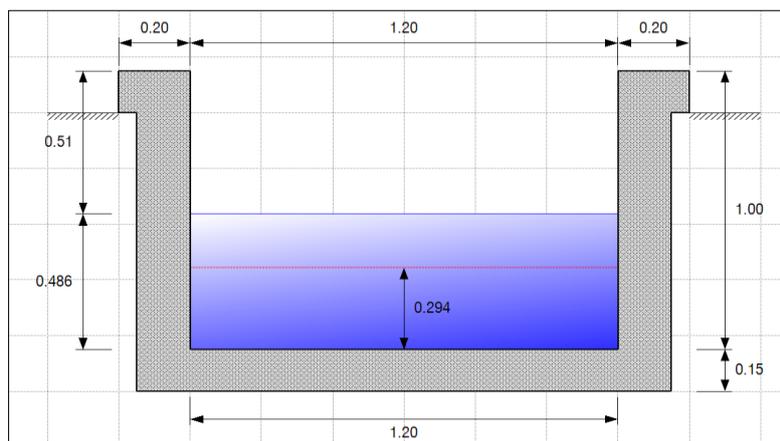


Figura 32: Sección Típica del Canal de Alcantarilla

Fuente: Autoría Propia

- Cálculo de longitud de las transiciones

Formula:

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2 \tan \alpha}$$

Donde:

L= Longitud de transición

T₁ = Espejo de agua de canal

T₂ = Espejo de alcantarilla

α = Angulo entre espejos de agua

Datos:

T₁ = 1.512 m

T₂ = 1.200 m

α = 22.5°

$$L = \frac{1.512 - 1.200}{2 \tan 22.5} = 0.40 \text{ m}$$

Por proceso constructivo tener una transición de 0.40 m no sería manejable en campo, por lo que se determinó ejecutar transiciones con longitud de 1.00 m.

$$L_{\text{transición}} = 1.00 \text{ m}$$

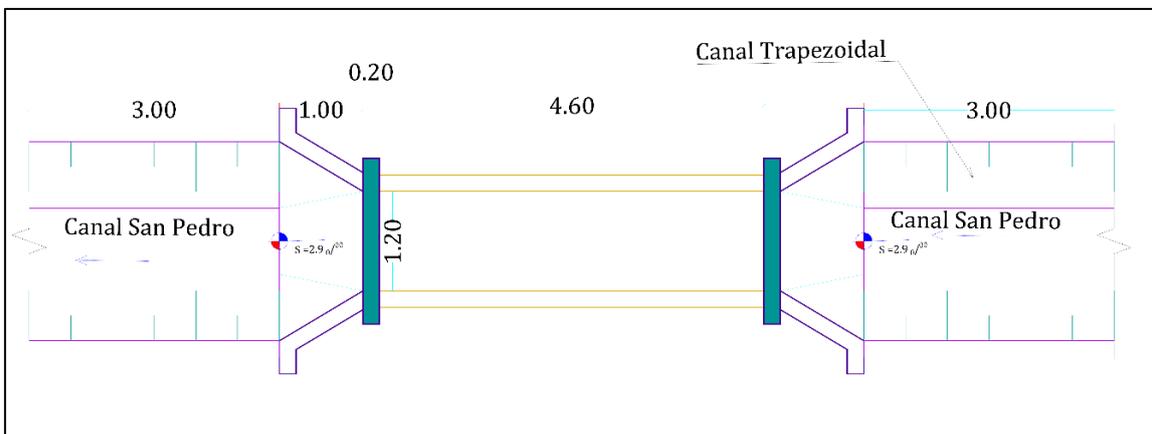


Figura 33: Sección transición y alcantarilla.

Fuente: Autoría Propia

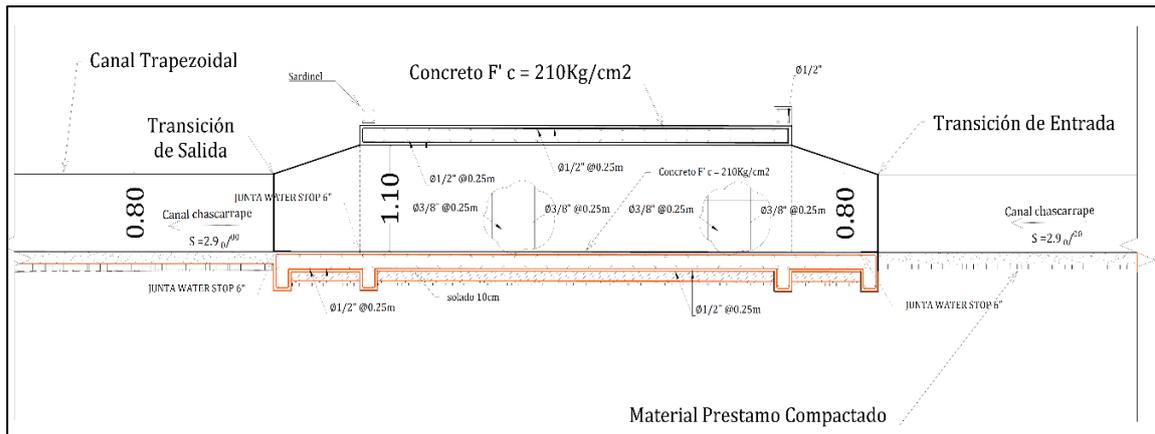


Figura 34: Detalle de corte horizontal en alcantarilla

Fuente: Autoría Propia

4.1.4. Modelamiento hidráulico

Hemos empleado el software Hec-RAS v 6.1 para realizar el modelamiento hidráulico de nuestro canal, tomando algunas consideraciones como realizar el modelo digital con las compuertas cerradas y empleando un caudal crítico de 0.60 m³/s. A continuación, mencionaremos un paso a paso del proceso de modelamiento hidráulico, que a su vez concluye con la aprobación del diseño hidráulico de nuestro canal.

A) Una vez obtenida la superficie de la caja de nuestro canal en el programa CIVIL 3D, procedemos a exportar esta superficie a formato XML

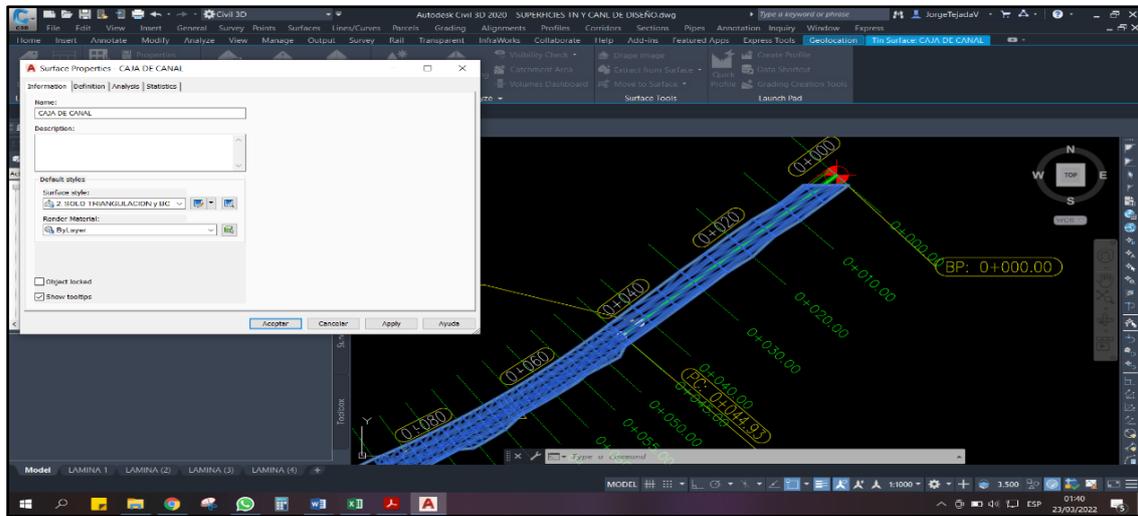


Figura 35: Selección de superficie de caja del canal en Civil 3D

Fuente: Autoría Propia

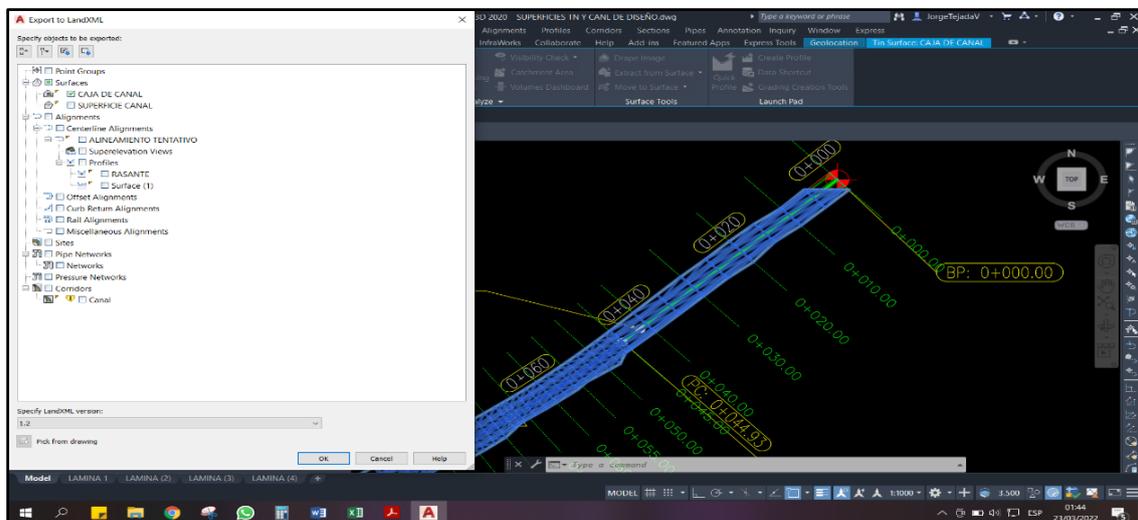


Figura 36: Exportación de superficie de canal a archivo .XML en Civil 3D

Fuente: Autoría Propia

- A) Utilizando el programa Arc GIS 10.5, abrimos nuestra superficie del canal para luego poder exportarla en formato tipo TIFF.
- B) Teniendo la superficie de nuestro canal en formato tipo TIFF, pasamos a abrirlo en RAS-Mapper.

C) Una vez explotada nuestra superficie, pasamos a crear la malla geométrica, iniciando por el perímetro.

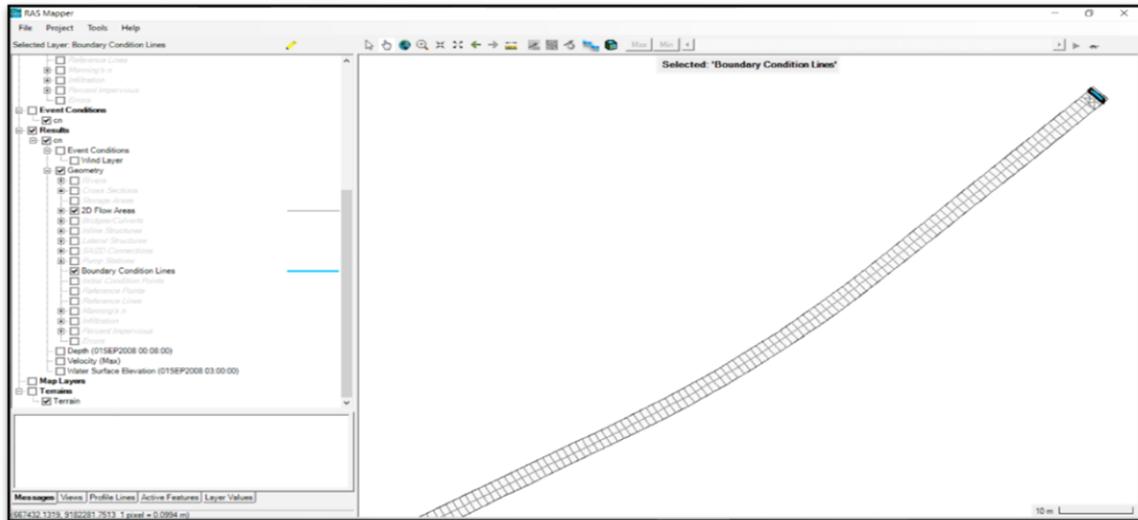


Figura 37: Creación de malla geométrica en Hec-RAS v6.1

Fuente: Autoría Propia

D) Para tener una buena interpolación de la malla geométrica, importamos nuestro eje de diseño a RAS Mapper para emplear el comando “**breaklines**”.

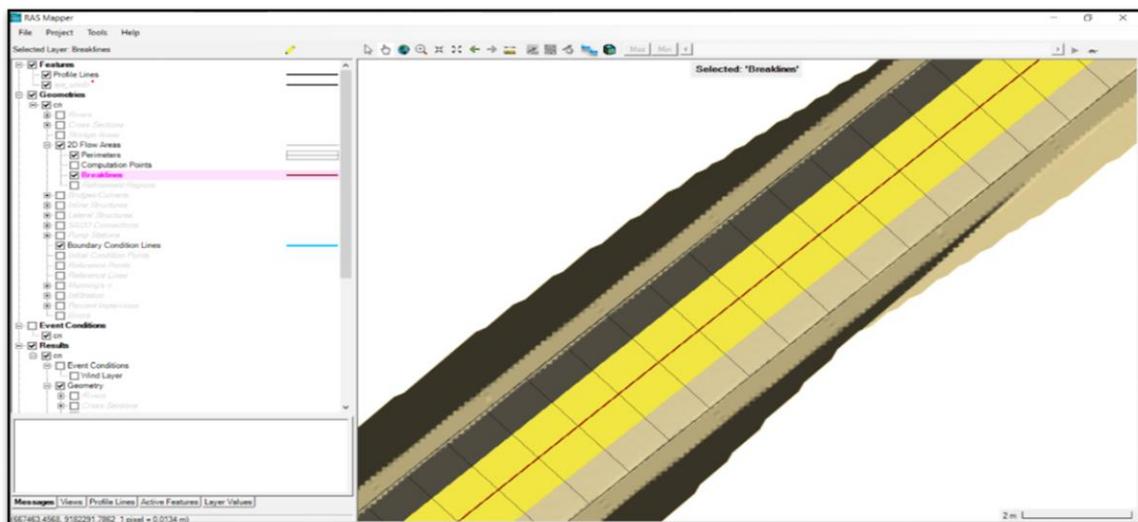


Figura 38: Revisión de breaklines a lo largo de la malla en Hec-RAS v6.1

Fuente: Autoría Propia

E) El siguiente paso es establecer las condiciones de contorno, que básicamente es indicarle al programa el ingreso y el de salida del canal por donde desembocara el agua.

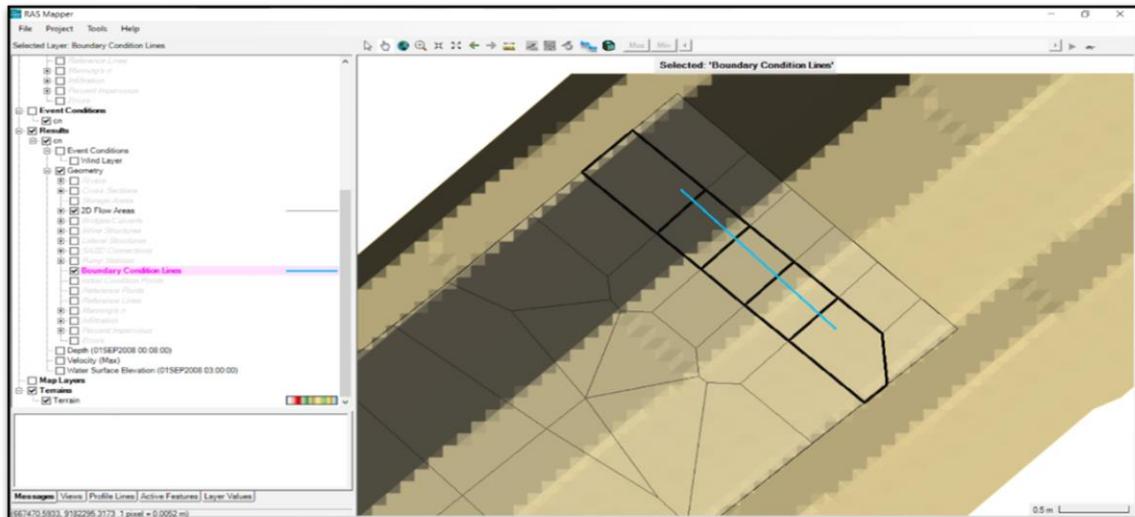
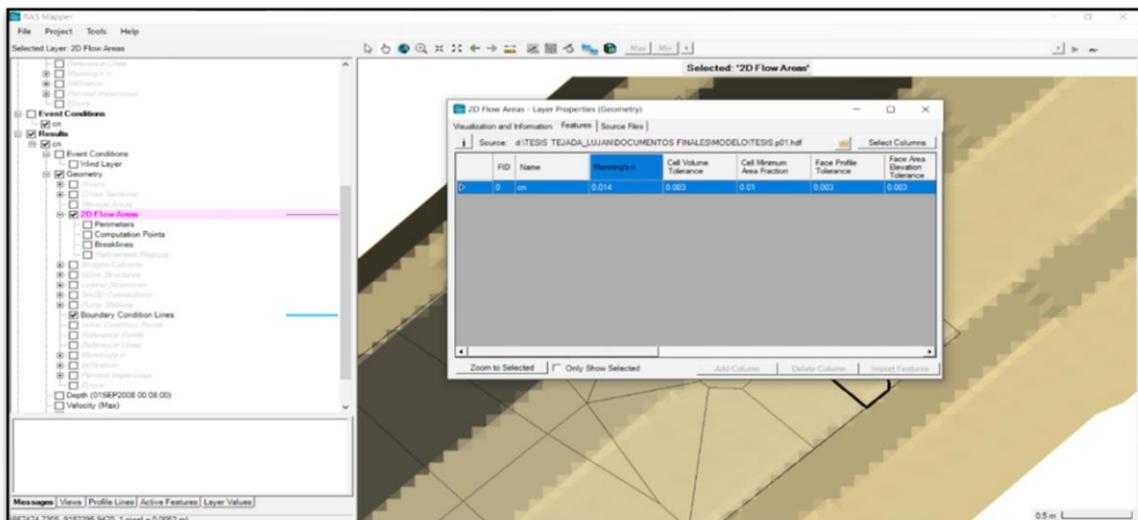


Figura 39: Creación de ingreso del caudal al canal en Hec-RAS v6.1

Fuente: Autoría Propia

F) En este paso el programa nos permitirá ingresar el valor de Manning que en este caso es 0.014.

Figura 40: Ingresamos el coeficiente de rugosidad Manning en Hec-RAS v6.1



Fuente: Autoría Propia

G) Luego verificamos la geometría de nuestro canal y los parámetros configurados hasta este paso.

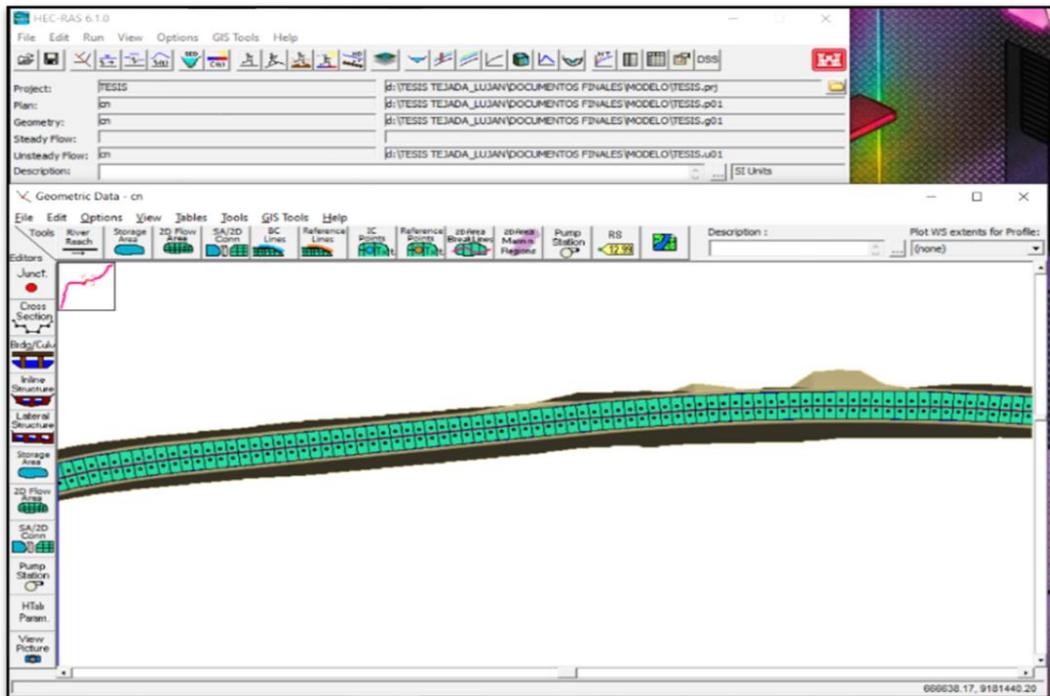


Figura 41: Corroboración de datos ingresados en Hec-RAS v6.1

Fuente: Autoría Propia

H) Ingresamos nuestra pendiente de diseño de nuestro canal que en este caso es de 0.0028.

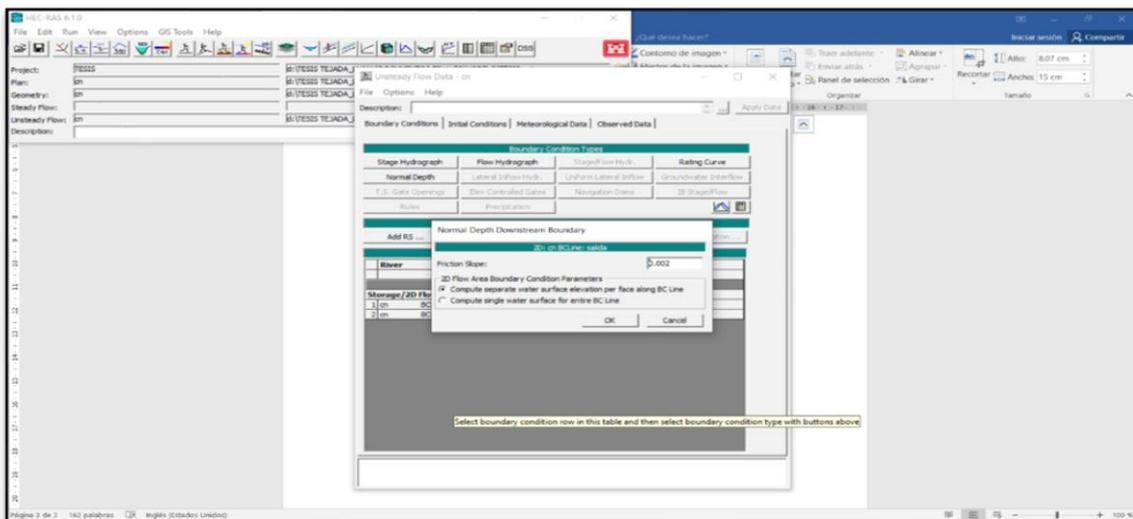


Figura 42: Modificación de pendiente por defecto en Hec-RAS v6.1

Fuente: Autoría Propia

- I) Ingresamos la información recaudada de nuestros hidrogramas, teniendo en cuenta que nuestro canal de diseño el caudal máximo es de 0.60 m³/s.

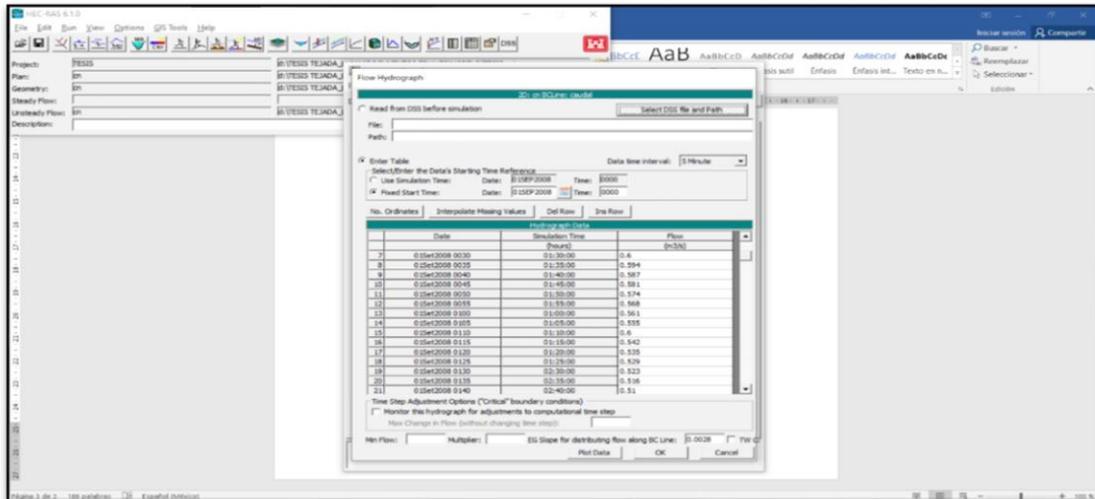


Figura 43: Digitalización de hidrogramas históricos recopilados

Fuente: Autoría Propia

- J) Finalmente corremos el modelo en el programa y analizamos los resultados obtenidos.

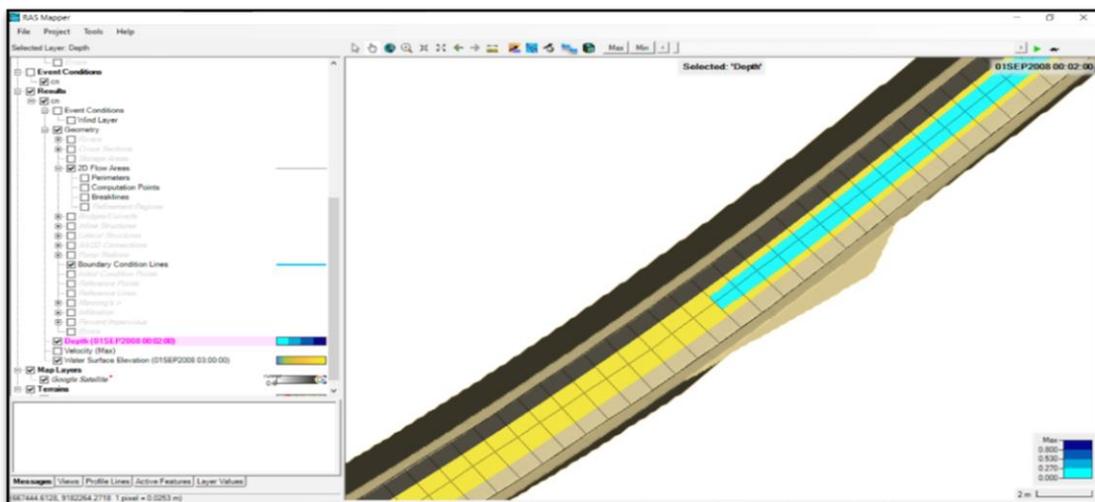


Figura 44: Análisis de recorrido hídrico en el canal de diseño

Fuente: Autoría Propia

En los resultados de nuestro modelamiento podemos observar que existe una escala de color el cual nos indica la cantidad de agua que está pando por nuestra sección de canal.

Llegando a su caudal máximo de 0.60 m³/s no existe un escape de agua en el canal, lo que nos lleva a tomar la conclusión que nuestra sección hidráulica de diseño cumple con todos los parámetros necesarios para el funcionamiento correcto en este proyecto.

4.2. Docimasia de hipótesis

El canal de regadío mediante un diseño correcto y empleando obras de arte para su distribución entre las áreas de cultivo podría permitir aprovechar en un mayor porcentaje el recurso hídrico en el canal San Pedro, se establece como un determinado positivo, ya que mediante la presente investigación hemos logrado diseñar un canal hidráulico que cumple con el propósito de mejorar la trayectoria y técnicas de riego en el sector Jatanca.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- El levantamiento topográfico fue realizado con una estación total TOPCON CTS 3007, conformado por una cuadrilla de cuatro personas, en un periodo de 7 días se logró obtener los detalles necesarios del canal San Pedro para el diseño. La distancia de canal considerada en este estudio fue de 3 kilómetros y 500 metros. Al trabajar con una estación fue necesario establecer una red de puntos de control, 07 puntos principales los cuales nos sirvieron para establecer nuestra poligonal de apoyo, para luego realizar el levantamiento mediante el método de radiación y reducir considerablemente el error en la obtención de los puntos.
- El estudio hidrológico se realizó con la finalidad de encontrar el caudal de diseño para el canal de riego San Pedro, Sector Jatanca. Iniciamos con la información de la cédula de cultivo, proporcionada por la Junta de Usuarios del distrito de Riego Jequetepeque, en cual nos permitió

saber los tipos de cultivos y áreas de cultivos en el lugar de estudio; teniendo como resultado un total de 175.20 has. Para esta etapa del proyecto también se definió el Coeficiente de Cultivo (Kc), que nos permitió saber la relación entre la evapotranspiración de un cultivo determinado y un cultivo de referencia; estos coeficientes fueron obtenidos del Manual N° 24 de la FAO y por otros estudios realizados durante el proceso de elaboración de la tesis.

Para la determinación de la Evapotranspiración Potencial (Eto) se utilizó el método de Penman – Monteith desarrollado por la FAO y la información meteorológica de la estación de Guadalupe (horas del sol, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura). El proceso del cálculo se desarrolló en el software Cropwat 8.0, obteniendo el resultado por cada mes del año en estudio.

La Eficiencia de Riego nos ayudó con la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la captación. Obteniendo la Eficiencia de Conducción de un 96.67 %, la Eficiencia de Distribución de un 95.00 %, la Eficiencia de Aplicación de un 40.00 % y la Eficiencia de Riego de un 36.73 %. De esta manera llegamos a un valor de 0.60 m³/s, para el caudal de diseño del canal.

- Se logró trazar el alineamiento del nuevo canal, donde definimos una pendiente de rasante del 2.8‰. Para diseñar la sección típica del canal nos basamos en los resultados obtenidos del canal de tierra, esto nos llevó a obtener un canal trapezoidal. En cuanto la distribución correcta del recurso hídrico se incluyó obras de arte como 25 tomas laterales y 09 alcantarillas. Las tomas laterales se reubicaron estratégicamente, las cuales llevarán unas compuertas que serán abiertas con una previa coordinación entre la junta de regantes. Si hablamos de las alcantarillas, fueron necesarias plantearlas ya que existe un camino aledaño al canal San Pedro, en ciertos tramos esta ruta de acceso cruza el canal de regadío.
- Se procedió a evaluar el comportamiento hidráulico en el recorrido total de los 3.5 km del canal San Pedro, por medio de un modelamiento utilizando el software Hec RAS v 6.1, plasmamos nuestro canal de diseño empleando como caudal máximo 0.60 m³/s y una pendiente de

rasante del 3%. Para realizar el análisis en un panorama crítico se consideró tener las compuertas cerradas. Obtuvimos como resultado la corroboración que nuestro canal de diseño cumple con los parámetros mínimo al no existir desbordes en ninguno de sus tramos.

CONCLUSIONES

- El levantamiento topográfico se realizó desde la progresiva 0+000.00 KM hasta la progresiva 3+500.00, obteniendo detalle en todas las interferencias como tomas laterales existentes y alcantarillas. Se instalaron 03 BM's principales y 07 BM's auxiliares para los cambios de estación. El canal se encontraba con agua, sin embargo, se tuvo que tomar detalles del fondo del canal, para realizar el análisis de la pendiente de diseño. Para tener un mayor rendimiento la cuadrilla se conformó por 03 ayudantes y 01 topógrafo. Con la finalidad de obtener mayor detalle del canal la toma de datos se realizó en segmentos cada 30.00 m y en caso de las curvas cada 10.00 m. El sistema de coordenadas utilizado fue WGS84.
- En las conclusiones de nuestro estudio de mecánica de suelos, según la clasificación SUCS, el área de estudio presenta un tipo de suelo Grava Arcillosa (GC) de regular humedad, baja plasticidad y de compacidad media compacta. En la malla #200 el porcentaje que pasó fue 12.87%, con diámetros característicos $D_{10}=0.30$ mm, $D_{30}=1.50$ mm, y $D_{60}=6.20$ mm.
- Se realizó el diseño del canal de riego basado en la cedula de cultivo obteniendo los siguientes datos: maíz con un área de 12.00 has., arroz con un área de 155.20 has. y frutales con un área de 8.00 has. Teniendo como área total 175.20 has. El cálculo de la eficiencia de riego nos permitió encontrar la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la captación; se obtuvo como resultados, lo siguiente: Eficiencia de Conducción un 96.67 %, Eficiencia de Distribución un 95.00 %, Eficiencia de Aplicación un 40.00 % y la Eficiencia de Riego un 36.73 %.

- Se realizó en cálculo del caudal de diseño para el canal principal en base a la cédula de cultivo propuesta y al mes de máxima demanda de agua; llegando a que el caudal de diseño fue de 0.60 m³/s para un tiempo de riego de 12 horas. Con el resultado obtenido, calculamos las características geométricas del canal de riego: Tirante Normal (Y_n) = 0.3627 m, Área Hidráulica (A) = 0.4217 m², Espejo de Agua (T) = 1.525 m, Perímetro Mojado (P) = 1.826 m, Radio Hidráulico (R) = 0.231 m, Velocidad Media (V) = 1.4228 m/s, Energía Específica (E) = 0.466 m·kg/kg y el Número de Froude (F) = 0.864 (Flujo Subcrítico).
- Se diseñaron 25 tomas laterales. En las tomas laterales se trabajó con un caudal de 0.320 m³/s, ancho de base de 0.800 m, talud de 0.000, pendiente de 0.0028 m/m, una rugosidad de 0.014, altura de agua (y) de 0.331 m y velocidad de 1.210 m/s. Para las compuertas se calculó un ancho de 0.80 m, tirante de agua de 0.331 m, abertura de la compuerta de 0.50 m y coeficiente de contracción igual a 0.62. Se tomó como características las pendientes de ingreso/salida.
- Se diseñaron 09 alcantarillas. En estas obras de arte se trabajó con caudal de 0.60 m³/s y la velocidad de diseño igual a 1.458 m/s. Se calculó un área de 0.42 m², una base de 1.20 m, una altura de 1.00m y para las transiciones se obtuvo una longitud de 0.40 m, pero no sería manejable en campo, por lo que se tomó una longitud de 1.00m para ejecutar las transiciones.

RECOMENDACIONES

- En cuanto a la topografía, se recomienda instalar puntos geodésicos de orden “C” certificados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), para el estudio y ejecución del proyecto, esto garantizará obtener resultados con mayor precisión. Además, sería recomendable realizar un vuelo con dron para obtener un levantamiento fotogramétrico de los márgenes y obtener mayor información de las áreas de cultivo involucradas.
- Con respecto al caudal de diseño, no podemos garantizar que el caudal máximo calculado pueda ser el más desfavorable, por motivo que nuestro país no cuenta con información hidrológica consistente; es por ello que se recomienda que en las futuras investigaciones se utilice una o más estaciones climáticas cercanas al sector de estudio.
- Se recomienda que, por intermedio de la Junta de Usuarios, capacitar a los beneficiarios sobre el manejo de técnicas de riego y de esta manera aprovechar su máxima eficiencia del canal San Pedro – Sector Jatanca.
- Se recomienda concientizar a la población alrededor del proyecto, sobre la limpieza del canal, ya que la contaminación del mismo afectaría al rendimiento y calidad del recurso hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcántara, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones* (1 ra).
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2010). *Manual criterios de diseño de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*.
- Bravo Corante, E. A. (2016). *Diseño y Construcción de un canal hidráulica con vertedero lateral para el laboratorio de hidráulica*. UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES SANTIAGO DE CHILE.
- Costa, J. (2018). *Diseño de la infraestructura del canal de riego Pampas de Jahuey - caserío Pampas de Jahuey - distrito de Ascope - departamento La Libertad*. Universidad Cesar Vallejo.
- Estudio Riego F A O. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*.
- Fuentes, J. (2012). *Topografía*.
- Goicochea, N., & Reyes, C. (2018). *Diseño del canal Romero - distrito de Motupe - provincia de Lambayeque*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- H. French, R. (1988a). *Hidráulica de canales abiertos*.
- H. French, R. (1988b). *Hidráulica de canales abiertos*.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*.
- Ministerio de Transporte Y Comunicaciones (MTC). (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*.
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
- Moya Rico, R., & Álvarez Moreno, W. A. (2018). *Modelación hidráulica de un canal urbano en la ciudad de Bogotá, caso de estudio: Canal Río Negro* [Universidad Católica de Colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/16344>
- Norma Técnica Peruana - NTP 339.127. (1999). *Método de Ensayo para determinar el Contenido de Humedad de un Suelo*.
- Norma Técnica Peruana - NTP 339. (1999). *Método de Ensayo para el Análisis*

Granulométrico.

- Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI). (2020). *Noticias hidráulicas*.
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. UNI.
- Rodríguez Ruiz, P. (2008). *Hidraulica II*.
- Santisteban Chapoñan, E. (2019). *Diseño hidráulico del canal L-02 Huabal, en el distrito de Mórrope, Lambayeque*. Universidad Cesar Vallejo.
- Te Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*.
- Villón, M. (1995). *Hidráulica de canales*.
- Villón, M. (2014). *Hec-Ras Ejemplos*.

ANEXOS



Fotografía 01: Reconocimiento de campo del Canal San Pedro



Fotografía 02: Reconocimiento de campo del Canal San Pedro



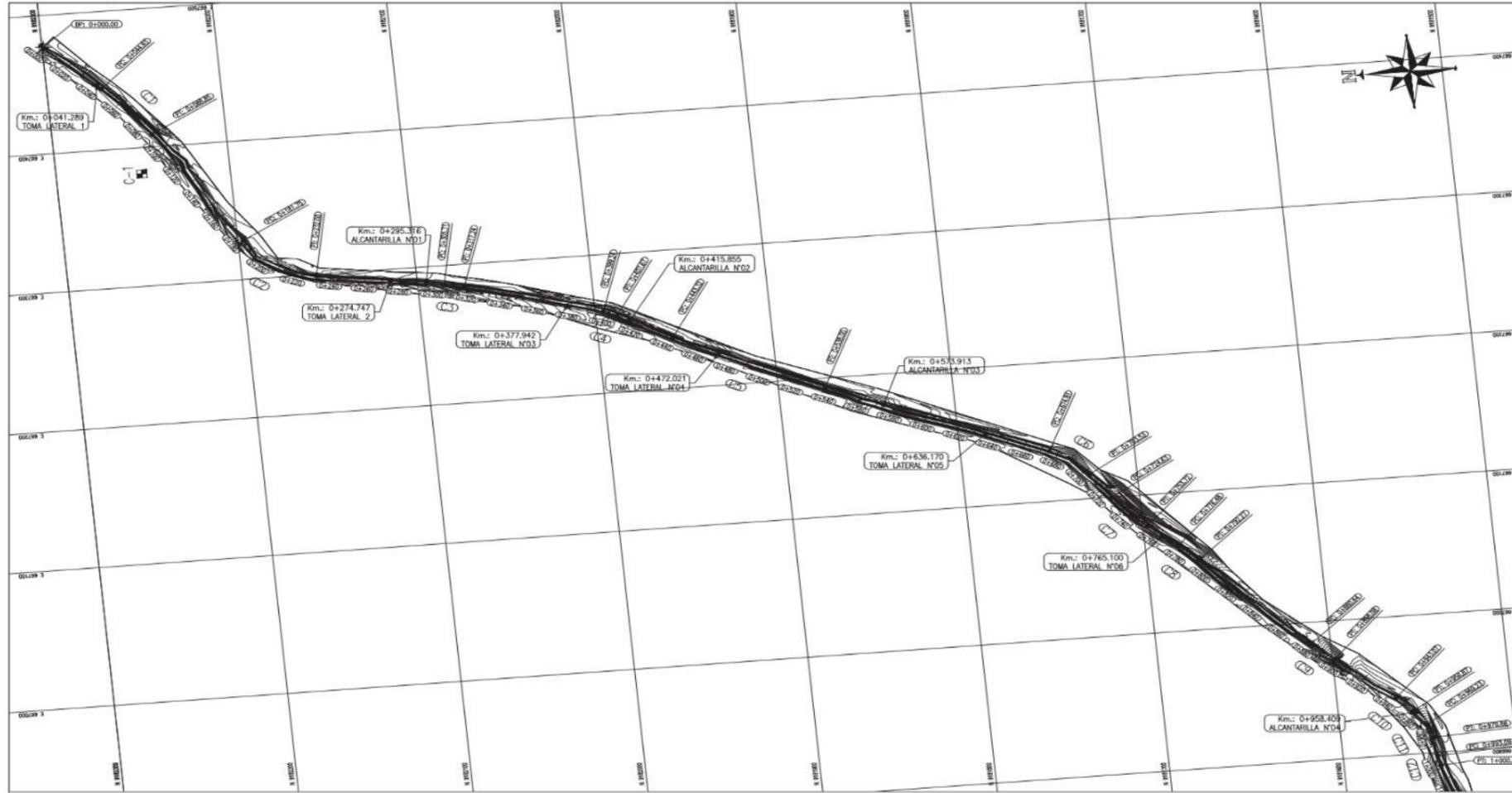
Fotografía 03: Inicio de levantamiento topográfico del Canal San Pedro



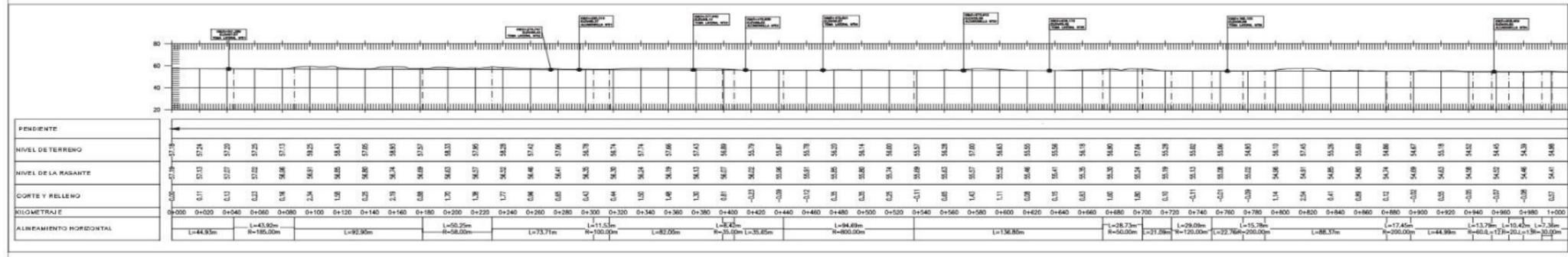
Fotografía 04: Levantamiento topográfico Canal San Pedro

PLANOS

Plano N°01: Planta general y perfil longitudinal del kilómetro 0+000.00 al 1+000.00



ELEMENTOS DE CURVA						
CURVA	RADIO	ALFA	LONGITUD	TANGENTE	PC	PT
C1	185.000	S53° 39' 30.74"W	43.921	22.064	0+044.93	0+067.00
C2	58.000	S35° 38' 21.11"W	50.251	26.825	0+181.75	0+208.57
C3	100.000	S14° 07' 19.38"W	11.531	5.772	0+305.71	0+311.48
C4	35.000	S24° 19' 17.16"W	8.425	4.233	0+399.24	0+403.48
C5	800.000	S27° 49' 35.95"W	94.685	47.398	0+443.32	0+490.72
C6	50.000	S40° 53' 45.63"W	28.728	14.773	0+674.81	0+689.58
C7	120.000	S50° 24' 36.97"W	29.094	14.619	0+724.63	0+739.24
C8	200.000	S45° 43' 31.62"W	15.784	7.896	0+776.48	0+784.38
C9	200.000	S45° 29' 14.25"W	17.447	8.729	0+880.64	0+889.36
C10	60.000	S49° 34' 27.44"W	13.794	6.927	0+943.07	0+950.00
C11	20.000	S71° 05' 31.16"W	10.424	5.333	0+969.23	0+974.57
C12	30.000	S78° 59' 47.60"W	7.359	3.698	0+993.09	0+996.79
C13	60.000	S50° 40' 02.38"W	44.615	23.396	1+058.83	1+103.45



PROYECTO:	DISEÑO Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL CANAL DE REGADO SAN PEDRO, SECTOR JATUNCA, DISTRITO DE SAN PEDRO DE LLOC, PROVINCIA DE PACASMAYO - LA LIBERTAD		LAMINA:	L-1	
PLANO:	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO			ESCALA:	INDICADA
UBICACIÓN:	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL PROG.: 0+000.00 - 1+000.00				
DISTRITO:	SAN PEDRO DE LLOC				
PROVINCIA:	PACASMAYO				
DEPARTAMENTO:	LA LIBERTAD				
FECHA:	DECEMBRE - 2021	DIBUJANTE:	J.J.T		

