

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Mejoramiento del sistema de drenaje por ampliación de
stockpiles en minería superficial**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Jhon Brandon Larico Velasquez

 [0009-0009-2274-6464](https://orcid.org/0009-0009-2274-6464)

Asesor

M.Sc. José Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Larico Velasquez [1]
Referencia/Reference	[1] J. Larico Velasquez, " <i>Mejoramiento del sistema de drenaje por ampliación de stockpiles en minería superficial</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Larico, 2025)
Referencia/Reference	Larico, J. (2025). <i>Mejoramiento del sistema de drenaje por ampliación de stockpiles en minería superficial</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Esta trabajo de investigación se lo dedico a mi padre

*Braulio y a mi madre Nanci, que siempre me han
apoyado durante mi etapa de formación profesional.*

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo principal proponer un sistema de drenaje eficiente que permita reducir la saturación del suelo y garantizar la estabilidad operativa de los stockpiles en minería superficial. De manera específica, se buscó identificar los factores críticos de inestabilidad asociados a la acumulación de agua, evaluar el impacto operativo de la mejora del drenaje en la ampliación del stockpile y analizar los efectos medioambientales derivados del uso de materiales de construcción.

La hipótesis general planteada sostiene que un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá controlar la acumulación de agua, mejorando así la operatividad minera al ampliar los stockpiles. Asimismo, se plantearon hipótesis específicas orientadas a disminuir riesgos de fallas, optimizar los costos operativos y minimizar los impactos en la calidad del suelo.

El diseño desarrollado contempla la ejecución de 03 canales principales de tipología P (2,725.27 metros) y 05 canales secundarios de tipología S (3,930.48 metros), dimensionados en función de caudales aportantes entre 0.040 m³/s y 0.258 m³/s, considerando un tiempo de retorno de 25 años. Las aguas recolectadas serán dirigidas hacia la Poza C, que permitirá un adecuado control y regulación de escorrentía.

El nuevo sistema de drenaje contribuye significativamente a la estabilidad geotécnica del stockpile, alcanzando factores de seguridad de 2.31 en condición estática y 1.56 en condición pseudo-estática, valores superiores a los requerimientos normativos. Además, como resultado de la ampliación del stockpile, se mejoraron las operaciones de acarreo, generando un ahorro económico anual de US\$ 5,276,657.39 y un beneficio acumulado de US\$ 28,150,577.73 en ocho años de operación.

Finalmente, mediante la evaluación química del suelo, se seleccionó el cemento Tipo V para las obras de infraestructura hidráulica, asegurando una alta resistencia frente a sulfatos y garantizando la sostenibilidad ambiental del proyecto.

Palabras clave — Sistema de drenaje, estabilidad de taludes, control de escorrentía, canales hidráulicos.

Abstract

The main objective of this study is to propose an efficient drainage system aimed at reducing soil saturation and ensuring the operational stability of stockpiles in surface mining. Specifically, the study seeks to identify critical instability factors associated with water accumulation, evaluate the operational impact of drainage improvement on stockpile expansion, and analyze the environmental effects arising from the use of construction materials.

The general hypothesis suggests that an adequate drainage system design will control water accumulation, thereby improving mining operations by enabling stockpile expansion. Additionally, specific hypotheses focus on reducing the risk of failures, optimizing operational costs, and minimizing impacts on soil quality.

The proposed design involves the construction of three main channels of typology P (2,725.27 meters) and five secondary channels of typology S (3,930.48 meters), sized according to contributing flows ranging between 0.040 m³/s and 0.258 m³/s, based on a 25-year return period. The collected runoff will be directed toward Poza C, which offers appropriate flow control and regulation.

The new drainage system significantly contributes to the geotechnical stability of the stockpile, achieving safety factors of 2.31 under static conditions and 1.56 under pseudo-static conditions, both exceeding the minimum regulatory requirements. Additionally, as a result of the stockpile expansion, hauling operations were improved, generating an annual economic savings of US\$ 5,276,657.39 and a cumulative benefit of US\$ 28,150,577.73 over eight years of operation.

Finally, based on the chemical evaluation of the soil, Type V cement was selected for the construction of hydraulic infrastructure, ensuring high resistance to sulfate attack and promoting the environmental sustainability of the project.

Keywords — Drainage system, slope stability, runoff control, hydraulic channels.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	xii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Descripción del problema de investigación.....	1
1.2 Objetivo.....	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivo específico.....	3
1.3 Hipótesis	3
1.3.1 Hipótesis general	3
1.3.2 Hipótesis específica.....	3
1.4 Variables	3
1.4.1 Variable independiente (V.I)	3
1.4.2 Variable dependiente (V.D)	4
1.5 Antecedentes referenciales	6
1.5.1 Antecedentes internacionales	6
1.5.2 Antecedentes nacionales	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	10
2.1 Marco teórico	10
2.1.1 Análisis de información pluviométrica.....	10
2.1.2 Métodos de análisis de máximas avenidas	12
2.1.3 Diseño de canales de drenaje	14
2.2 Marco conceptual.....	17
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	20
3.1 Unidad de estudio	20
3.1.1 Información hidrogeológica	20

3.2	Análisis preliminar y observaciones de campo	30
3.2.1	Selección y delimitación de áreas de drenaje.....	30
3.2.2	Análisis de caudales por zonas de influencia	31
3.3	Diseño del sistema de drenaje	37
3.3.1	Descripción de las Obras del Proyecto.....	37
3.3.2	Canales principales.....	39
3.3.3	Canales Secundarios	43
3.3.4	Costos estimados.....	52
	Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	53
4.1	Evaluación económica	53
4.2	Evaluación geomecánica.....	57
4.3	Evaluación medioambiental.....	62
4.4	Validacion de hipotesis.....	63
	Conclusiones	66
	Recomendaciones	68
	Referencias bibliográficas.....	69
	Anexos	71

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	5
Tabla 2 : Datos de la Estación Marcapomacocha	21
Tabla 3 : Estaciones meteorológicas existentes.....	21
Tabla 4 : Parámetros de las áreas de drenaje.....	22
Tabla 5 : Registro de PP máx. 24 Hr. Estación Marcapomacocha (datos faltantes)	23
Tabla 6 : Registro de PP máx. 24 Hr. Estación Casapalca.....	24
Tabla 7 : Precipitación máxima en 24 horas (mm)	26
Tabla 8 : Precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno	27
Tabla 9 : Selección del periodo de retorno, “T”	29
Tabla 10: Coeficiente de escorrentía en función del periodo de retorno.....	29
Tabla 11: Intensidades de lluvia.....	30
Tabla 12: Caudales máximos.....	30
Tabla 13: Caudales aportantes por cada área de drenaje.....	39
Tabla 14: Características del Canal P – 01	39
Tabla 15: Geometría del canal principal P – 01.....	40
Tabla 16: Características del Canal P – 02	41
Tabla 17: Geometría del Canal Principal P – 02	41
Tabla 18: Características del Canal P – 03	42
Tabla 19: Geometría del Canal Principal P – 03	42
Tabla 20: Características del Canal S – 01	43
Tabla 21: Geometría del Canal Secundario S – 01	44
Tabla 22: Características del Canal S – 02	45
Tabla 23: Geometría del Canal Secundario S – 02	45
Tabla 24: Características del Canal S – 03.....	46
Tabla 25: Geometría del Canal Secundario S – 03	47
Tabla 26: Características del Canal S – 04	48

Tabla 27: Geometría del Canal Secundario S – 04	48
Tabla 28: Características del Canal S – 05	49
Tabla 29: Geometría del Canal Secundario S – 05	49
Tabla 30: Estimado de cantidades y presupuesto	52
Tabla 31: Información general de los camiones	53
Tabla 32: Simulación de casos – año 1	53
Tabla 33: Simulación de casos – año 2	54
Tabla 34: Simulación de casos – año 3	54
Tabla 35: Simulación de casos – año 4	54
Tabla 36: Simulación de casos – año 5	55
Tabla 37: Simulación de casos – año 6	55
Tabla 38: Simulación de casos – año 7	55
Tabla 39: Simulación de casos – año 8	56
Tabla 40: Comparación de casos.....	56
Tabla 41: Resumen de factores de seguridad obtenidos	62
Tabla 42: Resumen de ensayos químicos en suelos	62
Tabla 43: Resumen de valores permisibles	63

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Zonificación de las áreas de drenaje preliminares.....	2
Figura 2 : Ejemplo curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima	14
Figura 3 : Ubicación del proyecto.....	20
Figura 4 : Histograma de PP máximas en 24 horas	25
Figura 5 : Curvas I-D-F, Estación Marcapomacocha.....	28
Figura 6 : Estado actual del trazo del dren recorriendo el acceso liviano	31
Figura 7 : Área de drenaje de la zona denominada como Stock de mineral	32
Figura 8 : Construcción sistemática de poza artificial.....	33
Figura 9 : Borde de la Poza 2 con estructura de Geomembrana.....	33
Figura 10: Zona del Botadero Cajoncillo	34
Figura 11: Estado actual de la Poza “C”.....	35
Figura 12: Vista desde el W7 Robust.....	36
Figura 13: Estado actual de la poza de contingencia	37
Figura 14: Caudales aportantes por áreas de drenaje	38
Figura 15: Modelamiento con programa Hcanales, Canal P – 01	40
Figura 16: Modelamiento con programa Hcanales, Canal P – 02	41
Figura 17: Modelamiento con programa Hcanales, Canal P – 03	43
Figura 18: Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 01	44
Figura 19: Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 02	46
Figura 20: Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 03	47
Figura 21: Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 04	48
Figura 22: Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 05	50
Figura 23: Sistema de descarga de aguas de los canales en poza C	51
Figura 24: Ubicación de secciones geomecánicas del Stockpile.....	57
Figura 25: F.S. estático local – sección W1	58
Figura 26: F.S. pseudo-estático local – sección W1.....	58

Figura 27: F.S. estático global – sección W1	59
Figura 28: F.S. pseudo-estático global – sección W1.....	59
Figura 29: F.S. estático local – sección W2	60
Figura 30: F.S. pseudo-estático local – sección W2.....	60
Figura 31: F.S. estático global – sección W2	61
Figura 32: F.S. pseudo-estático global – sección W2.....	61
Figura 33: Prueba t-student para F.S. estatico.....	64
Figura 34: Prueba t-student para F.S. pseudo-estatico	64

Introducción

La minería superficial, actividad esencial para el desarrollo económico, presenta múltiples desafíos operativos, entre ellos, el adecuado manejo de las aguas de escorrentía, especialmente en zonas de stockpiles. La acumulación incontrolada de agua puede provocar la saturación del suelo, comprometer la estabilidad de los taludes y generar riesgos geotécnicos y ambientales que afectan la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras. En este contexto, el presente estudio aborda el diseño y mejoramiento de un sistema de drenaje que permita la ampliación segura de stockpiles en minería superficial, optimizando su operatividad y contribuyendo a la sostenibilidad de las actividades extractivas.

El presente trabajo de investigación se estructura en cuatro capítulos.

El Capítulo I expone la descripción del problema de investigación, definiendo los objetivos generales y específicos, la hipótesis planteada, las variables involucradas y los antecedentes referenciales que sustentan la necesidad de esta propuesta.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico, presentando el análisis de la información pluviométrica, los métodos de estimación de máximas avenidas y los fundamentos técnicos aplicados al diseño de canales de drenaje, además de precisar los conceptos fundamentales en el marco conceptual.

El Capítulo III aborda la unidad de estudio, detallando la caracterización hidrogeológica del área, el análisis y las observaciones de campo realizadas para la selección y delimitación de las zonas de drenaje, así como el diseño específico del sistema propuesto, que incluye canales primarios, secundarios y la estimación de costos asociados.

El Capítulo IV desarrolla las evaluaciones complementarias: económica, geomecánica y medioambiental, integrando así los beneficios técnicos, económicos y de sostenibilidad ambiental derivados de la implementación del sistema de drenaje.

Finalmente, el estudio culmina con las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis integral efectuado, seguidas de la bibliografía consultada. En los anexos, se incluyen las vistas en planta y perfil de los canales diseñados, proporcionando una visión detallada del proyecto propuesto.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Descripción del problema de investigación

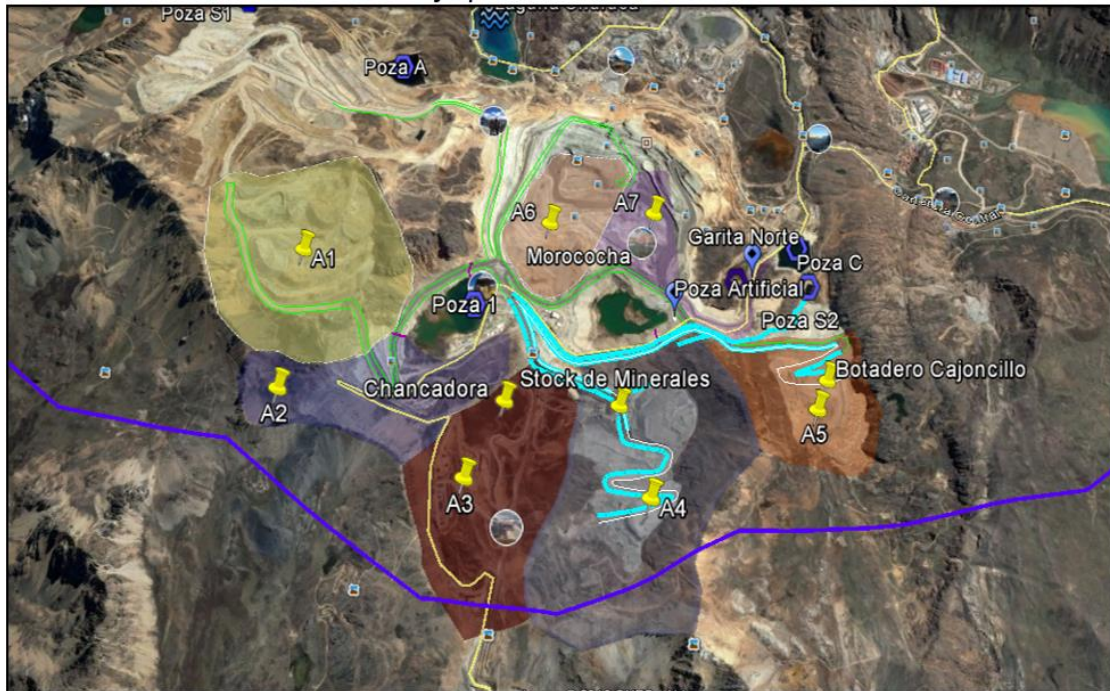
En la minería superficial, los stockpiles cumplen una función clave como depósitos temporales para el almacenamiento de material. No obstante, su ampliación implica un incremento considerable en el volumen de material acumulado, lo cual puede alterar significativamente el sistema de drenaje existente, generando deficiencias en la evacuación de aguas pluviales y de infiltración. Estas deficiencias pueden provocar erosión del terreno, encharcamiento, y acumulación de humedad en el material almacenado, afectando negativamente la eficiencia y continuidad del proceso operativo.

Asimismo, la expansión de los stockpiles puede comprometer la estabilidad geotécnica del área, ya que un drenaje ineficiente incrementa la saturación del suelo y del material acumulado. Este fenómeno genera un aumento en la presión intersticial del agua dentro del stockpile, lo que reduce la resistencia al corte de los materiales y eleva el riesgo de deslizamientos y fallas estructurales, poniendo en riesgo la seguridad del personal, la infraestructura minera y la continuidad de las operaciones.

Adicionalmente, se reconoce la importancia del factor medioambiental en este contexto. La mejora del sistema de drenaje debe considerar el impacto que puedan tener los materiales utilizados sobre la calidad del suelo. Por ello, se realizará un estudio químico de los suelos con el fin de seleccionar un aglutinante, como un tipo de cemento adecuado, que garantice una adecuada cohesión sin comprometer las propiedades químicas del terreno ni causar contaminación.

Figura 1

Zonificación de las áreas de drenaje preliminares



Fuente: Chinalco.

En este marco, surge la necesidad de diseñar e implementar un sistema de drenaje optimizado, que no solo mejore la evacuación de aguas superficiales y subterráneas, sino que también minimice los riesgos geotécnicos y ambientales derivados de la expansión de stockpiles. La presente investigación busca analizar estos efectos, identificar los factores críticos que afectan la estabilidad y sostenibilidad de los stockpiles, y proponer soluciones técnicas y ambientalmente responsables para fortalecer la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

Por lo anterior expuesto se plantean las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo afecta la ampliación de stockpiles en minería superficial la eficiencia del sistema de drenaje actual?
- ¿En qué medida un drenaje ineficiente incrementa el riesgo de fallas geomecánicas y deslizamientos en los stockpiles ampliados?
- ¿Qué características debe tener un sistema de drenaje mejorado para garantizar la eficiencia operativa de los stockpiles en minería superficial?

- ¿En qué medida la inadecuada selección de materiales impacta de manera negativa en la composición química del suelo?

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo general

Proponer un sistema de drenaje eficiente que reduzca la saturación del suelo y garantice la estabilidad operativa de los stockpiles.

1.2.2 Objetivo específico

- Identificar los factores críticos que contribuyen a la inestabilidad y cuantificar el riesgo de fallas debido a la acumulación de agua.
- Evaluar la eficiencia operativa de la mina al rediseñar el sistema de drenaje que garantice la ampliación del stockpile.
- Evaluar el impacto medioambiental de los suelos por uso de agregados y aglutinantes en la construcción del sistema de drenaje.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis general

Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá reducir acumulaciones de agua que afecten la operatividad minera al ampliar las dimensiones del stockpile.

1.3.2 Hipótesis específica

- Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá disminuir el riesgo de falla y deslizamientos en los stockpiles expandidos.
- Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá evacuar aguas, reduciendo las erosiones y minimizando costos operativos de la mina.
- Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá reducir impacto de calidad de suelos por uso de materiales de construcción.

1.4 Variables

1.4.1 Variable independiente (V.I)

- X1: Diseño de sistema de drenaje.
 - Caudal.

- Dimensiones del canal.
- Pendiente del canal.

1.4.2 Variable dependiente (V.D)

- Y1: Estabilidad geomecánica.
 - Factor de seguridad.
- Y2: Eficiencia operativa.
 - Costo de inversión.
 - Costo de operación.
- Y3: Calidad de suelo.
 - LMP.

Tabla 1

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	INDICADORES
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo afecta la ampliación de stockpiles en minería superficial la eficiencia del sistema de drenaje actual?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Proponer un sistema de drenaje eficiente que reduzca la saturación del suelo y garantice la estabilidad operativa de los stockpiles.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá reducir acumulaciones de agua que afecten la operatividad minera al ampliar las dimensiones del stockpile.</p>	<p>X1: Independiente / Causa</p> <p>Diseño de sistema de drenaje</p>	<p>Caudal</p> <p>Dimensiones del canal</p> <p>Pendiente del canal</p>
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO 1</p> <p>¿En qué medida un drenaje ineficiente incrementa el riesgo de fallas geomecánicas y deslizamientos en los stockpiles ampliados?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICO 1</p> <p>Identificar los factores críticos que contribuyen a la inestabilidad y cuantificar el riesgo de fallas debido a la acumulación de agua.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECIFICO 1</p> <p>Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá disminuir el riesgo de falla y deslizamientos en los stockpiles expandidos.</p>	<p>Y1: Dependiente / Efecto</p> <p>Estabilidad geomecánica</p>	<p>factor de seguridad</p>
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO 2</p> <p>¿Qué características debe tener un sistema de drenaje mejorado para garantizar la eficiencia operativa de los stockpiles en minería superficial?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICO 2</p> <p>Evaluar la eficiencia operativa de la mina al rediseñar el sistema de drenaje que garantice la ampliación del stockpile.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECIFICO 2</p> <p>Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá evacuar aguas, reduciendo las erosiones y minimizando costos operativos de la mina.</p>	<p>Y2: Dependiente / Efecto</p> <p>eficiencia operativa</p>	<p>Costo de inversión</p> <p>Costo de operación</p>
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO 3</p> <p>¿En qué medida la inadecuada selección de materiales impacta de manera negativa en la composición química del suelo?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICO 3</p> <p>Evaluar el impacto medioambiental de los suelos por uso de agregados y aglutinantes en la construcción del sistema de drenaje.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECIFICO 3</p> <p>Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá reducir impacto de calidad de suelos por uso de materiales de construcción.</p>	<p>Y3: Dependiente / Efecto</p> <p>calidad de suelo</p>	<p>LMP</p>

Fuente: Elaboración propia

1.5 Antecedentes referenciales

1.5.1 Antecedentes internacionales

Doe, J. (2018) "Design of Tailings Storage Facilities with Emphasis on Water Management and Seepage Control". Esta tesis se centra en el diseño de instalaciones de almacenamiento de relaves, haciendo hincapié en la gestión del agua y el control de filtraciones. Se analizan diversas técnicas para el manejo de aguas superficiales, incluyendo el diseño de canales de coronación que desvían las escorrentías alrededor de los depósitos de relaves. El estudio presenta casos prácticos en operaciones mineras de Canadá y Australia, evaluando la eficacia de diferentes diseños de canales de coronación en función de las condiciones climáticas y geotécnicas específicas de cada sitio.

Smith, J. (2019) "Hydraulic Design Considerations for Tailings Dam Perimeter Channels". Esta investigación aborda las consideraciones hidráulicas en el diseño de canales perimetrales para presas de relaves. Se enfoca en la modelación de flujos de agua de escorrentía y la capacidad de los canales de coronación para manejar eventos de precipitación extrema. La tesis incluye estudios de caso en minas de Sudáfrica y Chile, proporcionando recomendaciones para optimizar el diseño de estos canales y garantizar la estabilidad y seguridad de las presas de relaves.

Gonzalez, M. (2019) "Integration of Environmental and Geotechnical Factors in Tailings Pond Design". Esta tesis explora la integración de factores ambientales y geotécnicos en el diseño de depósitos de relaves, con especial atención al diseño de canales de coronación. Se analizan los impactos ambientales asociados con el manejo inadecuado de aguas superficiales y se proponen soluciones de diseño que incorporan prácticas sostenibles. El estudio se basa en proyectos mineros en España y México, ofreciendo una perspectiva comparativa sobre las mejores prácticas en el diseño de canales de coronación para depósitos de relaves.

1.5.2 Antecedentes nacionales

Avalo, C. (2015) "Diseño de obras civiles de un pad de lixiviación". La presente tesis desarrolla el diseño de obras civiles para la construcción de un pad de lixiviación en una

operación minera de lixiviación en pilas. Se consideran aspectos geotécnicos, hidráulicos e hidrológicos para garantizar la estabilidad y funcionalidad de la infraestructura. En el estudio se incluyen los parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema de drenaje superficial, con especial énfasis en la construcción de cunetas perimetrales y canales de coronación que permitan un adecuado manejo de las aguas de esorrentía, evitando la erosión del material y la saturación de la base del pad. Se abordan metodologías de diseño de geomembranas y sistemas de recolección de solución rica en metales, además del cálculo de taludes y estabilidad de los muros de contención. Se concluye que la implementación de un sistema eficiente de cunetas y drenaje reduce significativamente el riesgo de contaminación ambiental y mejora la eficiencia operativa del pad de lixiviación, asegurando su estabilidad a largo plazo.

Mayhua, R. (2015). "Diseño geotécnico del Pad de Lixiviación Ampliación Sur - Fase 5 - La Libertad". En esta tesis se analiza el diseño geotécnico de la ampliación de un pad de lixiviación en una mina de oro ubicada en La Libertad. El estudio inicia con una caracterización del terreno, considerando las propiedades físicas y mecánicas del suelo para evaluar su capacidad de carga y estabilidad ante la acumulación de material lixiviado. Se diseñan diversas estructuras de soporte, incluyendo bermas, taludes y muros de contención, con un enfoque en la optimización de costos sin comprometer la seguridad estructural. Se realizan simulaciones de estabilidad utilizando software especializado para modelar los efectos de cargas dinámicas y sismos en la estructura del pad. Asimismo, se diseña un sistema de cunetas y drenaje superficial para controlar la infiltración de agua de lluvia y evitar la erosión de la base del pad. El análisis concluye que la incorporación de un drenaje eficiente, con cunetas adecuadamente dimensionadas, mejora la capacidad de operación del pad y minimiza riesgos de colapso por saturación de suelo.

Espino, R. (2018) "Diseño estructural de un sistema de protección para el stockpile de Minera Cerro Verde II". El presente trabajo aborda el diseño de un sistema de protección estructural para minimizar la dispersión de material particulado en un stockpile de almacenamiento de mineral en Minera Cerro Verde II. El problema principal identificado es

la contaminación del aire debido a la acumulación y manipulación de material fino, lo que genera impactos ambientales y operacionales. Para mitigar estos efectos, se diseña una estructura de contención que combina barreras físicas con un sistema de drenaje eficiente. El sistema de cunetas es una parte clave del diseño, ya que permite la evacuación del agua de lluvia, evitando la erosión del material acumulado y reduciendo la formación de lodos que podrían afectar la operación de la planta de procesamiento. Se realizaron estudios de carga estructural y de resistencia de materiales para garantizar la durabilidad del sistema ante condiciones climáticas adversas y la operación continua de la mina. El diseño propuesto logra reducir en un 60% la dispersión de material particulado y optimiza la gestión del agua de escorrentía en el área del stockpile, mejorando la seguridad y eficiencia en el almacenamiento de mineral.

Prado, J. (2015) "Diseño de canal de coronación de una relavera en la Unidad Minera Contonga". Esta tesis aborda el diseño de un canal de coronación para el depósito de relaves en la Unidad Minera Contonga, con el objetivo de gestionar adecuadamente las aguas superficiales y prevenir la contaminación de los recursos hídricos circundantes. La minería, reconocida por sus desafíos ambientales, genera residuos como relaves que, sin una gestión adecuada, pueden convertirse en fuentes de drenaje ácido, afectando negativamente el entorno. El estudio comienza con una evaluación detallada de las operaciones mineras, el diagrama de flujo de la planta de tratamiento y las características de los relaves producidos. Se realizaron trabajos de campo que incluyeron prospección geológica superficial y en excavaciones, levantamientos topográficos y recolección de muestras para ensayos de mecánica de suelos. Estos datos sirvieron de base para el diseño de alternativas de sistemas de drenaje destinados a captar y desviar las aguas de escorrentía, evitando su ingreso al depósito de relaves y garantizando su estabilidad y funcionamiento. El diseño propuesto contempla la instalación de canales de coronación de concreto armado en el perímetro del depósito, dimensionados para manejar eventos extremos con un período de retorno de 500 años. Además, se plantea un sistema de drenaje revestido con geomembrana y tuberías perforadas para evacuar el agua

acumulada en el vaso del depósito. Los anexos de la tesis incluyen cálculos estructurales, diseños detallados y representaciones gráficas de las alternativas evaluadas. Este trabajo contribuye significativamente a la gestión ambiental en operaciones mineras, proporcionando soluciones técnicas para el manejo de aguas superficiales y la estabilidad de depósitos de relaves.

Maldonado, F. (2022) "Caudal y diseño del sistema de drenaje superficial para la protección de un depósito de desmontes de mina en el departamento de La Libertad, 2022". Esta tesis se centra en el análisis y diseño de un sistema de drenaje superficial destinado a proteger un depósito de desmontes mineros en La Libertad, Perú. El objetivo principal es determinar el caudal de escorrentía superficial y diseñar estructuras de drenaje adecuadas para prevenir la erosión y garantizar la estabilidad del depósito. El estudio incluye una evaluación hidrológica de la zona, considerando datos de precipitación y características del terreno, para estimar los caudales de diseño. A partir de estos datos, se diseñan canales de coronación y cunetas que desvían las aguas de escorrentía, evitando su ingreso al depósito de desmontes. El diseño se basa en normativas nacionales e internacionales, asegurando que las estructuras sean capaces de manejar eventos de precipitación extrema y minimizar el impacto ambiental. Además, la tesis aborda la selección de materiales y técnicas constructivas adecuadas para las condiciones locales, así como recomendaciones para el mantenimiento y monitoreo del sistema de drenaje. Se concluye que un diseño adecuado del sistema de drenaje superficial es esencial para la protección y estabilidad de los depósitos de desmontes mineros, contribuyendo a la seguridad operativa y a la mitigación de impactos ambientales en la región de La Libertad.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Análisis de información pluviométrica*

El análisis de información pluviométrica es una herramienta fundamental en los estudios hidrológicos, ya que permite evaluar con precisión la cantidad, intensidad, duración y distribución temporal de las precipitaciones en una región determinada. Esta información es clave para entender el comportamiento del ciclo hidrológico local y prever su impacto sobre el entorno natural y las infraestructuras construidas.

En el contexto de la ingeniería hidráulica, dicho análisis resulta esencial para el diseño y dimensionamiento de obras como cunetas, canales, sistemas de drenaje pluvial, presas y estructuras de contención. Una caracterización adecuada del régimen de lluvias permite estimar caudales de escorrentía, determinar periodos de retorno, y establecer criterios de diseño que garanticen el funcionamiento eficiente y seguro de las obras bajo diferentes condiciones climáticas.

Además, desde la perspectiva de la gestión integrada del recurso hídrico, la información pluviométrica sirve para planificar el uso sostenible del agua, prever la disponibilidad hídrica en diferentes estaciones del año y optimizar su distribución entre los diversos sectores demandantes. Esto cobra especial relevancia en zonas donde la variabilidad climática es alta o se presentan fenómenos extremos con frecuencia.

Por otro lado, el análisis de precipitaciones también cumple un rol preventivo en la mitigación de riesgos naturales, como inundaciones, deslizamientos de tierra o sequías prolongadas. La identificación de patrones de lluvia intensiva o de largos periodos secos permite anticipar eventos críticos y tomar decisiones informadas para la protección de comunidades, ecosistemas y actividades económicas.

En el ámbito minero, este tipo de análisis es especialmente relevante para el diseño de sistemas de drenaje en tajos abiertos, stockpiles y zonas de acopio, ya que una incorrecta estimación de los volúmenes pluviales podría comprometer la estabilidad

geotécnica de las estructuras o generar acumulaciones de agua que dificulten las operaciones.

Por estas razones, la recopilación y el análisis riguroso de datos pluviométricos constituyen una etapa indispensable en cualquier estudio técnico relacionado con el agua, y su correcta interpretación permite enfrentar con mayor eficacia los desafíos asociados a la ingeniería, la sostenibilidad y la seguridad ambiental (Chow et al., 1988).

2.1.1.1 Fuentes de información pluviométrica. Los datos pluviométricos pueden obtenerse de diversas fuentes, entre ellas:

- **Estaciones meteorológicas:**

Son la principal fuente de información y proporcionan registros continuos de precipitación en puntos específicos. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) establece estándares para la recolección y tratamiento de estos datos (OMM, 2010).

- **Satélites y radar meteorológico:**

Tecnologías modernas como el radar Doppler y satélites climáticos permiten estimar la precipitación con alta resolución espacial y temporal, mejorando el monitoreo en regiones con baja densidad de estaciones pluviométricas (Huffman et al., 2007).

- **Modelos climáticos e hidrológicos:**

Utilizan información histórica y algoritmos estadísticos para predecir patrones de precipitación y evaluar impactos del cambio climático en la disponibilidad del agua (Trenberth et al., 2014).

2.1.1.2 Métodos de análisis. El análisis de la información pluviométrica se basa en diferentes métodos estadísticos y probabilísticos:

- **Análisis de frecuencia:**

Se utilizan distribuciones de probabilidad (como Gumbel o Log-Pearson III) para estimar la ocurrencia de eventos extremos y determinar períodos de retorno para el diseño de infraestructuras (Chow et al., 1988).

- **Interpolación espacial:**

Métodos como Kriging o Inverso de la Distancia Ponderada (IDW) permiten estimar la precipitación en áreas sin datos directos a partir de estaciones cercanas (Goovaerts, 2000).

- **Tendencias y variabilidad climática:**

Se aplican análisis de series temporales para detectar cambios en los patrones de precipitación debido a fenómenos como El Niño o el calentamiento global (IPCC, 2021).

2.1.2 Métodos de análisis de máximas avenidas

El análisis de máximas avenidas es una etapa crítica en estudios hidrológicos, especialmente para el diseño de obras hidráulicas que deben resistir eventos extremos como crecidas o lluvias torrenciales. Este análisis permite estimar los caudales máximos que pueden generarse en una cuenca debido a lluvias intensas, lo cual es esencial para prevenir daños estructurales, inundaciones o fallas geotécnicas en infraestructuras mineras o civiles.

Existen diversos métodos para el análisis de máximas avenidas, los cuales pueden clasificarse en enfoques empíricos, estadísticos e hidrológicos, entre los más representativos se encuentran:

2.1.2.1 Análisis estadístico de máximas avenidas. Se basa en el análisis de series históricas de caudales máximos anuales registrados en estaciones hidrométricas. Utiliza distribuciones de probabilidad como la Gumbel, Log-Normal, Pearson tipo III, entre otras, para estimar el caudal asociado a un determinado periodo de retorno (por ejemplo, 25, 50 o 100 años).

- **Distribución de Gumbel:**

Se emplea en hidrología para modelar eventos extremos, como las crecidas máximas en ríos (Mays, 2011).

- **Distribución Log-Pearson III:**

Es el método recomendado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para estimar caudales de diseño en estructuras hidráulicas (Stedinger et al., 1993).

2.1.2.2 Método racional. Es una técnica empírica utilizada para pequeñas cuencas urbanas donde se asume que la escorrentía es proporcional a la intensidad de la lluvia. La fórmula es:

$$Q = C * I * A \quad (1)$$

Donde:

Q = Es el caudal máximo (m³/s),

C = Es el coeficiente de escorrentía,

I = Es la intensidad de lluvia (mm/h),

A = Es el área de la cuenca (km²) (Chow et al., 1988).

2.1.2.3 Modelos hidrológicos. Los modelos hidrológicos permiten simular el comportamiento de las cuencas frente a eventos de lluvia extrema:

- **HEC-HMS:**

Desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., se usa para modelar la generación y propagación de avenidas en cuencas hidrográficas (Feldman, 2000).

- **SWMM (Storm Water Management Model):**

Aplicado en el análisis de drenaje urbano y eventos de inundación (Rossman, 2015).

2.1.2.4 Análisis de tormentas de diseño. El análisis de máximas avenidas también requiere el estudio de tormentas de diseño mediante:

- **Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF):**

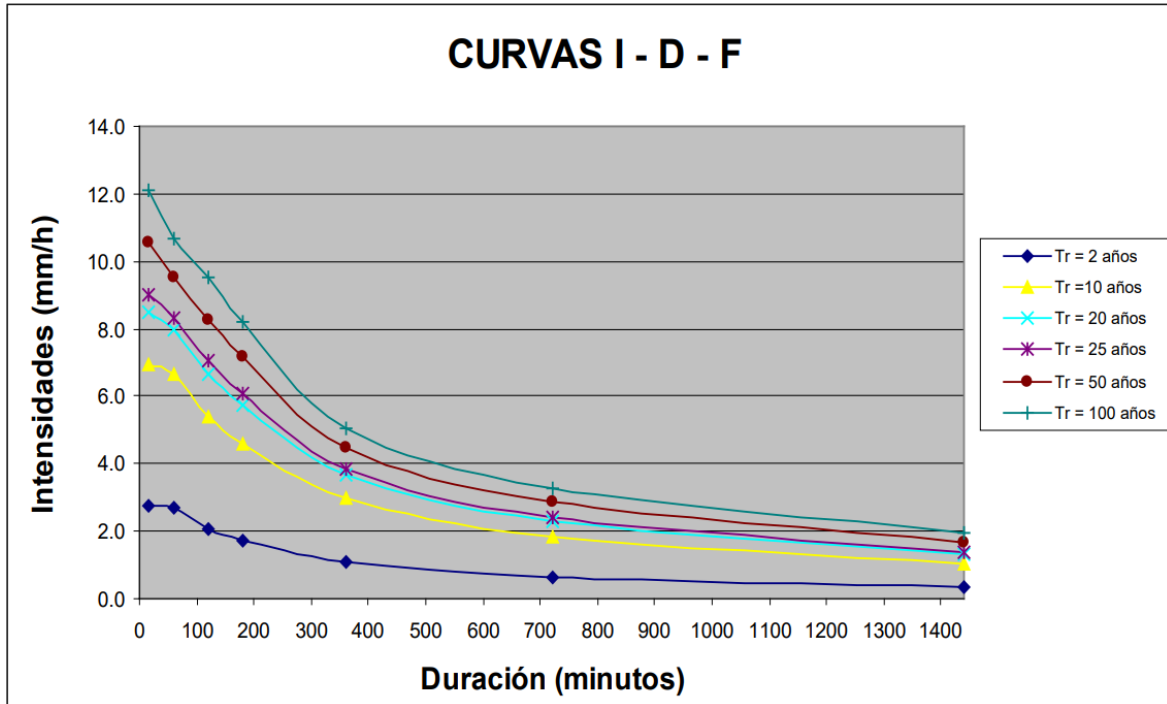
Relacionan la intensidad de la lluvia con su duración y período de retorno (Chow et al., 1988).

- **Tormenta Probable Máxima (TPM):**

Estima el evento de precipitación más extremo posible en una cuenca determinada, utilizada en el diseño de grandes presas (WMO, 2009).

Figura 2

Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenajes – MTC

2.1.3 Diseño de canales de drenaje

El diseño de canales de drenaje es una disciplina fundamental dentro de la ingeniería hidráulica y civil. Su propósito principal es garantizar la evacuación eficiente del agua superficial, minimizando los riesgos asociados a inundaciones, erosión del suelo y afectaciones a infraestructuras críticas. En el contexto minero, una correcta conducción de aguas pluviales y de infiltración es clave para la estabilidad de plataformas, stockpiles, accesos y otras estructuras operativas. Este proceso requiere la integración de aspectos hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos y ambientales (Chow et al., 1988).

2.1.3.1 Principios del diseño de canales de drenaje. Todo diseño de canal debe considerar los siguientes principios fundamentales para asegurar su eficiencia y durabilidad:

- **Capacidad hidráulica adecuada:**

El canal debe ser dimensionado para transportar el caudal máximo esperado, considerando el periodo de retorno seleccionado, sin desbordarse ni provocar socavaciones en sus bordes.

- **Estabilidad del lecho y taludes:**

Es necesario prevenir la erosión interna y superficial del canal mediante el uso de taludes adecuados y, si es necesario, la aplicación de revestimientos protectores como concreto, geotextiles o vegetación estabilizadora.

- **Mantenimiento y operación sostenible:**

El diseño debe facilitar el acceso para limpieza, minimizar la sedimentación y evitar obstrucciones. Una geometría adecuada y secciones eficientes permiten reducir costos de mantenimiento a largo plazo (Mays, 2011).

2.1.3.2 Tipos de canales de drenaje. Los canales pueden clasificarse según su forma de construcción y materiales utilizados:

Canales naturales:

Son cauces existentes que pueden ser utilizados como parte del sistema de drenaje, tras ser adecuadamente estabilizados. Se respetan las condiciones topográficas naturales, y suelen requerir intervención mínima.

Canales artificiales:

Construidos específicamente para transportar escorrentía en zonas urbanas, agrícolas o mineras. Se subdividen en:

- **Canales de tierra:**

Económicos y de fácil ejecución, pero vulnerables a la erosión, especialmente en terrenos con pendientes pronunciadas.

- **Canales revestidos:**

Utilizan materiales como concreto, piedra, geomembranas o materiales sintéticos. Ofrecen mayor durabilidad, menor pérdida por infiltración y mejor comportamiento ante caudales intensos (Chow et al., 1988).

2.1.3.3 Criterios técnicos de diseño

Hidrología y caudal de diseño

El caudal de diseño (Q) es la base para dimensionar el canal y se determina mediante:

Método Racional:

$$Q = C * I * A \quad (2)$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de lluvia (mm/h)

A = Área de la cuenca (ha o km²)

Modelos hidrológicos avanzados:

Herramientas como HEC-HMS o SWMM permiten modelar la escorrentía generada por eventos pluviales complejos, considerando infiltración, almacenamiento y rutas de flujo (Chow et al., 1988).

Hidráulica del canal:

El análisis hidráulico del flujo se realiza mediante la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad (3)$$

Donde:

V = Velocidad del flujo (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Rh = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente longitudinal del canal

El caudal transportado se obtiene como:

$$Q = A * V \quad (4)$$

Donde A es el área de la sección transversal del canal. La elección de n dependerá del material del canal y del estado de su superficie (Mays, 2011).

Control de erosión y protección:

Para prevenir la erosión interna y superficial se utilizan:

- Revestimientos de concreto, piedra o geotextiles
- Disipadores de energía, como cuencas de amortiguamiento o bloques deflectores, en zonas con fuertes pendientes
- Cobertura vegetal, especialmente en canales de tierra, que ayuda a estabilizar taludes y reducir la velocidad del agua (Novak et al., 2010)

Pendiente y sección transversal:

El canal debe mantener una pendiente adecuada: ni tan baja que favorezca el estancamiento y sedimentación, ni tan alta que cause erosión excesiva. Las secciones más comunes son:

- **Rectangulares:**

Ideales para canales revestidos de concreto.

- **Trapezoidales:**

Versátiles, comunes en canales de tierra y revestidos.

- **Triangulares o en V:**

Frecuentes en drenajes superficiales de carreteras y bordes de plataformas (Chow et al., 1988).

2.2 Marco conceptual

Stockpile:

Un stockpile es una pila de almacenamiento temporal o semipermanente de material mineralizado o estéril. Su construcción y expansión requieren planificación para evitar acumulaciones peligrosas de agua y garantizar la estabilidad física del material.

Sistema de drenaje:

El sistema de drenaje es el conjunto de estructuras e infraestructuras diseñadas para recolectar, conducir y evacuar el agua superficial o de infiltración, producto de lluvias

u otras fuentes. En minería, su correcto funcionamiento es esencial para mantener operativos los frentes de trabajo, accesos y áreas de almacenamiento.

Drenaje superficial:

Se refiere al manejo de aguas pluviales que escurren sobre la superficie del terreno. En el contexto de stockpiles, implica canaletas, cunetas, canales revestidos y estructuras de disipación de energía que eviten la erosión y acumulación de agua.

Erosión:

Proceso de desgaste del suelo o del material acumulado debido al impacto del agua en movimiento. Una mala gestión del drenaje puede intensificar la erosión en los taludes y bases de los stockpiles, generando pérdida de material y afectando la estabilidad.

Estabilidad geomecánica:

Se refiere a la capacidad de un cuerpo de suelo o material acumulado para mantener su forma sin colapsar. En los stockpiles, la acumulación de agua por drenaje deficiente puede aumentar la presión de poros, reducir la resistencia al corte y desencadenar deslizamientos.

Presión intersticial:

Es la presión ejercida por el agua dentro de los poros del suelo o material granular. Su aumento, producto de una mala evacuación del agua, puede generar inestabilidad y fallas estructurales en stockpiles.

Hidrología:

Ciencia que estudia la distribución, movimiento y propiedades del agua en la Tierra. En ingeniería de drenaje, permite estimar caudales de diseño y evaluar el comportamiento de escorrentía ante lluvias intensas.

Hidráulica de canales:

Rama de la ingeniería que se encarga del estudio del flujo de agua en conductos abiertos como canales, cunetas y cauces. Su aplicación es clave en el dimensionamiento de estructuras de drenaje para evacuar eficientemente el agua captada.

Aglutinante:

Material, como ciertos tipos de cemento o estabilizadores, usado para consolidar suelos o estructuras sin afectar negativamente la calidad del suelo ni generar contaminación. Su selección requiere análisis químico del suelo.

Sostenibilidad:

Principio que busca que las operaciones mineras minimicen su impacto ambiental, gestionen eficientemente sus recursos (como el agua) y aseguren la estabilidad a largo plazo de sus estructuras e infraestructuras.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Unidad de estudio

La zona de influencia de los Stockpiles donde se evaluará y mejorará el sistema de drenaje para su posterior ampliación se encuentran enmarcadas entre las cuencas Huascacocha y Rumichaca (afluentes del Río Yauli) que involucran a la Unidad minera Toromocho y se localiza geográficamente según se muestra en la figura 3.

Figura 3

Ubicación del proyecto



Fuente: Google Earth

3.1.1 Información hidrogeológica

3.1.1.1 Data meteorológica. El área de geología mina del proyecto Toromocho uso la información básica que son los datos meteorológicos registrados en la estación Marcapomacocha, administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

Las principales características y parámetros de la estación Marcapomacocha ubicada aproximadamente a 28 Km. del proyecto; se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Datos de la Estación Marcapomacocha

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (MSNM)	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
Marcapomacocha	11°24'0.00"S	76°18'60.00"O	4,479	Junín	Yauli	Morococha

Fuente: Chinalco

Además se cuenta con un periodo de registro disponible de otras Estaciones Meteorológicas ubicadas dentro del contexto del área de influencia, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Estaciones meteorológicas existentes

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	PERIODO DE REGISTRO
Pucará	1978 - 1980
Pomacocha	1979 - 1983
Pachachaca 1	1960 - 1977
Pachachaca 2	1978 - 1984
Yauli	1997 - 2010
Casapalca	1988 - 2010
Marcapomacocha	1967 - 2010

Fuente: Chinalco

3.1.1.2 Descripción de la cuenca. La concepción de la evaluación del sistema de drenaje en el Proyecto Toromocho de la ciudad de Junín, hidrológicamente se encuentra ubicado entre dos lagunas (pozas) llamadas “Buenaventura” y “Copaycocha”, denominadas Poza 1 y Poza 2 respectivamente.

Debido a que esta zona se encuentra enmarcada entre elevaciones casi pronunciadas, el área de aporte ha sido identificada por zonas de drenaje.

En la siguiente tabla se presentan algunos parámetros obtenidos del área de drenaje evaluadas para la zona de trabajo.

Tabla 4*Parámetros de las áreas de drenaje*

PARÁMETROS	UNIDAD	MICROCUENCA
Área total (A)	km ²	6.02
Perímetro (P)	km	12
Longitud de la cuenca de drenaje (L)	km	2.6
Longitud del curso principal (Lc)	km	2.6
Cota máxima	msnm	5050
Cota mínima	msnm	4535
Pendiente del cauce principal	%	19.8
Coefficiente de compacidad (Cc)	adim.	1.37
Factor de forma (FF)	adim.	0.89

Fuente: Chinalco

3.1.1.3 Información pluviométrica

3.1.1.3.1 Datos pluviométricos. Estos permiten sintetizar un conjunto de datos numerosos, dicho comportamiento de las precipitaciones puede ser resumido y representado a través del uso de la estadística a fin de utilizarlos en diseños de proyectos hidráulicos.

3.1.1.3.2 Estimación de datos faltantes. Es muy frecuente encontrar escenarios donde no hay datos o registros completos, debido justamente a factores como la ausencia de los operadores o fallas instrumentales de las estaciones de monitoreo, que pueden repercutir al momento de la toma de datos hidrológicos. Sin embargo, es posible relacionar datos entre distintas estaciones de monitoreo con ayuda de la estadística siempre y cuando guarden alguna relación entre sí ya sea por ubicación, clima u otros factores específicos.

La estación Marcapomacocha fue seleccionada por presentar mayor registro histórico (1967 – 2010) según lo muestra en la tabla 5; pero a su vez muestra datos faltantes que serán contrastados con otra estación cercana para evaluar su autenticidad.

Tabla 5

Registro de PP máx. 24 Hr. Estación Marcapomacocha (datos faltantes)

PRECIPITACIONES MÁXIMAS (mm)													
ESTACIÓN MARCAPOMACOCHA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1967					10.40	2.60	15.30	22.40	28.00	19.00	9.30	13.00	28.00
1969	13.40	9.80	15.00	12.60	11.20	5.70	6.20	8.00	16.00	17.80	13.20	17.00	17.80
1970	26.20	13.00	13.20	12.00	9.50	3.20	2.20	2.20	13.20	13.40	6.80	14.20	26.20
1971	17.20	15.70	33.10	15.30	2.40	2.70	1.40	13.70	8.80	7.40	12.20	29.90	33.10
1972	16.40	12.20	20.20	14.60	1.40	2.60	15.20	4.80	9.40	12.00	14.80	16.20	20.20
1973	21.60	21.60	25.40	13.60	9.70	9.60	6.80	5.60	18.20	25.60	20.20	17.00	25.60
1974	18.20	12.60	14.60	15.00	0.80	4.40	6.40	22.60	6.60	9.60	8.60	16.20	22.60
1975	33.80	26.80	16.40	14.20	13.00	14.40	0.40	3.60	8.80	5.60	10.80	11.60	33.80
1976	17.40	22.40	27.20	6.00	7.60	7.00	5.00	13.60	16.80	13.20	4.20	20.00	27.20
1977	19.00	40.50	30.60	9.20	10.20	2.00	1.40	0.60	3.00	8.20	22.50	14.60	40.50
1978	23.20	35.00	29.60	17.40	0.80	6.80	6.60	4.00	8.80	18.60	16.40	17.20	35.00
1979	11.40	27.80	22.40	6.00	0.00	1.80	0.00	0.20	6.80	12.40	6.20	17.20	27.80
1980	17.20	18.00	28.80	8.00	3.80	9.00	8.00	6.60	5.80	24.80	15.40	14.00	28.80
1981	24.80	23.00	21.40	14.80	3.20	1.00	0.00	10.00	10.20	11.20	9.00	14.60	24.80
1982	20.40	25.20	10.80	9.60	0.40	0.20	0.00	5.80	7.20	45.60	7.80	11.00	45.60
1983	13.60	19.00	27.00	7.60	0.00	0.00	0.00	1.00	7.20	5.40	25.40	2320	27.00
1984	14.00	21.10	20.60	21.10	11.60	16.40	15.20	15.20	5.40	24.40	15.40	18.00	24.40
1985	8.10	19.80	17.20	18.00	14.40	16.20	8.30	10.60	11.60	5.60	21.20	12.80	21.20
1986	19.80	13.20	18.20	16.90	18.20	0.00	10.60	9.60	6.60		14.80	19.60	19.80
1987	43.20	19.60	15.60	10.00	10.60	8.20	17.20	12.00	14.60	16.20	23.00	21.20	43.20
1988	16.80	16.80	13.20	17.00	11.20	0.40	0.00	1.40	8.60	23.20	16.40	12.40	23.20
1989	16.60	18.60	13.60	11.40	10.20	20.80	3.80	7.20	18.60	12.00	12.40	10.60	20.80
1990	25.00	11.60	20.40	19.20	11.80	29.20	4.80	11.60	11.60	23.60	26.80	16.60	29.20
1991		9.00	23.60	10.80	20.20	13.60	0.60	0.00			6.20	17.80	23.60
1992	28.60	32.80	35.20	12.90	8.20	8.80	2.00	7.20	12.00	24.80	16.20	12.80	35.20
1993	23.60	18.20	27.00	19.60	7.60	0.00	3.60	6.00	9.00	12.00	15.80	20.30	27.00
1994	20.10	15.90	20.40	13.10	12.80	3.20	1.50	12.40	12.00	15.60	14.00		20.40
1995	13.20	15.40	19.10	13.50	8.20	7.80	4.00	5.80	7.00	16.00	10.00	14.00	19.10
1996	24.50	16.10	9.10	9.30	10.30	0.90	0.00		9.00	12.10	13.40	17.50	24.50
1997	17.30	20.40	15.00	6.90	12.00	2.60	3.10	14.00	13.10	15.60	13.00	17.90	20.40
1998	15.80	27.50	17.40	11.40	4.80	15.20	0.00	7.70	24.20	18.80	7.80	17.40	27.50
1999	13.20	20.70	19.60	15.70	8.00	8.50	10.90	5.30	13.60	16.40	20.00	25.80	25.80
2000	31.60	24.50	18.30	14.80	13.90	2.90	5.80						31.60
2001			68.00	18.50		5.50	17.20	10.50	29.20		22.50	14.30	68.00
2002	15.10	10.50	19.30	17.00	4.40	3.20	5.30	14.00	20.00	18.90	16.40	15.70	20.00
2003	9.20	21.00	14.00	19.20	7.30	2.10	3.30	7.10	20.80	11.00	19.70	11.50	21.00
2004	6.90	14.90	21.40	11.50	5.50	7.60	5.80	8.80	15.10	16.30	14.30	12.50	21.40
2005	14.00	17.60	11.90	12.00	8.60	1.40	4.20	8.00	5.70	6.60	20.00	15.40	20.00
2006	17.00	13.70	18.50	11.30	7.70	6.00	5.60	5.20	10.00	11.00	14.50	21.90	21.90
2007	18.20	17.60	22.20	15.70	11.80	0.00	2.00	6.60	19.20	21.80	9.40	24.50	24.50
2008	23.50	16.60	15.00	6.60	4.00	4.00	3.80	6.50	10.00	16.50	5.40	20.00	23.50
2009	16.60	19.50	16.40	14.00	17.70	3.30	5.00	15.50		17.20	36.40	18.60	36.40
2010	27.60	20.00	22.10	21.40	9.00	3.50	0.90	7.40	15.30	23.50	19.50	17.50	27.60
Prom. Mens.	19.33	19.40	21.14	13.45	8.44	6.15	5.10	8.30	12.35	16.13	14.94	16.90	
PP. Máx.	43.20	40.50	68.00	21.40	20.20	29.20	17.20	22.60	29.20	45.60	36.40	29.20	
PP. Med.	17.35	18.60	19.45	13.55	8.80	3.50	4.00	7.20	10.90	16.00	14.65	17.00	
PP. Min.	6.90	9.00	9.10	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	5.40	4.20	10.60	
Desv. Est.	7.18	6.71	9.57	4.14	5.00	6.28	4.92	5.30	6.16	7.59	6.61	4.13	

Fuente: SENAMHI

3.1.1.3.3 Método de los promedios. Para este análisis se escogió una estación índice conocida denominada (“A”) que es la estación Casapalca, que presenta registros históricos de los años 1988 – 2010, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Registro de PP máx. 24 Hr. Estación Casapalca

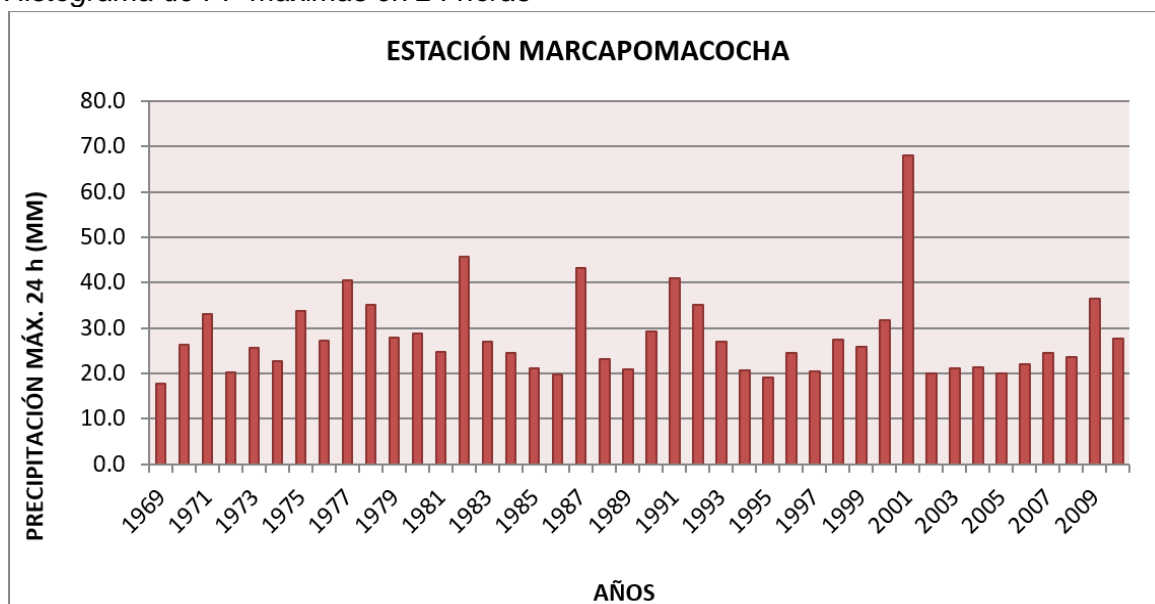
PRECIPITACIONES MÁXIMAS (mm)														PP.Anual
ESTACIÓN CASAPALCA														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Total	
1988	27.00	17.00	16.00	13.90	0.00	0.00	3.70	2.30	10.00	8.00	8.00	6.00	27.00	111.90
1989	15.00	20.00	12.80	11.50	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	5.00	0.00	20.00	75.00
1992	3.60	4.00	8.00	3.50	2.80	0.80	1.10	5.80	1.70	12.50	6.50	14.70	14.70	65.00
1993	15.20	26.10	14.30	13.50	7.00	0.00	6.00	6.00	3.80	10.80	18.20	11.40	26.10	132.30
1994	11.00	18.60	23.20	17.40	16.00	3.50	1.50	8.00	11.00	9.00	14.00	15.50	23.20	148.70
1995	9.80	10.50	17.80	11.50	2.50	5.00	0.30	2.00	8.10	7.00	7.50	30.50	30.50	112.50
1996	14.50	21.00	14.60	18.30	12.50	0.00	4.50	4.00	7.50	13.50	10.00	9.50	21.00	129.90
1997	15.50	18.00	10.00	8.00	5.80	0.00	2.00	11.00	12.00	14.00	5.00	19.50	19.50	120.80
1998	13.50	14.50	11.00	31.00	0.00	2.50	0.00	6.70	29.00	12.80	12.50	5.60	31.00	139.10
1999	15.40	18.30	9.90	18.40	2.30	2.50	2.30	0.00	4.60	6.50	8.60	9.50	18.40	98.30
2000	9.50	6.00	9.50	3.20	2.80	0.00	8.70	3.40	2.80	14.50	14.80	13.90	14.80	89.10
2001	14.80	12.50	16.50	15.30	5.80	2.00	4.50	3.20	3.00	9.50	11.50	13.50	16.50	112.10
2002	13.30	17.00	22.80	9.60	6.80	4.50	4.70	0.00	5.60	7.50	9.30	16.00	22.80	117.10
2003	12.50	13.70	29.30	15.00	43.60	0.00	5.90	3.50	6.30	9.90	7.50	11.40	43.60	158.60
2004	4.90	16.70	17.50	17.80	10.50	10.50	3.20	2.80	3.50	15.80	14.20	15.10	17.80	132.50
2005	15.60	11.80	13.60	8.50	6.20	0.00	0.00		10.30	6.90	12.50	7.80	15.60	93.20
2006	6.20	9.80	14.20	14.00	3.00	5.50	0.00	5.80	12.00	4.50	10.50	18.80	18.80	104.30
2007	22.00	26.30	23.80	15.80	11.30	2.30	0.00	3.20	2.00	25.70	16.50	9.00	26.30	157.90
2008	18.50	14.80	5.70	5.80	2.50	1.50	1.80	3.40	1.60	7.50	3.80	16.60	18.50	83.50
2009	12.70	13.50	15.80	8.70	6.70	0.00	4.20	3.80	4.80	12.40	19.50	13.40	19.50	115.50
2010	12.50	6.50	8.20	7.30	2.80	5.80	1.00	0.00	3.50	4.80	4.50	7.50	12.50	64.40
Prom. Mens.	13.48	15.08	14.98	12.76	7.33	2.21	2.64	3.75	6.81	10.51	10.47	12.63		112.46
PP. Máx.	27.00	26.30	29.30	31.00	43.60	10.50	8.70	11.00	29.00	25.70	19.50	30.50		158.60
PP. Med.	13.50	14.80	14.30	13.50	5.80	1.50	2.00	3.40	4.80	9.50	10.00	13.40		112.50
PP. Min.	3.60	4.00	5.70	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	3.80	0.00		64.40
Desv. Est.	5.31	5.91	5.98	6.29	9.30	2.77	2.47	2.87	6.26	4.77	4.56	6.29		27.75

Fuente: SENAMHI

Aplicando el análisis de completar datos por promedios nos resulta el Histograma de PP máximas en 24 horas para la Estación Marcapomacocha. Se puede observar un valor máximo en el año 2001 correspondiente a 68 mm de Precipitación máxima en 24 horas; un valor mínimo de 17.8 mm para el año 1969 tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Histograma de PP máximas en 24 horas



Fuente: Chinalco

3.1.1.4 Precipitación máxima. Para determinar la precipitación máxima se usó los datos de precipitación máxima en 24 horas registrados en la estación Marcapomacocha, se dispone de datos desde el año 1967 al 2010, con algunos años sin registros, tal como se observa en la Tabla 5. El análisis de la precipitación máxima se desarrolló mediante el siguiente procedimiento:

- Obtención del registro de precipitación máxima en 24 horas.
- Prueba de datos dudosos.
- Prueba de bondad de ajuste.
- Análisis de distribución de frecuencia usando los métodos más conocidos y obtención de la distribución del mejor ajuste a los registros históricos.
- Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia.

3.1.1.4.1 Precipitación máxima en 24 horas. En la siguiente tabla se muestran los registros de precipitación máxima en 24 horas completos, obtenidos a partir de información previa. Por cuestiones de facilitar el análisis y la manejabilidad de los datos, se realizó el análisis de precipitaciones para el periodo comprendido entre los años 1969 – 2010, generando un importante recuento de 42 antecedentes de precipitaciones.

Tabla 7*Precipitación máxima en 24 horas (mm)*

Nº	AÑO	P24
1	1969	17.8
2	1970	26.2
3	1971	33.1
4	1972	20.2
5	1973	25.6
6	1974	22.6
7	1975	33.8
8	1976	27.2
9	1977	40.5
10	1978	35.0
11	1979	27.8
12	1980	28.8
13	1981	24.8
14	1982	45.6
15	1983	27.0
16	1984	24.4
17	1985	21.2
18	1986	19.8
19	1987	43.2
20	1988	23.2
21	1989	20.8
22	1990	29.2
23	1991	23.6
24	1992	35.2
25	1993	27.0
26	1994	20.4
27	1995	19.1
28	1996	24.5
29	1997	20.4
30	1998	27.5
31	1999	25.8
32	2000	31.6
33	2001	68.0
34	2002	20.0
35	2003	21.0
36	2004	21.4
37	2005	20.0
38	2006	21.9
39	2007	24.5
40	2008	23.5
41	2009	36.4
42	2010	27.6

Fuente: SENAMHI

3.1.1.4.2 Análisis de frecuencia. El procedimiento consiste en estimar la precipitación máxima para el periodo de retorno de interés usando las distribuciones de frecuencia usadas en análisis de eventos hidrológicos. Mediante el análisis de Frecuencia se estimó los valores de precipitación máxima para varios periodos de retorno usando la distribución normal, los cuales se muestran en la siguiente tabla. Además, se aplicó un coeficiente de 1.13 para corregir los posibles errores de medición.

Tabla 8

Precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno

Tiempo de Retorno (años)	Xt (Precipitación mm)	Factor de corrección	Precipitación corregida (mm)
2	27.97	1.13	31.61
5	35.75		40.40
10	39.82		44.99
20	43.17		48.79
25	44.15		49.89
50	46.95		53.06
100	49.47		55.90
200	51.78		58.51
250	52.48		59.30
500	54.57		61.66

Fuente: Chinalco

3.1.1.4.3 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia. La intensidad es la tasa temporal de precipitación por unidad de tiempo. Las curvas de intensidad – duración – frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el período de retorno.

Para la determinación de las curvas IDF se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia horaria en el lugar de interés, debido a la escasa información que presentan las estaciones (de medición de caudales), se utilizó el método de Dick y Peschke como modelo que permita calcular la lluvia máxima en función de la precipitación máxima en 24 horas, cuya expresión es la siguiente:

$$Pd = P_{24h} \left[\frac{d}{1440} \right]^{0.25} \quad (5)$$

P_d = Precipitación Total (mm).

d = Duración en minutos.

P_{24h} = Precipitación máxima en 24 horas (mm).

Para determinar la Intensidad se determina dividiendo la Precipitación entre la duración. La Curva Intensidad – Duración – Frecuencia se halla a través de la siguiente relación matemática:

$$I = \frac{10^{k \cdot T^m}}{t^n} \quad (6)$$

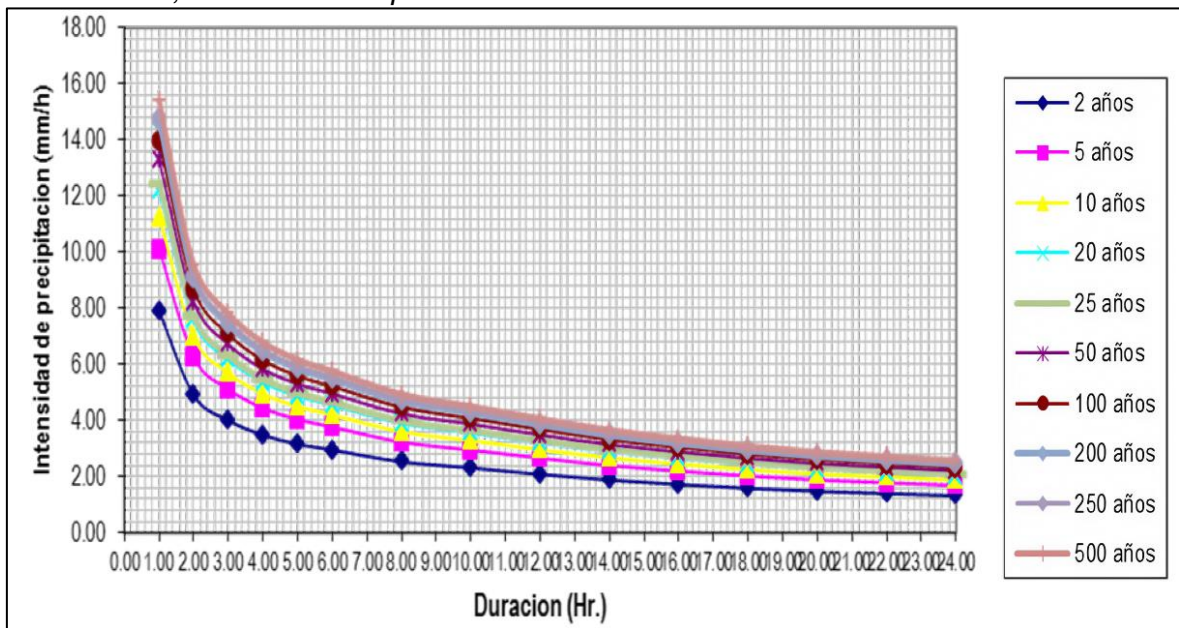
I = Intensidad Máxima (mm/hr).

K, m, n = Factores de la zona en estudio (adimensionales).

T = Duración de la PP equivale al Tiempo de Concentración (min).

Figura 5

Curvas I-D-F, Estación Marcapomacocha



Fuente: Chinalco

3.1.1.5 Análisis de máximas avenidas

3.1.1.5.1 Selección del período de retorno de las estructuras de drenaje. El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada "T" años, se le denomina Período de retorno "T". Si

se supone que los eventos anuales son independientes es posible calcular la probabilidad de falla para la vida útil de las estructura (Canales de drenaje).

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de las estructuras, se consideró la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último de los factores económicos, sociales, técnicos y otros. El período de retorno medido en función de la vida útil y el riesgo de falla está dado por:

$$T = \frac{1}{1-(1-R)^{1/n}} \quad (7)$$

Tabla 9

Selección del periodo de retorno, "T"

Tipo de Estructura	Años de vida útil de las estructuras de drenaje	Riesgo de Falla	Periodo de Retorno
Temporal	2 años	10%	100 años
Definitiva	25 años	5%	500 años

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenajes – MTC

3.1.1.5.2 Caudal máximo. Para el cálculo de caudales máximos en áreas de aporte pequeñas (< 2,5 km²), uno de los métodos más recomendados es el método racional.

Cuya representación formal es $Q = C \cdot I \cdot A$, donde C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración y A es el área de drenaje.

El coeficiente de escorrentía para las condiciones topográficas y de cobertura vegetal de la zona, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10

Coeficiente de escorrentía en función del periodo de retorno

Pendiente	Coeficiente de escorrentía (C)					
	2 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
0 - 2%	0.25	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
2 - 7%	0.33	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
> 7%	0.37	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenajes – MTC

La intensidad de lluvia fue extraída de las curvas IDF considerando que la duración es igual al tiempo de concentración estimado para cada área de drenaje y se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11

Intensidades de lluvia

Duración (min.)	Intensidad de lluvia (mm/hora)					
	2 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
35	11.19	13.43	14.9	16.11	17.42	20.9

Fuente: Chinalco

Aplicando el método racional y los datos presentados en los cuadros anteriormente mostrados se estimaron los caudales máximos para varios periodos de retorno, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12

Caudales máximos

2 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
0.11	0.51	0.99	1.42	1.99	3.82

Fuente: Chinalco

3.2 Análisis preliminar y observaciones de campo

3.2.1 Selección y delimitación de áreas de drenaje

La delimitación de las áreas aportantes a la red de drenaje, se ha venido realizando de acuerdo al reconocimiento e identificación del recorrido que efectúan las aguas de escorrentía superficial. Estos sectores han sido evaluados y se identificaron un total de siete (07) áreas de drenaje de mayor influencia en la zona circundante a la Poza 2.

Figura 6

Estado actual del trazo del dren recorriendo el acceso liviano



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Análisis de caudales por zonas de influencia

Según el recorrido por las distintas zonas, se ha realizado un inventario de fuentes de agua y se evidencia que existen trazos naturales de cursos de agua provenientes de los Stocks de mineral y de la zona de la Chancadora, que fluyen hacia una alcantarilla empalmando a las aguas provenientes del Canal 6, estas aguas drenan finalmente a la fuente de agua fluvioglacial a través de un badén de tierra, diseño muy similar a una especie de cuenca endorreica, es decir drena sus aguas a la misma poza.

Figura 7

Área de drenaje de la zona denominada como Stock de mineral



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1 Construcción de poza artificial. Actualmente se ha venido construyendo una Poza Artificial cerca de la Poza 2 con la finalidad de ir desaguando paulatinamente las aguas fluvio-glaciales. Dicha Poza se ha llenado ligeramente de agua ya sea por filtraciones, quedando la hipótesis si el agua se viene infiltrando por debajo de la zona, añadido a esto se puede observar una estructura de Geomembrana en el borde de la Poza 2 (Ver figura 9). De presentarse el caso sería factible corregir y proceder en desaguar las aguas en su totalidad. (Ver figura 8).

Otro factor a considerar es la ubicación de una “chimenea” ubicada cerca a la Poza Artificial, sin embargo, dependerá mucho de las condiciones de operación en que se encuentre, pues ha venido cubriéndose producto de la erosión y/o factores climáticos-antrópicos de la zona.

Figura 8

Construcción sistemática de poza artificial



Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Borde de la Poza 2 con estructura de Geomembrana



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Aguas de escorrentía proveniente del Botadero Cajoncillo. El diseño hidráulico preliminar contemplaba que todas las aguas de escorrentía superficial sean derivadas a la Poza de Contingencia. Previa coordinación, se estipula que las aguas deben ser recogidas a la Poza C por presentar geometría y dimensiones más favorables.

Las aguas de escorrentía provenientes del Botadero Cajoncillo, donde se viene cortando material In Situ para poder estabilizar el terreno debido a que está propenso a presentar escenarios fangosos. Estas drenan hacia la Poza S2 cuyo diseño estipula que debe existir infiltración hacia la Poza C, donde su estudio de flujo superficial debería tenerse en consideración puesto que son aguas que pueden servir para diseños a corto-mediano o largo plazo en caso sirva de estructura de almacenamiento:

Figura 10

Zona del Botadero Cajoncillo



Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Estado actual de la Poza "C"



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3 Zona del W7 Robust. Las alternativas de Canales de Coronación plantean el drenaje a través de las mismas rampas del diseño del Stock que podrán ser recogidas a través de dos flancos hacia una determinada poza, es una alternativa factible para este tipo de proyectos.

Figura 12

Vista desde el W7 Robust



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4 Construcción de una Poza de Contingencia de mayor dimensión. La alternativa de convertir la Poza de Contingencia, en una Poza de mayor dimensión y que a través de ella se regule las aguas provenientes de las diferentes áreas de drenaje más va acorde a una alternativa de largo plazo.

Figura 13

Estado actual de la poza de contingencia



Fuente: Elaboración propia

3.3 Diseño del sistema de drenaje

3.3.1 Descripción de las Obras del Proyecto

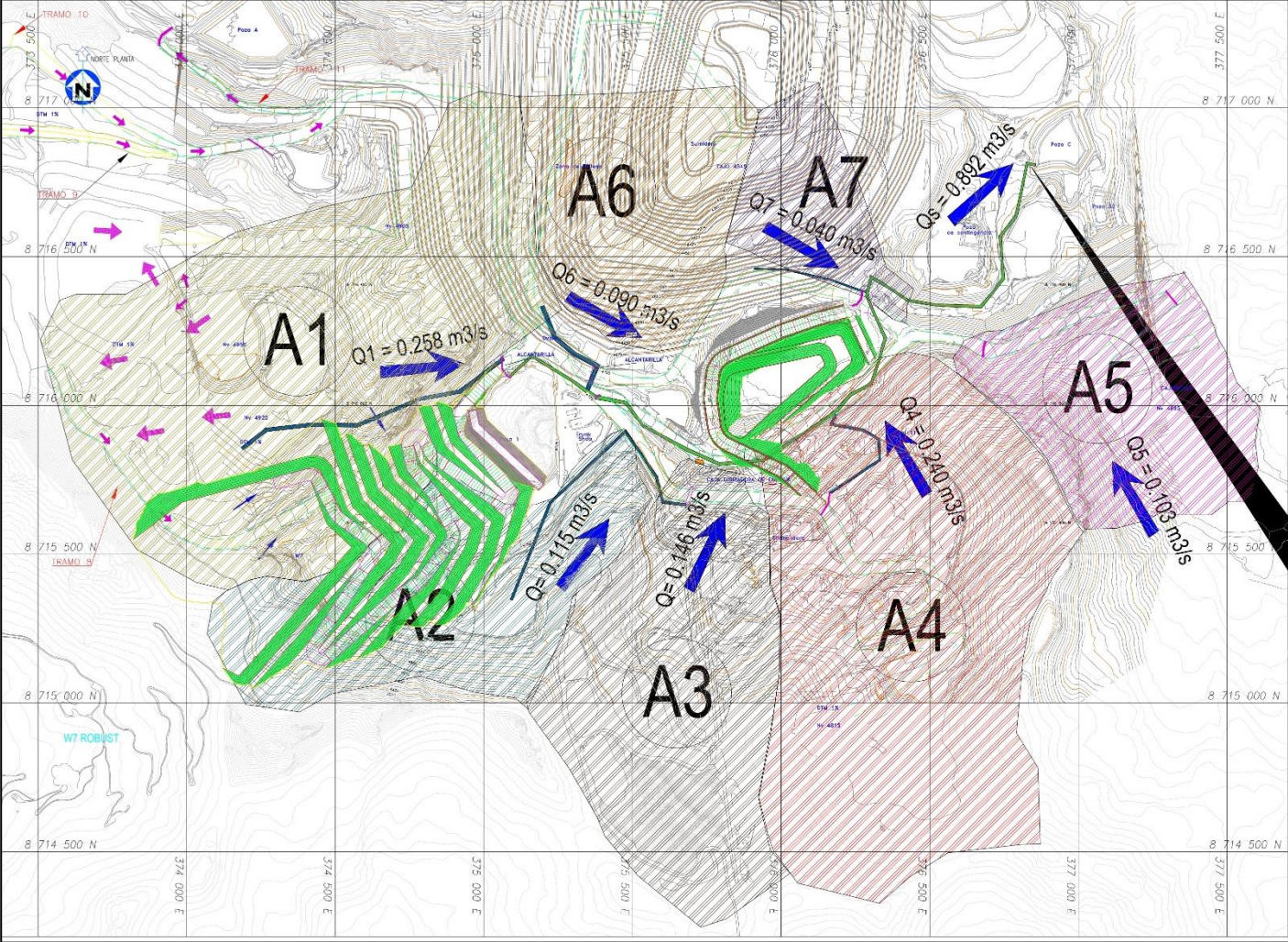
El diseño hidráulico que aseguran la escorrentía superficial de $0.892 \text{ m}^3/\text{s}$ producida por una lluvia de intensidad 14.90 mm/hora , para un periodo de retorno de 25 años sea conducido por un sistema de drenaje superficial compuesto por:

- 03 Canales Principales, tipología "P" (2,725.27 m.)
- 05 Canales Secundarios tipología "S" (3,930.48 m.)

El esquema general de los caudales aportantes por cada área de drenaje que se ha planteado se puede observar en la siguiente Figura 14.

Figura 14

Caudales aportantes por áreas de drenaje



Fuente: Chinalco

El caudal aportante de las áreas de drenaje identificadas y que se planea almacenar en la Poza C a través del canal principal, es de 0.892 m³/s y se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 13

Caudales aportantes por cada área de drenaje

AREAS DE DRENAJE APORTANTE							
Drenaje	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Área (Ha)	156.00	69.70	89.30	145.00	63.00	54.50	24.40
Tr (años)	25	25	25	25	25	25	25
t (min)	35	35	35	35	35	35	35
I (mm/h)	14.90	14.90	14.90	14.90	14.90	14.90	14.90
Q (m ³ /s)	0.26	0.11	0.15	0.24	0.10	0.09	0.04

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Canales principales

Se denominó canales o cunetas principales a aquellas que reciben el aporte de agua de lluvia proveniente de los canales secundarios, estas en su gran mayoría son existentes y se identifican por dejar la marca de escorrentía de agua en el terreno. Estos canales son de sección trapezoidal y cuyo diseño se expone a continuación:

3.3.2.1 Canal principal P – 01.

Las características y geometría del Canal Principal P – 01 (921.186 m), se muestran en los tablas 14 y 15 y la Figura 15, además se aprecia en el Anexo 1, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal principal P – 01.

Tabla 14

Características del Canal P – 01

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
P – 01	0+000.0	0+204.8	205	205	2.19	0.022
	0+204.8	0+380.0	175	380	3.69	0.037
	0+380.0	0+528.1	148	528	3.02	0.030
	0+528.1	0+651.4	123	651	13.13	0.131
	0+651.4	0+833.9	182	834	10.07	0.101
	0+833.9	0+921.2	87	921	8.86	0.089

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Geometría del canal principal P – 01

CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE				
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m³/s)
0.250	0.17	0.25	1.7	0.119
0.250	0.17	0.25	1.7	0.154
0.250	0.18	0.25	1.7	0.157
0.250	0.17	0.25	1.7	0.290
0.250	0.17	0.25	1.7	0.254
0.250	0.18	0.25	1.7	0.268

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Modelamiento con programa Hcanales, Canal P – 01

Datos:

Tirante (y) : m

Ancho de solera (b) : m

Talud (Z) :

Coeficiente de rugosidad (n) :

Pendiente (S) : m/m

Resultados:

Caudal (Q) : m³/s

Velocidad (v) : m/s

Area hidráulica (A) : m²

Perímetro (p) : m

Radio hidráulico (R) : m

Espejo de agua (T) : m

Número de Froude (F) :

Energía específica (E) : m·Kg/Kg

Tipo de flujo :

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 Canal principal P – 02. Las características y geometría del Canal Principal P – 02 (778.042 m), se muestran en los tablas 16 y 17 y la Figura 16, además se aprecia en el Anexo 2, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal principal P – 02.

Tabla 16

Características del Canal P – 02

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
P – 02	0+000.0	0+094.7	95	95	10.71	0.107
	0+094.7	0+265.8	171	266	9.83	0.098
	0+265.8	0+409.4	144	409	4.64	0.046
	0+409.4	0+658.0	249	658	1.21	0.012
	0+658.0	0+778.0	120	778	1.79	0.018

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Geometría del Canal Principal P – 02

CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE					
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m ³ /s)	
0.500	0.31	0.4	1.4	1.157	
0.500	0.31	0.4	1.4	1.108	
0.500	0.31	0.4	1.4	0.761	
0.500	0.38	0.55	1.4	0.720	
0.500	0.38	0.55	1.4	0.875	

Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Modelamiento con programa Hcanales, Canal P – 02

Datos:

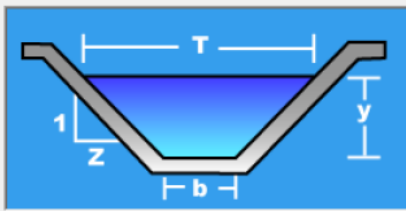
Tirante (y): m

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Coefficiente de rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m



Resultados:

Caudal (Q): m³/s

Velocidad (v): m/s

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m


Radio hidráulico (R): m

Espejo de agua (T): m


Número de Froude (F):

Energía específica (E): m-Kg/Kg


Tipo de flujo:




Calculador




Limpiar Pantalla



Imprimir



Menú Principal



Calculadora

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Canal principal P – 03. Las características y geometría del Canal Principal P – 03 (1,026.045 m), se muestran en los tablas 18 y 19 y la Figura 17, además se aprecia en el Anexo 3, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal principal P – 03.

Tabla 18

Características del Canal P – 03

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
P – 03	0+000.0	0+118.4	118	118	22.98	0.230
	0+118.4	0+193.0	75	193	5.90	0.059
	0+193.0	0+318.0	125	318	6.88	0.069
	0+318.0	0+420.0	102	420	3.92	0.039
	0+420.0	0+561.7	142	562	9.17	0.092
	0+561.7	0+717.8	156	718	3.85	0.039
	0+717.8	0+840.2	122	840	8.17	0.082
	0+840.2	0+920.3	80	920	5.87	0.059
	0+920.3	0+968.1	48	968	19.46	0.195
	0+968.1	1+026.0	58	1,026	22.16	0.222

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

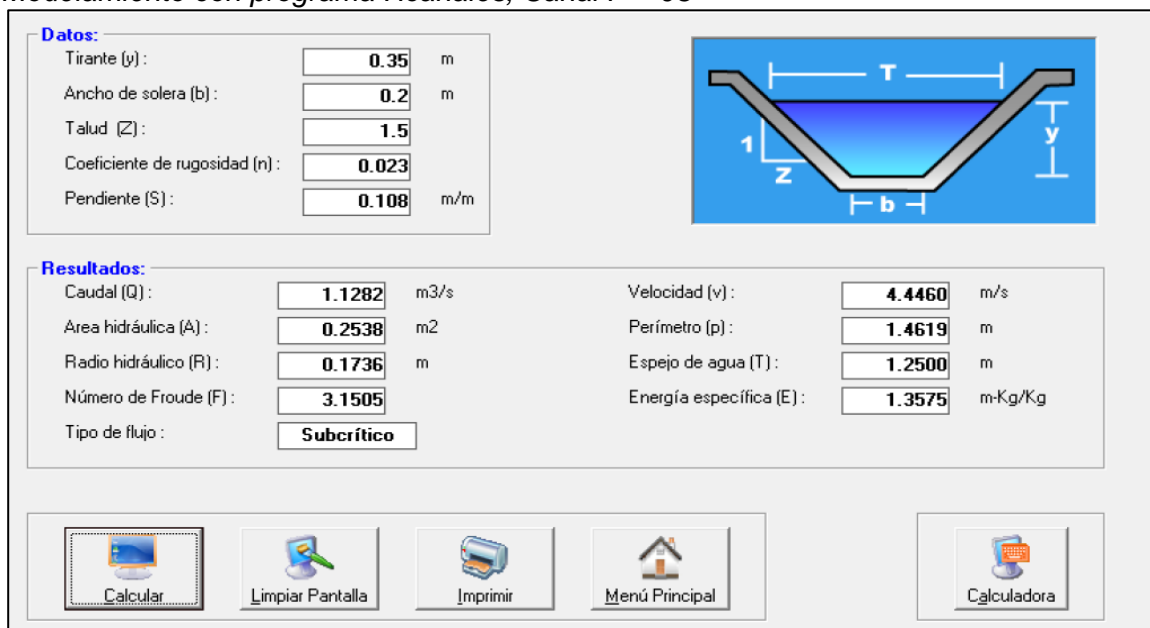
Geometría del Canal Principal P – 03

CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE				
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m ³ /s)
0.450	0.32	0.2	1.5	1.341
0.450	0.35	0.2	1.5	0.834
0.450	0.35	0.2	1.5	0.900
0.450	0.35	0.2	1.5	0.680
0.450	0.35	0.2	1.5	1.040
0.450	0.35	0.2	1.5	0.674
0.450	0.35	0.2	1.5	0.981
0.450	0.35	0.2	1.5	0.832
0.450	0.35	0.2	1.5	1.514
0.450	0.35	0.2	1.5	1.616

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Modelamiento con programa Hcanales, Canal P – 03



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Canales Secundarios

Se denominó cunetas secundarias a aquellas cunetas que reciben el aporte de agua de lluvia de las laderas provenientes de los Stock de minerales, Chancadora y la zona del Tajo. Las cunetas proyectadas son de sección trapezoidal.

3.3.3.1 Canal secundario S-01. Las características y geometría del Canal Secundario S-01 (1,200.30 m), se muestran en las tablas 20 y 21 y la Fig. 18, y se aprecia en el Anexo 4, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal secundario S-01

Tabla 20

Características del Canal S – 01

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
S – 01	0+000.0	0+197.1	197	197	3.04	0.030
	0+197.1	0+388.7	192	389	3.13	0.031
	0+388.7	0+458.6	70	459	7.15	0.072
	0+458.6	0+548.7	90	549	20.38	0.204
	0+548.7	0+644.6	96	645	18.40	0.184
	0+644.6	0+735.3	91	735	26.43	0.264
	0+735.3	0+843.6	108	844	28.65	0.287
	0+843.6	0+973.5	130	974	27.70	0.277
	0+973.5	1+132.6	159	1,133	19.49	0.195
	1+132.6	1+200.3	68	1,200	29.38	0.294

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Geometría del Canal Secundario S – 01

CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE				
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m³/s)
0.250	0.16	0.15	1.81	0.104
0.250	0.16	0.15	1.81	0.106
0.250	0.16	0.15	1.81	0.160
0.250	0.16	0.15	1.81	0.270
0.250	0.16	0.15	1.81	0.257
0.250	0.16	0.15	1.81	0.308
0.250	0.16	0.15	1.81	0.321
0.250	0.16	0.15	1.81	0.315
0.250	0.16	0.15	1.81	0.264
0.250	0.16	0.15	1.81	0.325

Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 01

Datos:

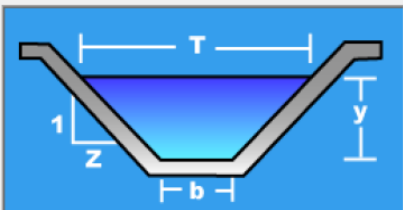
Tirante (y): m

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Coefficiente de rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m



Resultados:


Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s


Área hidráulica (A): m² Perímetro (p): m


Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m


Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg/Kg


Tipo de flujo:


 Calcular


 Limpiar Pantalla


 Imprimir


 Menú Principal


 Calculadora

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2 Canal secundario S – 02. Las características y geometría del Canal Secundario S – 02 (1,744.22 m), se muestran en las tablas 22 y 23 y en la Figura 19, además se aprecia en el Anexo 5, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal secundario S – 02.

Tabla 22*Características del Canal S – 02*

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
S – 02	0+000.0	0+114.5	114	114	4.21	0.042
	0+114.5	0+215.4	101	215	16.85	0.169
	0+215.4	0+333.7	118	334	14.37	0.144
	0+333.7	0+443.7	110	444	33.63	0.336
	0+443.7	0+560.0	116	560	20.64	0.206
	0+560.0	0+667.3	107	667	22.38	0.224
	0+667.3	0+783.8	117	784	4.29	0.043
	0+783.8	0+909.4	126	909	6.37	0.064
	0+909.4	0+990.6	81	991	18.47	0.185
	0+990.6	1+054.6	64	1,055	18.74	0.187
	1+054.6	1+160.0	105	1,160	4.75	0.048
	1+160.0	1+452.0	292	1,452	2.74	0.027
	1+452.0	1+601.6	150	1,602	4.01	0.040
	1+601.6	1+744.2	143	1,744	0.70	0.007

Fuente: Elaboración propia

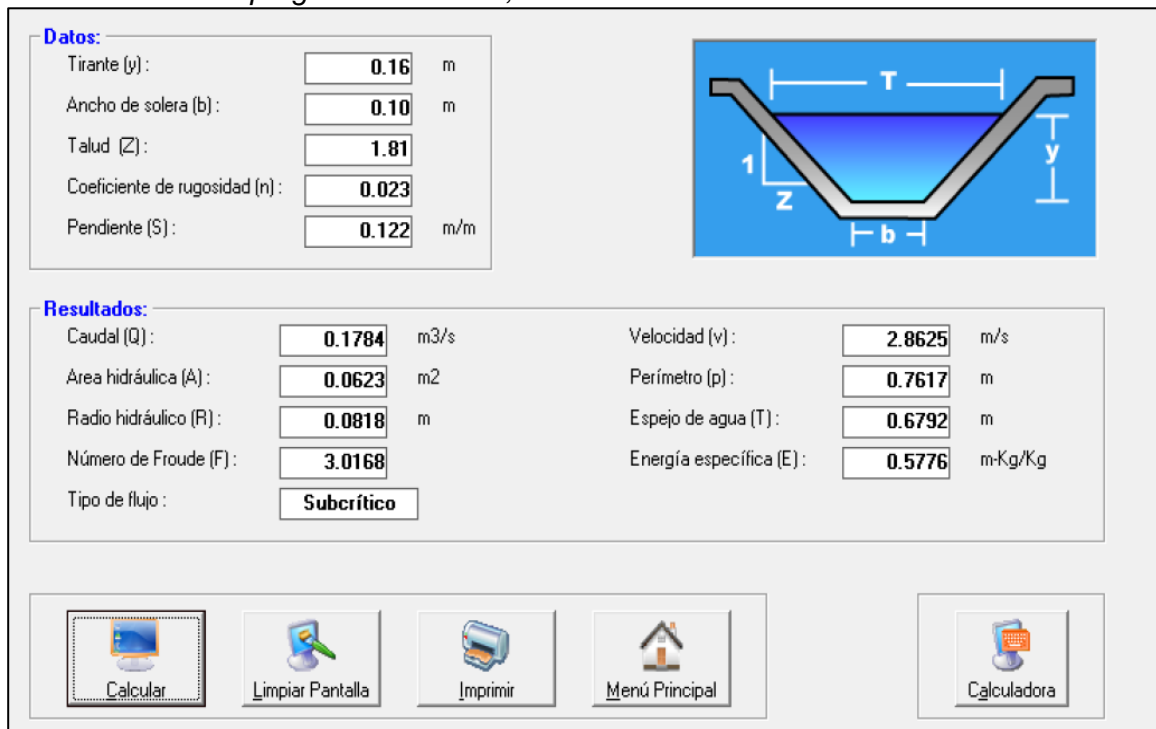
Tabla 23*Geometría del Canal Secundario S – 02*

CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE					
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m ³ /s)	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.123	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.246	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.227	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.347	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.272	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.283	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.124	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.151	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.257	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.259	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.131	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.099	
0.250	0.16	0.15	1.81	0.120	
0.350	0.25	0.25	1.81	0.170	

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 02



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.3 Canal secundario S – 03. Las características y geometría del Canal Secundario S – 03 (219.89 m), se muestran en los tablas 24 y 25 y la Figura 20, además se aprecia en el Anexo 6, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal secundario S – 03.

Tabla 24

Características del Canal S – 03

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
S – 03	0+000.0	0+028.4	28	28	2.03	0.020
	0+028.4	0+072.9	45	73	0.86	0.009
	0+072.9	0+096.3	23	96	0.67	0.007
	0+096.3	0+143.9	48	144	3.77	0.038
	0+143.9	0+169.8	26	170	3.86	0.039
	0+169.8	0+186.5	17	186	11.97	0.120
	0+186.5	0+214.6	28	215	11.46	0.115
	0+214.6	0+219.9	5	220	16.62	0.166

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Geometría del Canal Secundario S – 03

CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE				
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m³/s)
0.350	0.17	0.12	0.85	0.051
0.350	0.17	0.12	0.85	0.033
0.350	0.20	0.12	0.85	0.041
0.350	0.17	0.12	0.85	0.070
0.350	0.17	0.12	0.85	0.071
0.350	0.17	0.12	0.85	0.125
0.350	0.17	0.12	0.85	0.122
0.350	0.17	0.12	0.85	0.147

Fuente: Elaboración propia

Figura 20

Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 03

Datos:

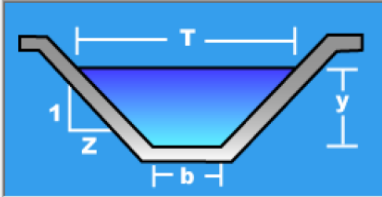
Tirante (y) : m

Áncho de solera (b) : m

Talud (Z) :

Coefficiente de rugosidad (n) :

Pendiente (S) : m/m



Resultados:

Caudal (Q) : m³/s

Area hidráulica (A) : m²

Radio hidráulico (R) : m

Número de Froude (F) :


Tipo de flujo :


Velocidad (v) : m/s


Perímetro (p) : m


Espejo de agua (T) : m

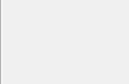
Energía específica (E) : m-Kg/Kg


 Calcular


 Limpiar Pantalla


 Imprimir


 Menú Principal


 Calculadora

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.4 Canal secundario S – 04. Las características y geometría del Canal Secundario S – 04 (460.76 m), se muestran en los tablas 26 y 27 y la Figura 21, además se aprecia en el Anexo 7, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal secundario S – 04.

Tabla 26

Características del Canal S – 04

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
S – 04	0+000.0	0+088.5	89	89	12.42	0.124
	0+088.5	0+217.2	129	129	3.89	0.039
	0+217.2	0+314.6	97	97	25.65	0.257
	0+314.6	0+356.7	42	42	23.78	0.238
	0+356.7	0+395.1	38	38	26.01	0.260
	0+395.1	0+460.8	66	66	20.26	0.203

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Geometría del Canal Secundario S – 04

CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE				
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m³/s)
0.400	0.22	0.17	1.2	0.339
0.400	0.33	0.2	1.2	0.497
0.400	0.22	0.17	1.2	0.487
0.400	0.22	0.17	1.2	0.469
0.400	0.22	0.17	1.2	0.490
0.400	0.22	0.17	1.2	0.433

Fuente: Elaboración propia

Figura 21

Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 04

Datos:

Tirante (y):	<input type="text" value="0.22"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.17"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="1.2"/>	
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.023"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.187"/>	m/m

Resultados:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.4156"/>	m³/s	Velocidad (v):	<input type="text" value="4.3522"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0955"/>	m²	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.8573"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1114"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6980"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="3.7571"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="1.1854"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

 Calcular	 Limpiar Pantalla	 Imprimir	 Menú Principal	 Calculadora
--------------	----------------------	--------------	--------------------	-----------------

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.5 Canal secundario S – 05. Las características y geometría del Canal Secundario S – 05 (305.29 m), se muestran en los tablas 28 y 29 y la Figura 22, además se aprecia en el Anexo 8, las vistas de planta y perfil del desarrollo del canal secundario S – 05.

Tabla 28

Características del Canal S – 05

CANAL	TRAMOS		LONGITUD (m)		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)
	INICIO	FIN	PARCIAL	ACUMULADA		
S – 05	0+000.0	0+051.2	51	51	11.79	0.118
	0+051.2	0+104.6	53	105	6.08	0.061
	0+104.6	0+145.0	40	145	13.09	0.131
	0+145.0	0+206.9	62	207	8.82	0.088
	0+206.9	0+249.3	42	249	7.54	0.075
	0+249.3	0+305.3	56	305	2.48	0.025

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Geometría del Canal Secundario S – 05

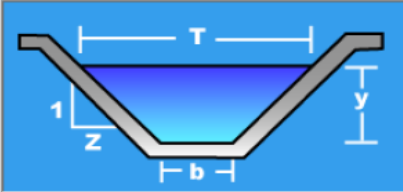
CAPACIDAD DE CANAL EXISTENTE				
h (m)	Y (m)	b (m)	Z	Q (m ³ /s)
0.250	0.12	0.15	1.2	0.087
0.250	0.12	0.15	1.2	0.063
0.250	0.12	0.15	1.2	0.092
0.250	0.12	0.15	1.2	0.075
0.250	0.12	0.15	1.2	0.070
0.250	0.12	0.15	1.2	0.040

Fuente: Elaboración propia


Figura 22


Modelamiento con programa Hcanales, Canal S – 05


Datos:	
Tirante (y):	<input type="text" value="0.12"/> m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.15"/> m
Talud (Z):	<input type="text" value="1.2"/>
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.023"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.083"/> m/m




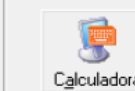
Resultados:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0731"/> m3/s	Velocidad (v):	<input type="text" value="2.0707"/> m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0353"/> m2	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.5249"/> m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0672"/> m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.4380"/> m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="2.3295"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3385"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		


Calcular


Limpiar Pantalla


Imprimir

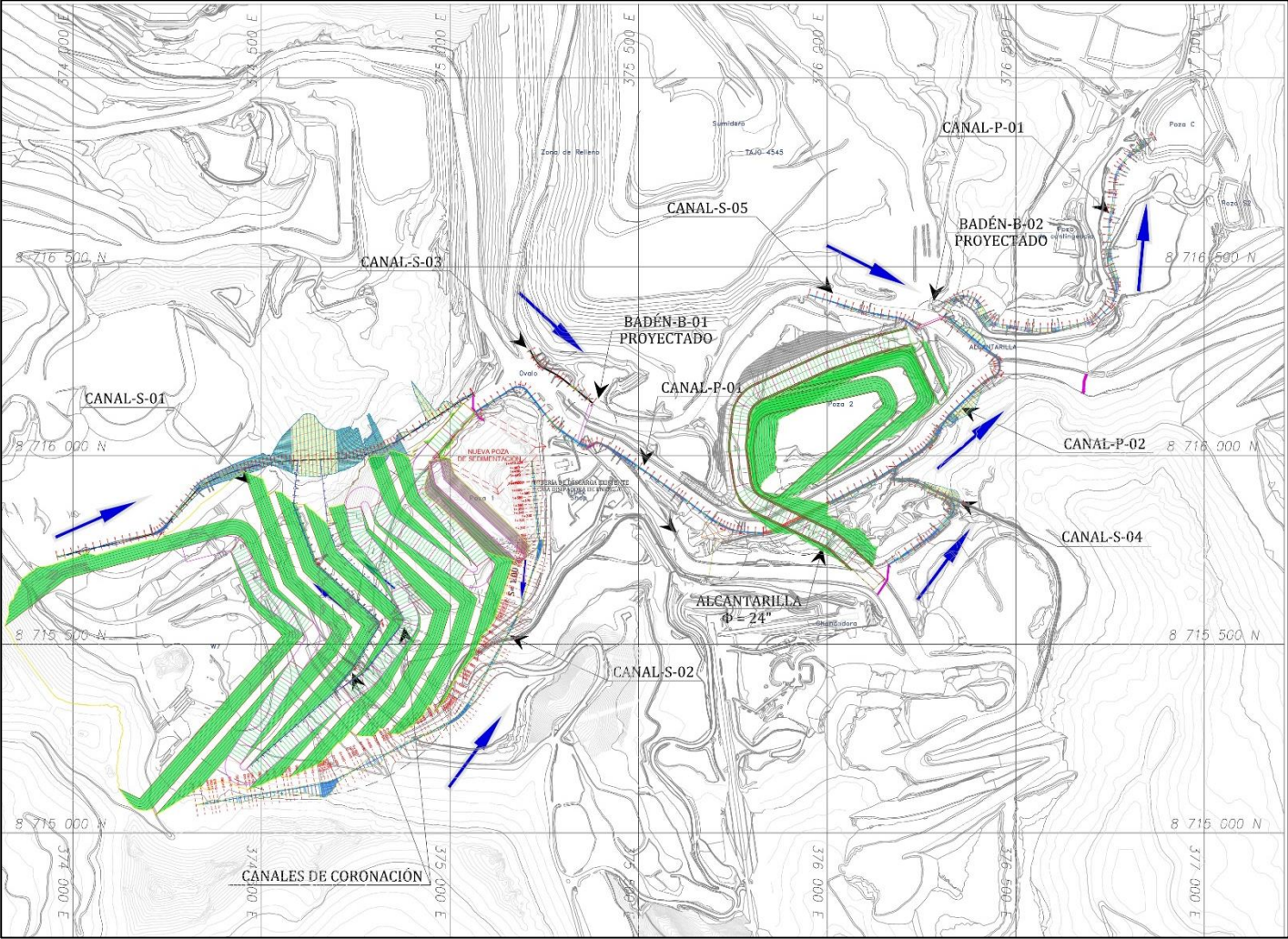

Menú Principal


Calculadora

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Sistema de descarga de aguas de los canales en poza C



Fuente: Chinalco

3.3.4 Costos estimados

Tabla 30

Estimado de cantidades y presupuesto

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Costo unitario (US\$)	Costo parcial (US\$)
1.	TRABAJOS PRELIMNARES				
1.1	TRAZO Y REPLANTEO				
	Limpieza de terreno manual	m ²	3,377.47	0.42	1,418.54
	Trazo nivelación y replanteo	m ²	5,629.11	10.08	56,741.43
2.	CANALES				
2.1	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
	Excavación en material suelto	m ³	147,974.20	11.80	1,746,095.56
	Excavación en roca suelta	m ³	-	-	
	Relleno compactado con material propio	m ³	23,167.98	1.20	27,801.58
	Eliminación del material excedente	m ³	420,754.62	9.80	4,123,395.28
3.	CONCRETO SIMPLE F'c= 175 Kg/cm ² - 210 Kg/cm ²				
3.1	CANALES PRIMARIOS				
	Concreto 210 Kg/cm ² , Canal P-01	m ³	119.02	22.87	2,721.99
	Concreto 210 Kg/cm ² , Canal P-02	m ³	177.94	22.87	4,069.49
	Concreto 210 Kg/cm ² , Canal P-03		229.22	22.87	5,242.26
3.2	CANALES SECUNDARIOS				
	Concreto 175 Kg/cm ² , Canal S-01	m ³	220.09	22.87	5,033.46
	Concreto 175 Kg/cm ² , Canal S-02	m ³	188.45	22.87	4,309.85
	Concreto 175 Kg/cm ² , Canal S-03	m ³	30.39	22.87	695.02
	Concreto 175 Kg/cm ² , Canal S-04	m ³	83.17	22.87	1,902.10
	Concreto 175 Kg/cm ² , Canal S-05	m ³	40.82	22.87	933.55
4.	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO				
4.1	CANALES PRIMARIOS				
	Canal P-1	m ²	1190.17	15.76	18,757.12
	Canal P-2	m ²	1779.42	15.76	28,043.74
	Canal P-3	m ²	2292.18	15.76	36,124.79
4.2	CANALES SECUNDARIOS				
	Canal S-1	m ²	2200.89	15.76	34,686.18
	Canal S-2	m ²	1884.45	15.76	29,698.96
	Canal S-3	m ²	303.89	15.76	4,789.38
	Canal S-4	m ²	831.68	15.76	13,107.32
	Canal S-5	m ²	408.18	15.76	6,432.93
	COSTO DIRECTO				6,093,840.54
	CONTINGENCIA (25% SUBTOTAL)				1,523,460.14
	SUBTOTAL				7,617,300.68
	EPCM (7,5%)				571,297.55
	TOTAL DE INVERSION				8,188,598.23

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Evaluación económica

Para evaluar el beneficio económico de garantizar un correcto drenaje de aguas, lo que permite una ampliación de los Stocks de mineral. Se simulará los escenarios donde se acarrea el mineral hacia el stock ampliado o en el caso contrario, se acarrea el mineral a una nueva ubicación (un poco más alejado del tajo). Tenemos:

Tabla 31

Información general de los camiones

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
% de flota mensual en mina	100%	100%
Horas calendario	8,640	8,640
Disponibilidad %	86%	86%
Horas de mantenimiento	1184	1184
Utilización efectiva	82%	82%
Horas requeridas	6114	6114

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32

Simulación de casos – año 1

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	22.58	18.46
Distancia promedio (km)	4.14	2.96
Ciclos (# de viajes)	16,247	19,873
Payload (t)	371	371
Kton/camión	6028	7373
# Camiones	11.4	9.4
Total Kts	68,991	68,991
# Horas	69,983	57,214
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	23,864,129	19,509,824
US\$/ton (Costo Unitario)	0.346	0.283

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33*Simulación de casos – año 2*

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	21.98	16.44
Distancia promedio (km)	4.14	2.96
Ciclos (# de viajes)	16,690	22,315
Payload (t)	371	371
Kton/camión	6192	8279
# Camiones	13.7	10.3
Total Kts	84,999	84,999
# Horas	83,930	62,776
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	28,620,072	21,406,460
US\$/ton (Costo Unitario)	0.337	0.252

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34*Simulación de casos – año 3*

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	27.45	21.90
Distancia promedio (km)	4.96	3.77
Ciclos (# de viajes)	13,364	16,751
Payload (t)	371	371
Kton/camión	4958	6215
# Camiones	21.6	17.2
Total Kts	106,904	106,904
# Horas	131,829	105,175
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	44,953,708	35,864,707
US\$/ton (Costo Unitario)	0.421	0.335

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35*Simulación de casos – año 4*

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	20.61	16.43
Distancia promedio (km)	3.97	3.05
Ciclos (# de viajes)	17,798	22,328
Payload (t)	371	371
Kton/camión	6603	8284
# Camiones	17.6	14.1
Total Kts	116,476	116,476
# Horas	107,850	85,970
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	36,776,912	29,315,900
US\$/ton (Costo Unitario)	0.316	0.252

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36*Simulación de casos – año 5*

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	28.26	23.75
Distancia promedio (km)	4.70	3.71
Ciclos (# de viajes)	12,983	15,446
Payload (t)	371	371
Kton/camión	4817	5731
# Camiones	20.0	16.8
Total Kts	96,543	96,543
# Horas	122,546	103,005
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	41,788,137	35,124,781
US\$/ton (Costo Unitario)	0.433	0.364

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37*Simulación de casos – año 6*

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	34.52	28.22
Distancia promedio (km)	5.85	4.92
Ciclos (# de viajes)	10,626	13,000
Payload (t)	371	371
Kton/camión	3942	4823
# Camiones	21.6	17.7
Total Kts	85,346	85,346
# Horas	132,367	108,197
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	45,137,084	36,895,160
US\$/ton (Costo Unitario)	0.529	0.432

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38*Simulación de casos – año 7*

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	37.07	30.64
Distancia promedio (km)	6.23	5.31
Ciclos (# de viajes)	9,898	11,973
Payload (t)	371	371
Kton/camión	3672	4442
# Camiones	19.7	16.3
Total Kts	72,250	72,250
# Horas	120,303	99,449
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	41,023,346	33,912,190
US\$/ton (Costo Unitario)	0.568	0.469

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39*Simulación de casos – año 8*

TRUCK 797F	Stockpile actual	Stockpile ampliado
Ciclo total (min)	43.14	38.55
Distancia promedio (km)	7.07	6.14
Ciclos (# de viajes)	8,504	9,516
Payload (t)	371	371
Kton/camión	3155	3531
# Camiones	18.8	16.8
Total Kts	59,353	59,353
# Horas	115,026	102,788
Costo US\$/hr	341	341
\$ Total	39,224,014	35,050,666
US\$/ton (Costo Unitario)	0.661	0.591

Fuente: Elaboración propia

Usando información del área de costos sobre el costo por hora de los camiones 797, que asciende a \$341 por hora. Con esta cifra y el gasto de capital relacionado con la construcción del sistema de drenaje, se elaboró un flujo de caja para mostrar los beneficios.

Tabla 40*Comparación de casos*

Periodo	Costo unitario (US\$/ton)		Tonelaje estimado anual (ton)	Costo de acarreo (US\$)	
	Stock actual	Stock ampliado		Stock actual	Stock ampliado
Año 0					-8,188,598
Año 1	0.346	0.283	68,991,000	-23,870,886	-19,524,453
Año 2	0.337	0.252	84,999,000	-28,644,663	-21,419,748
Año 3	0.421	0.335	106,904,000	-45,006,584	-35,812,840
Año 4	0.316	0.252	116,476,000	-36,806,416	-29,351,952
Año 5	0.433	0.364	96,543,000	-41,803,119	-35,141,652
Año 6	0.529	0.432	85,346,000	-45,148,034	-36,869,472
Año 7	0.568	0.469	72,250,000	-41,038,000	-33,885,250
Año 8	0.661	0.591	59,353,000	-39,232,333	-35,077,623
	VPN			-195,129,962.62	-166,979,384.89
	CAUE (10%,8)			36,575,944	31,299,287

Fuente: Elaboración propia

Calculando el VPN a una tasa de interés del 10% en un periodo de 8 años, obtenemos:

- El VPN del costo de acarreo hacia el stock ampliado genera un ahorro de US\$ 28,150,577.73 en el periodo de análisis.
- Calculando el CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) se concluye que el acarreo hacia el stock ampliado genera un ahorro anual de US\$ 5,276,657.39

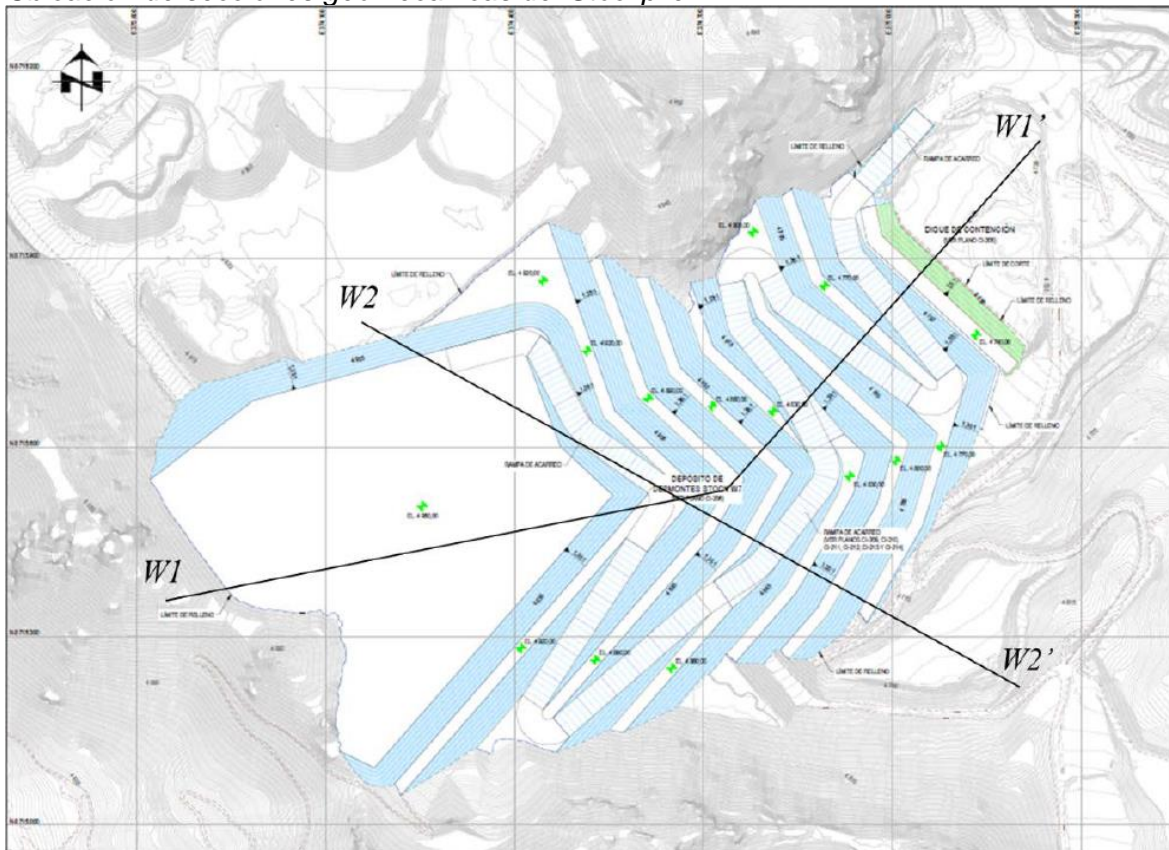
4.2 Evaluación geomecánica

Para realizar la determinar el factor de seguridad de la ampliación del Stockpile, se utilizó los parámetros geomecánicos brindados por el área de geología mina, y la geometría del stockpile del área de planeamiento. Se simulará en el software SLIDE, el escenario donde el sistema de drenaje mejorado garantiza un correcto flujo de agua, evitando saturación de los taludes.

- Material de mina: PE 19 kN/m³, cohesión 0 kPa, ángulo de fricción 40^a.
- Suelo de fundación: PE 18 kN/m³, cohesión 15 kPa, ángulo de fricción 25^a.
- Basamento rocoso: PE 24 kN/m³.
- Nivel freático se encuentra a 1.30 – 1.50 metros del terreno inicial.
- Coeficiente sísmico de 0.15.

Figura 24

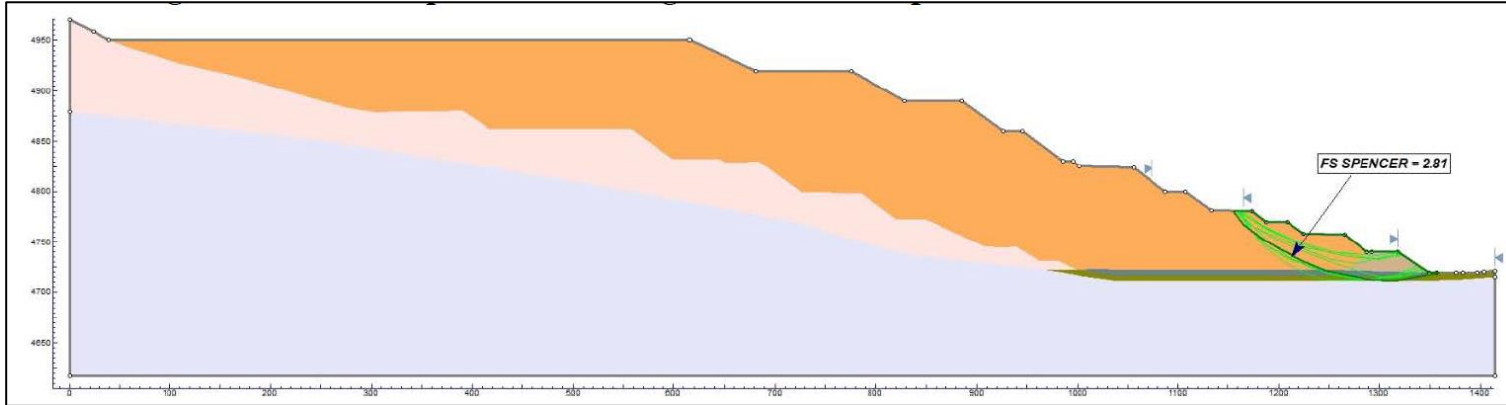
Ubicación de secciones geomecánicas del Stockpile



Fuente: Chinalco

Figura 25

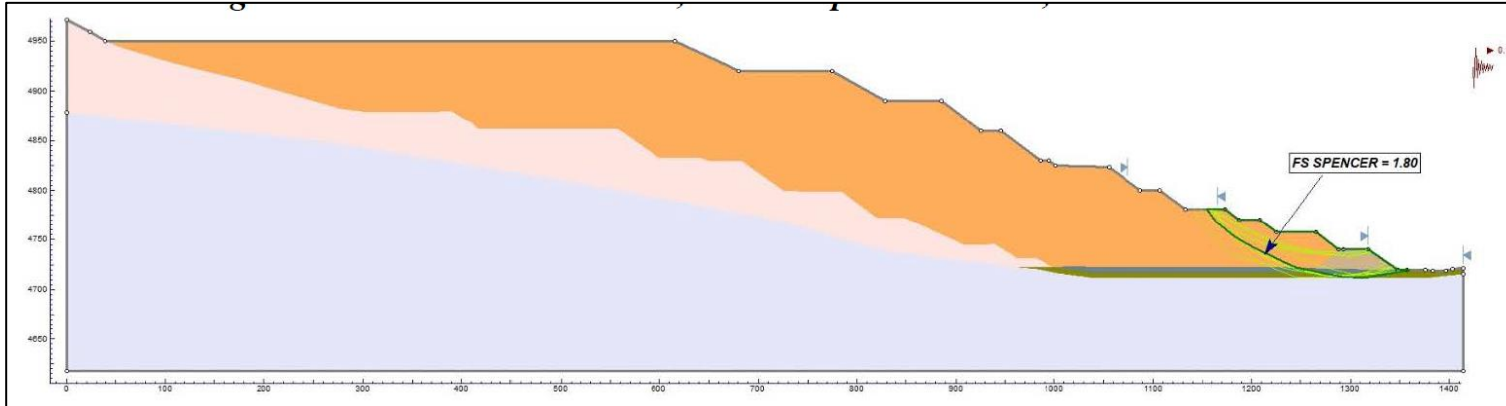
F.S. estático local – sección W1



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Figura 26

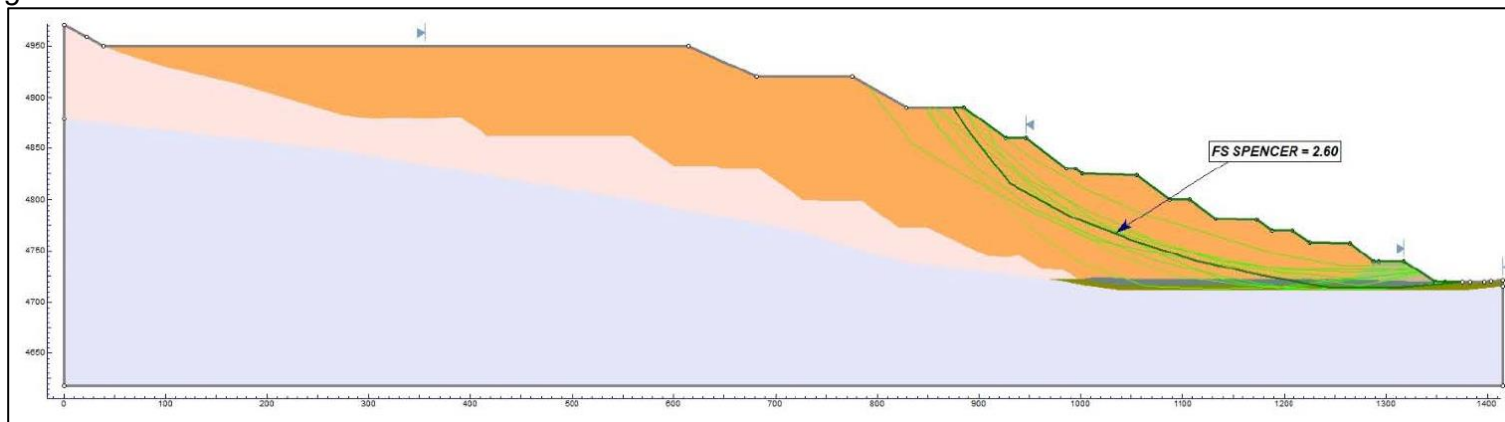
F.S. pseudo-estático local – sección W1



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Figura 27

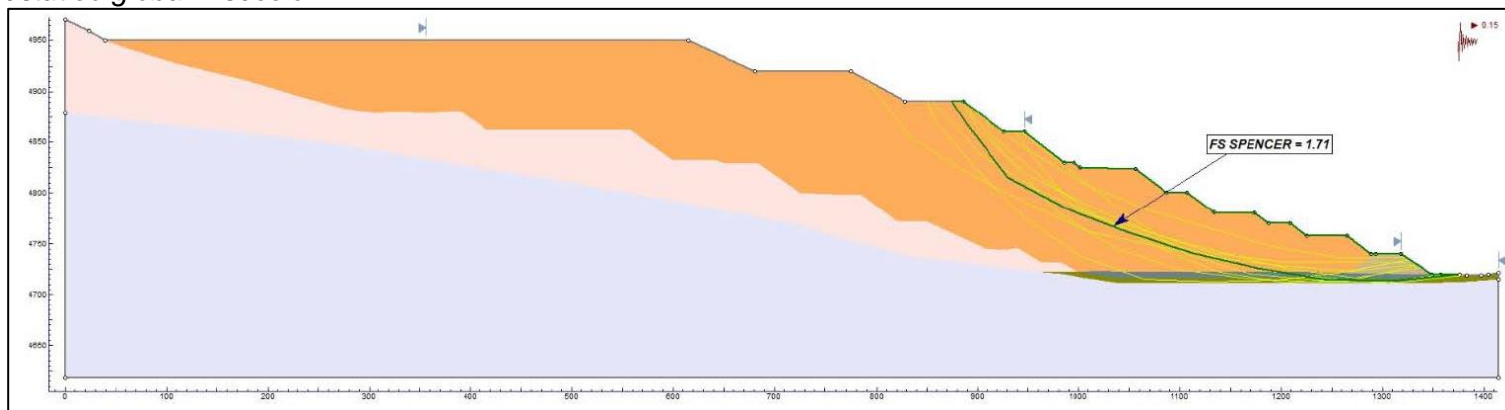
F.S. estático global – sección W1



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Figura 28

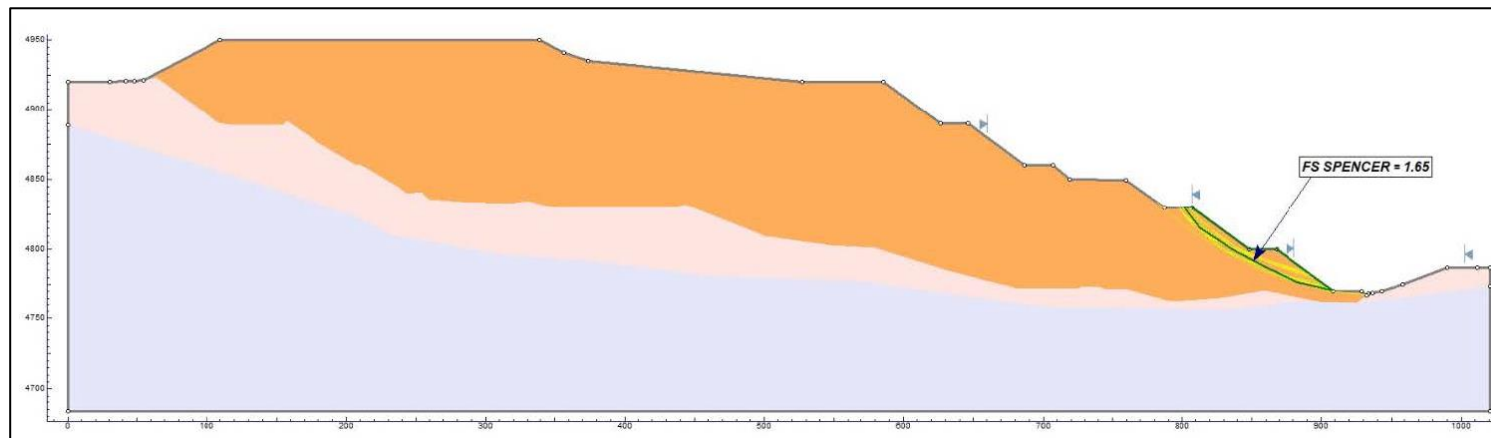
F.S. pseudo-estático global – sección W1



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Figura 29

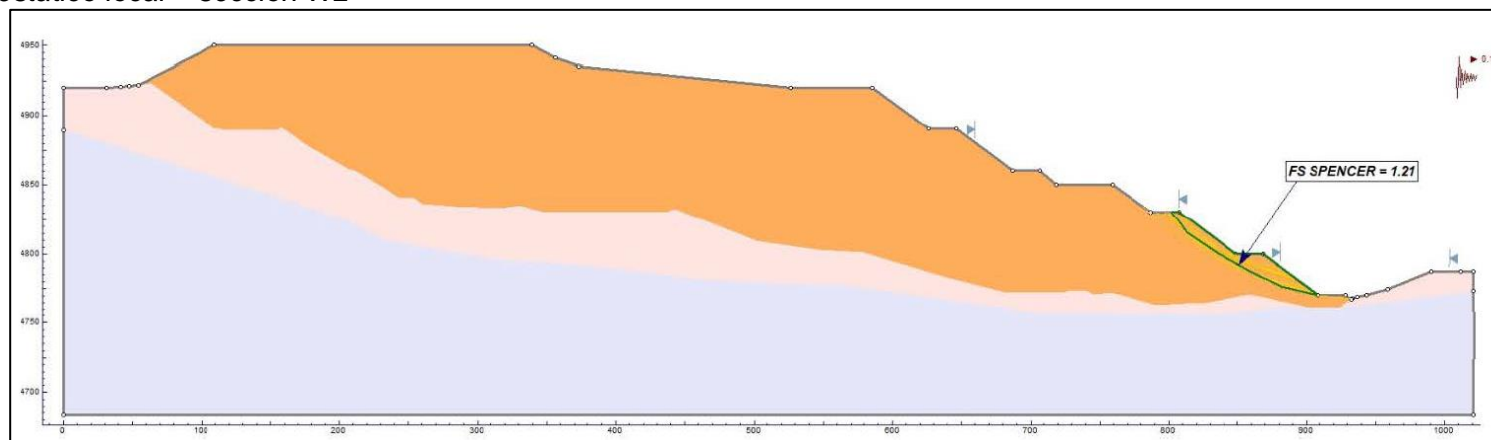
F.S. estático local – sección W2



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Figura 30

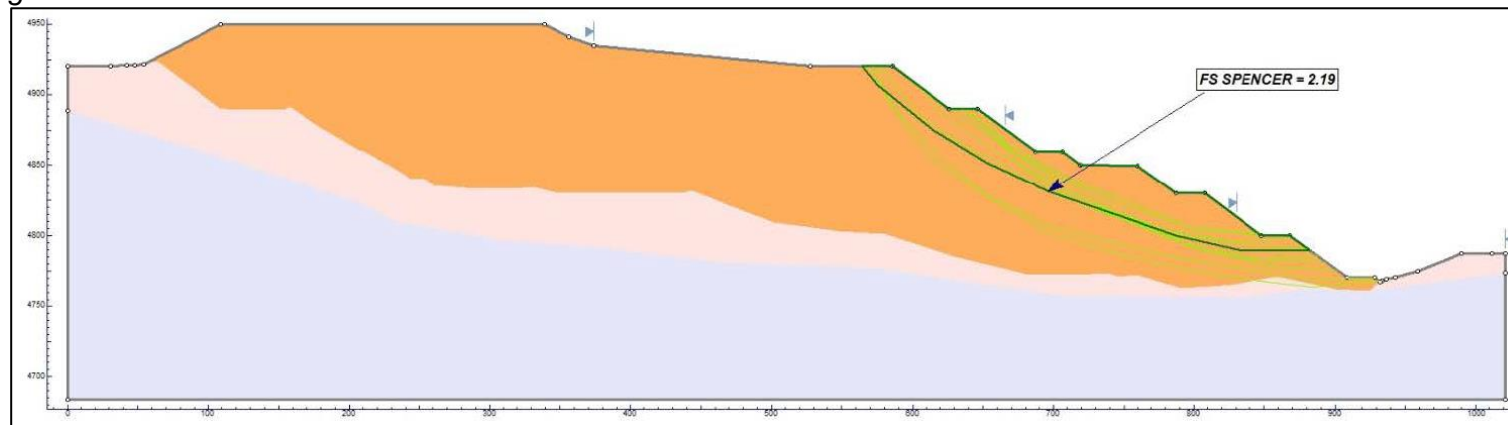
F.S. pseudo-estático local – sección W2



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Figura 31

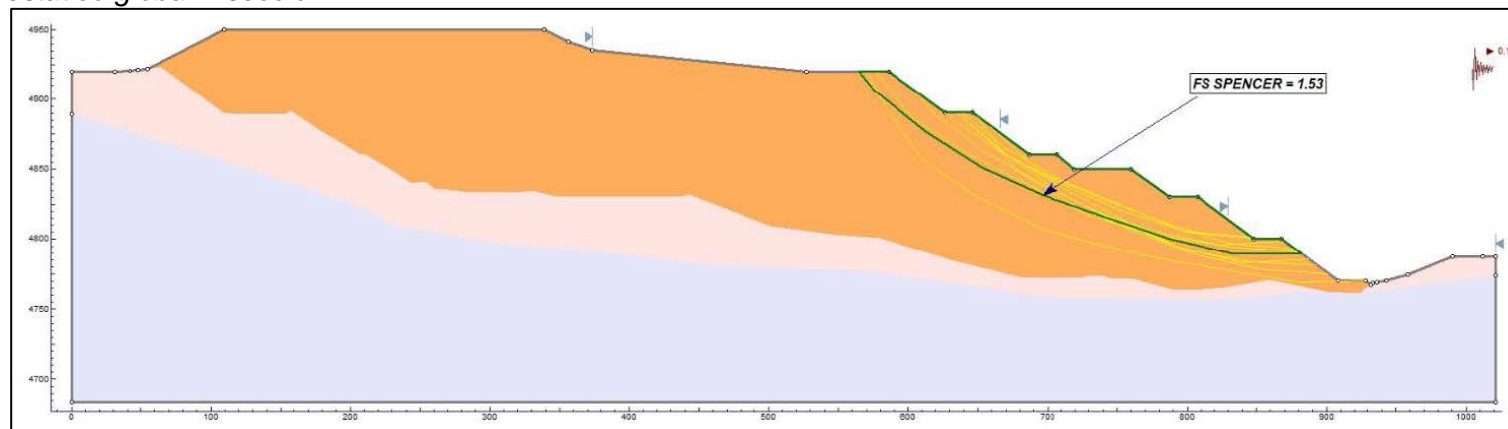
F.S. estático global – sección W2



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Figura 32

F.S. pseudo-estático global – sección W2



Fuente: Elaboración propia – software SILDE

Tabla 41*Resumen de factores de seguridad obtenidos*

Sección	Método	Criterio de aceptabilidad		Factor de seguridad	
		Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
W1	E. limite local	1.30	1.00	2.60	1.71
	E. limite global			2.81	1.80
W2	E. limite local			1.65	1.21
	E. limite global			2.19	1.53

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior en ambas secciones analizadas el factor de seguridad estático local y global supera el mínimo requerido de 1.30. De igual manera el factor de seguridad pseudo-estático supera el mínimo requerido de 1.00. Lo que garantiza la estabilidad de los taludes del Stockpile ampliado.

4.3 Evaluación medioambiental

Con el propósito de evaluar el nivel de agresividad del suelo, el área de medio ambiente realizo ensayos químicos en las muestras de terreno, analizando parámetros como pH, conductividad eléctrica, contenido de sales solubles totales, cloruros y sulfatos.

A continuación, se presenta un cuadro resumen con los resultados obtenidos de los análisis químicos efectuados.

Tabla 42*Resumen de ensayos químicos en suelos*

Calicata / Muestra	Profundidad (m)	pH	SST (ppm)	Cloruros (ppm)	Sulfatos (ppm)
C-1 / M-1	1.00-2.00	6.7	1501	37	1225
C-1 / M-2	0.00-1.00	7.1	1819	52	980
C-2 / M-1	0.00-1.00	8.2	998	39	756
C-2 / M-2	0.50-0.80	7.8	1432	54	1415

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla se muestra los límites permisibles sugeridos por el Comité ACI 318-2005, junto con valores extraídos de diversas fuentes bibliográficas, en relación con las concentraciones de sulfatos, cloruros y sales solubles totales (expresadas en partes por millón - ppm). Asimismo, se indica el grado de deterioro, las observaciones

respecto al daño en las armaduras y en el concreto, y se proporcionan las recomendaciones correspondientes para su protección frente al ataque químico.

Tabla 43

Resumen de valores permisibles

FRECUENCIA EN EL SUELO DE:	% PESO	GRADO DE ALTERACIÓN	CONSECUENCIA
Sulfatos	0.00 – 0.10	Leve	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
	0.10 – 0.20	Moderado	
	0.20 – 2.00	Severo	
	>2.00	Muy severo	
Cloruros	>6,0	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
Sales solubles totales	>1,5	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

Fuente: Comité ACI 318-2005

Al comparar los resultados de los ensayos de laboratorio con los valores recomendados, se puede concluir lo siguiente: los niveles de agresividad química en el área de influencia del Stockpile son moderados en cuanto a la presencia de sulfatos. Por ello, se recomienda el uso de cemento Tipo V.

Esto garantiza la no reacción química del cemento con el que se realizaron los canales de drenaje, con los componentes químicos del suelo. Evitando la generación de compuestos dañinos para el medio ambiente.

4.4 Validación de hipótesis

Para realizar la validación de hipótesis, empezamos formulando la hipótesis nula y alternativa. Debido a que el factor que más impacta en la ampliación de los stockpiles es el tema geomecánico, se usará la variable de estabilidad geomecánica para realizar el análisis. Tenemos:

H0: Un adecuado diseño del sistema de drenaje no permitirá disminuir el riesgo de falla y deslizamientos en los stockpiles expandidos.

HA: Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá disminuir el riesgo de falla y deslizamientos en los stockpiles expandidos.

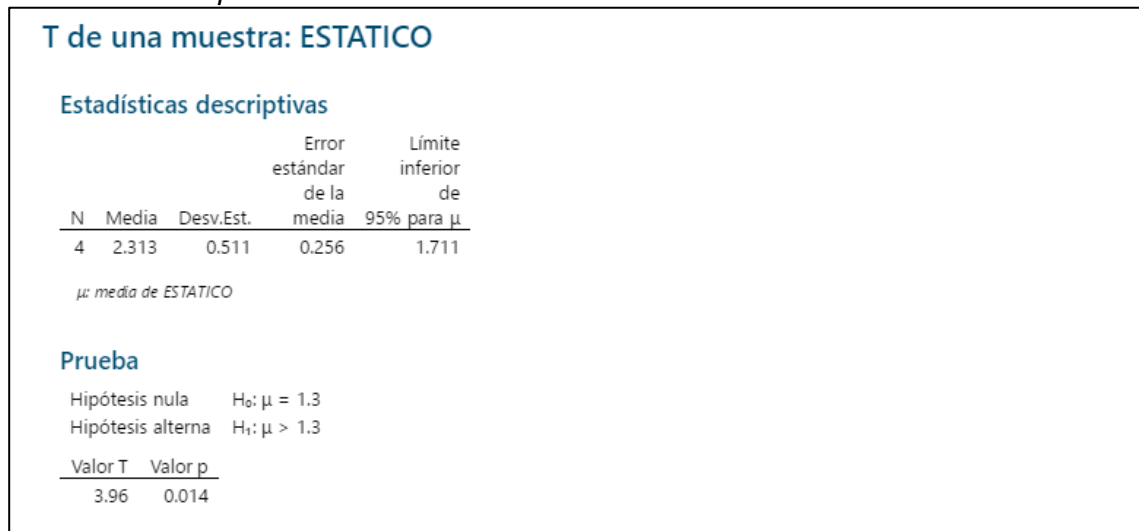
Para la evolución estadística se usara los datos de la tabla 41, donde se muestra el resumen de factores de seguridad obtenidos del análisis geomecánico.

Al tener una cantidad de datos de $n = 4$, la prueba estadística adecuada es la t-student (n menor a 30).

Realizando la prueba en el software Minitab, considerando un nivel de confianza del 95%, por lo que para poder rechazar la hipótesis nula se debe obtener un valor de p menor a 0.05, obtenemos las siguientes figuras.

Figura 33

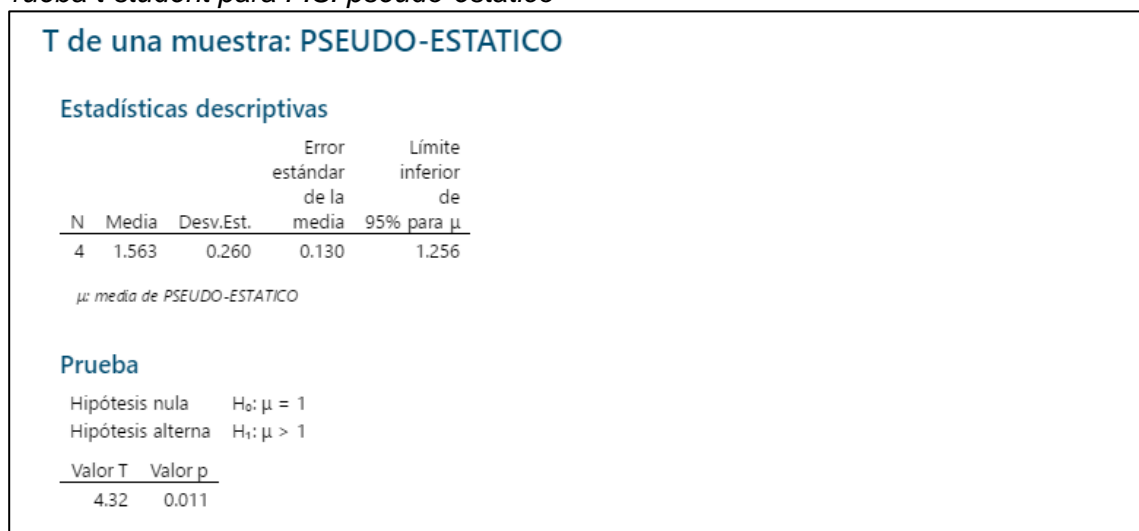
Prueba t-student para F.S. estático



Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Prueba t-student para F.S. pseudo-estático



Fuente: Elaboración propia

De las figuras anteriores, se puede concluir que los valores de p en ambos casos analizados son menores a 0.05, por lo que podemos rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Por lo tanto, Un adecuado diseño del sistema de drenaje permitirá disminuir el riesgo de falla y deslizamientos en los stockpiles expandidos.

Conclusiones

Respecto al diseño de un sistema de drenaje eficiente mostrado en la figura 23, se propuso y desarrolló un esquema conformado por tres canales principales (de 2,725.27 metros de longitud) y cinco canales secundarios (3,930.48 metros), lo que permite una evacuación adecuada de las aguas de escorrentía generadas por la ampliación del stockpile, asegurando un control hidráulico eficaz en toda el área intervenida.

En relación a la identificación de factores críticos de inestabilidad y el riesgo de fallas por acumulación de agua, se determinó en la tabla 13 que los caudales aportantes de las subcuencas A1 a A7 —entre 0.040 m³/s y 0.258 m³/s— representan un riesgo significativo si no se gestionan adecuadamente. Por ello, los canales fueron dimensionados para un tiempo de retorno de 25 años y diseñados con secciones trapezoidales de concreto simple, garantizando capacidad hidráulica y estabilidad frente a eventos extremos.

Para garantizar la eficiencia operativa de la mina y permitir la ampliación segura del stockpile, el nuevo sistema de drenaje facilita el direccionamiento de aguas hacia la Poza C, mostrado en la figura 11, la cual actúa como estructura de control y regulación, reduciendo significativamente los riesgos de inundación, erosión e impactos en las operaciones.

De la tabla 41, en cuanto a la estabilidad operativa de los taludes, el sistema diseñado contribuye directamente a mantener condiciones seguras, obteniendo factores de seguridad de 2.31 (condición estática) y 1.56 (condición pseudo-estática), valores que superan los mínimos requeridos por la normativa geotécnica vigente.

De la tabla 40, como resultado de la ampliación del stockpile, se mejoraron las operaciones de acarreo, logrando un beneficio económico acumulado de US\$ 28,150,577.73 durante un periodo ocho años de operación tras la implementación del sistema de drenaje. Lo que representa un ahorro anual de US\$ 5,276,657.39.

Finalmente, en atención al impacto medioambiental asociado al uso de materiales de construcción, se realizó una evaluación química del suelo, mostrado en la tabla 42, que

permitió seleccionar el cemento Tipo V como aglutinante, debido a su alta resistencia a sulfatos. Esta elección garantiza la durabilidad de las estructuras hidráulicas y minimiza los impactos negativos sobre la calidad del suelo y el entorno ambiental.

Recomendaciones

Se recomienda realizar inspecciones periódicas del estado de los canales principales y secundarios, especialmente antes y después de temporadas de lluvias intensas, para garantizar su operatividad y detectar a tiempo posibles daños estructurales o sedimentaciones.

Debe implementarse un programa de mantenimiento periódico en la Poza C, enfocado en la remoción de sedimentos acumulados, limpieza de entradas y salidas de agua, y control de filtraciones, para asegurar su capacidad de regulación de escurrimiento a largo plazo.

Cada cinco años, o tras eventos pluviométricos extraordinarios, se recomienda actualizar los estudios hidrológicos para validar que el sistema de drenaje siga siendo adecuado frente a posibles cambios en los patrones de precipitación debido al cambio climático.

Es fundamental capacitar periódicamente al personal de operación y mantenimiento sobre los procedimientos adecuados para el manejo del sistema de drenaje, la detección de fallas tempranas y las acciones correctivas inmediatas.

Referencias bibliográficas

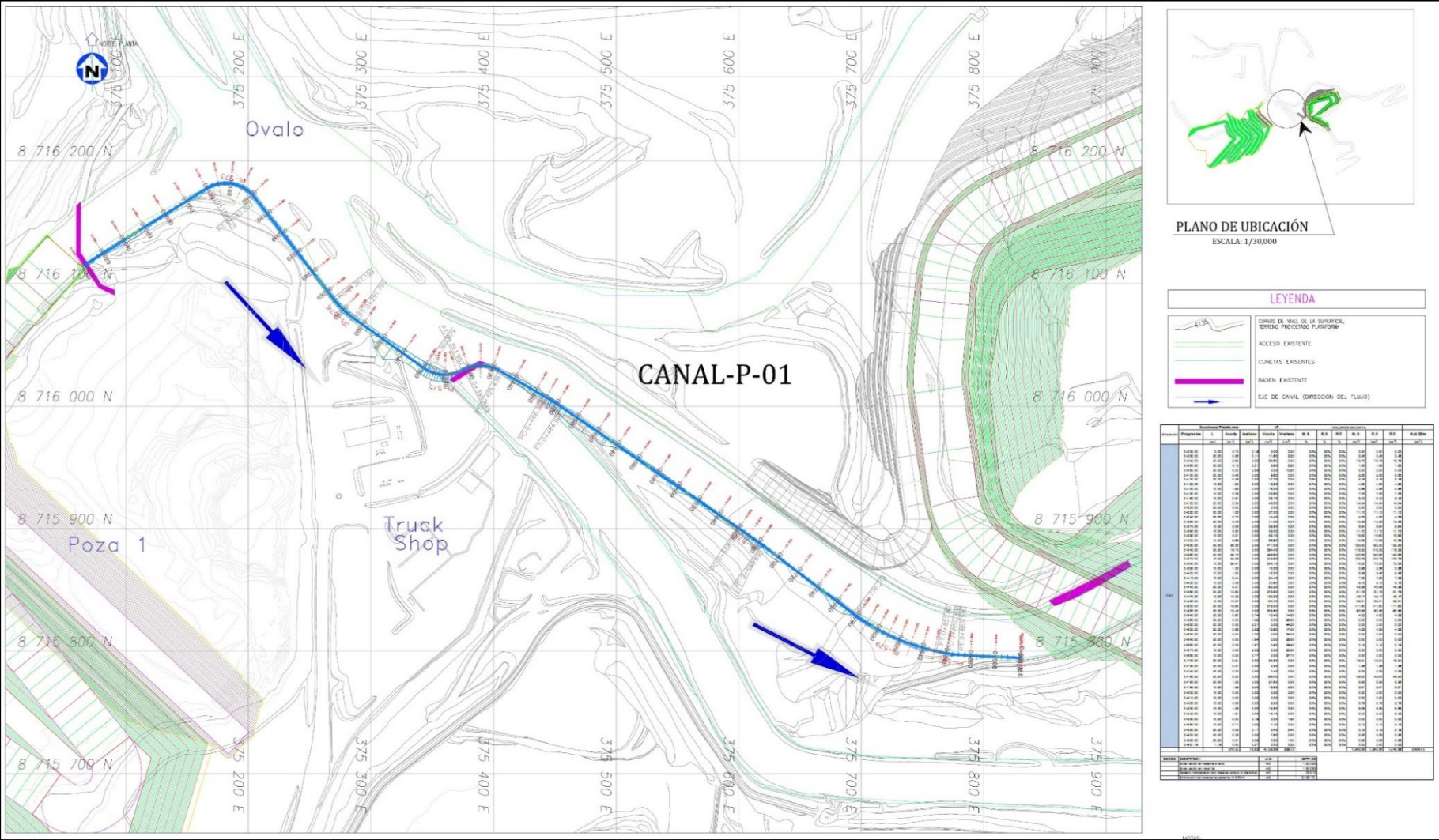
- Avalo, C. (2015) *Diseño de obras civiles de un pad de lixiviación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Doe, J. (2018) *Design of Tailings Storage Facilities with Emphasis on Water Management and Seepage Control* [Documento técnico, Universidad Católica de Temuco, Chile].
- Espino, R. (2018) *Diseño estructural de un sistema de protección para el stockpile de Minera Cerro Verde II* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa].
- Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers.
- Gonzalez, M. (2019) *Integration of Environmental and Geotechnical Factors in Tailings Pond Design* [Documento técnico, Universidad de Jaén, España].
- Goovaerts, P. (2000). *Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall*. *Journal of Hydrology*, 228(1-2), 113-129.
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., & Gu, G. (2007). *Improving the global precipitation record: GPCP Version 2.1*. *Geophysical Research Letters*, 34(17).
- IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Maldonado, F. (2022) *Caudal y diseño del sistema de drenaje superficial para la protección de un depósito de desmontes de mina en el departamento de La Libertad, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012), *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*.
- Mays, L. W. (2011). *Water Resources Engineering*. John Wiley & Sons.
- Mayhua, R. (2015). *Diseño geotécnico del Pad de Lixiviación Ampliación Sur - Fase 5 - La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].

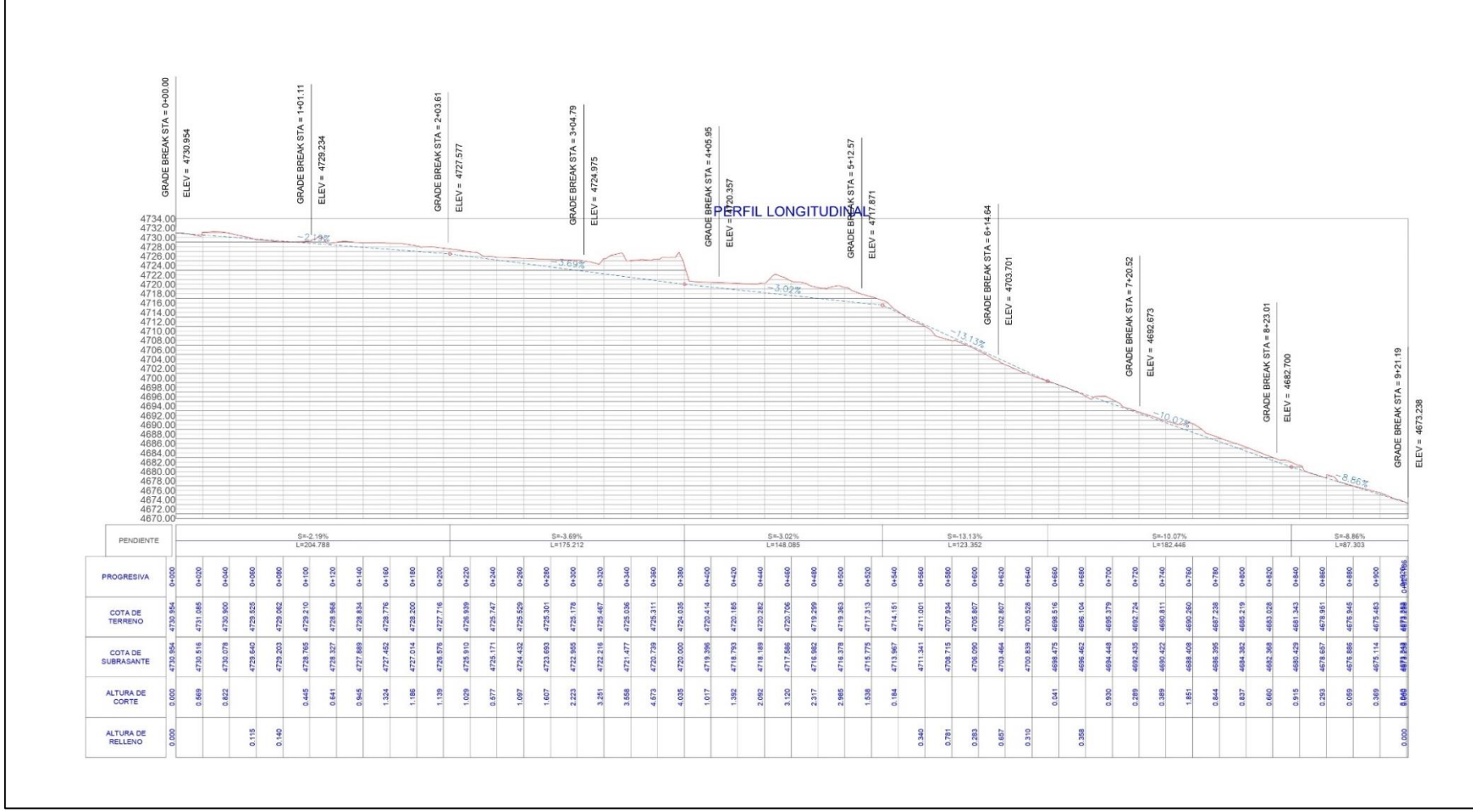
- Novak, P., Guinot, V., Jeffrey, A., & Reeve, D. (2010). *Hydraulics of Open Channel Flow*. CRC Press.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2010). *Manual sobre la medición de la precipitación*. Ginebra, Suiza.
- Prado, J. (2015) *Diseño de canal de coronación de una relavera en la Unidad Minera Contonga* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Smith, J. (2019) *Hydraulic Design Considerations for Tailings Dam Perimeter Channels* [Documento técnico, University of Queensland, Australia].
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Shepherd, T. G. (2014). *Attribution of climate extreme events*. *Nature Climate Change*, 5(8), 725-730.
- Ven Te Chow. (1988). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill.
- World Meteorological Organization (WMO). (2009). *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation*. Geneva, Switzerland.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Vista de planta y perfil del Canal principal P – 01.....	1
Anexo 2: Vista de planta y perfil del Canal principal P – 02.....	3
Anexo 3: Vista de planta y perfil del Canal principal P – 03.....	5
Anexo 4: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 01	7
Anexo 5: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 02	9
Anexo 6: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 03	11
Anexo 7: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 04	13
Anexo 8: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 05	15

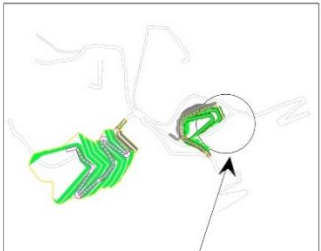
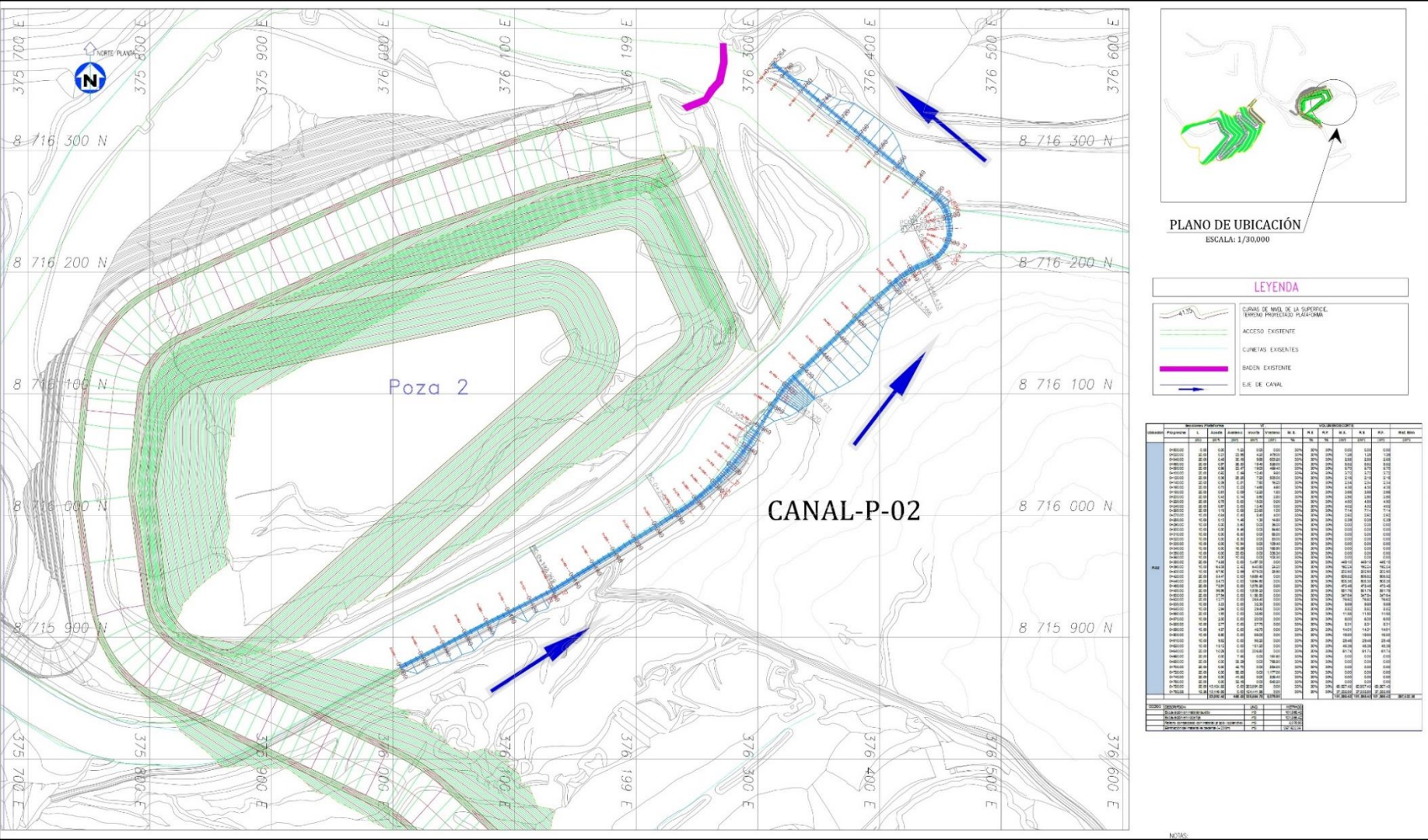
Anexo 1: Vista de planta y perfil del Canal principal P – 01





PENDIENTE		S = -2.19% L = 204.768		S = -3.69% L = 175.212		S = -3.02% L = 148.085		S = -13.13% L = 123.352		S = -10.07% L = 182.446		S = -8.88% L = 97.303		
PROGRESIVA	COTA DE TERRENO	COTA DE SUBRASANTE	ALTURA DE CORTE	ALTURA DE RELIEVO	PROGRESIVA	COTA DE TERRENO	COTA DE SUBRASANTE	ALTURA DE CORTE	ALTURA DE RELIEVO	PROGRESIVA	COTA DE TERRENO	COTA DE SUBRASANTE	ALTURA DE CORTE	ALTURA DE RELIEVO
0+00	4730.954	4730.954	0.000	0.000	0+00	4730.954	4730.954	0.000	0.000	0+00	4730.954	4730.954	0.000	0.000
0+50	4731.895	4731.895	0.000	0.000	0+50	4731.895	4731.895	0.000	0.000	0+50	4731.895	4731.895	0.000	0.000
0+54	4730.800	4730.800	0.000	0.000	0+54	4730.800	4730.800	0.000	0.000	0+54	4730.800	4730.800	0.000	0.000
0+90	4729.653	4729.653	0.000	0.115	0+90	4729.653	4729.653	0.000	0.115	0+90	4729.653	4729.653	0.000	0.115
0+90	4729.652	4729.652	0.000	0.140	0+90	4729.652	4729.652	0.000	0.140	0+90	4729.652	4729.652	0.000	0.140
0+100	4729.210	4729.210	0.000		0+100	4729.210	4729.210	0.000		0+100	4729.210	4729.210	0.000	
0+100	4728.868	4728.868	0.000		0+100	4728.868	4728.868	0.000		0+100	4728.868	4728.868	0.000	
0+140	4728.834	4728.834	0.000		0+140	4728.834	4728.834	0.000		0+140	4728.834	4728.834	0.000	
0+160	4728.776	4728.776	0.000		0+160	4728.776	4728.776	0.000		0+160	4728.776	4728.776	0.000	
0+180	4728.200	4728.200	0.000		0+180	4728.200	4728.200	0.000		0+180	4728.200	4728.200	0.000	
0+200	4727.716	4727.716	0.000		0+200	4727.716	4727.716	0.000		0+200	4727.716	4727.716	0.000	
0+220	4726.939	4726.939	0.000		0+220	4726.939	4726.939	0.000		0+220	4726.939	4726.939	0.000	
0+340	4725.747	4725.747	0.000		0+340	4725.747	4725.747	0.000		0+340	4725.747	4725.747	0.000	
0+380	4725.829	4725.829	0.000		0+380	4725.829	4725.829	0.000		0+380	4725.829	4725.829	0.000	
0+380	4725.301	4725.301	0.000		0+380	4725.301	4725.301	0.000		0+380	4725.301	4725.301	0.000	
0+380	4725.178	4725.178	0.000		0+380	4725.178	4725.178	0.000		0+380	4725.178	4725.178	0.000	
0+380	4725.487	4725.487	0.000		0+380	4725.487	4725.487	0.000		0+380	4725.487	4725.487	0.000	
0+340	4725.036	4725.036	0.000		0+340	4725.036	4725.036	0.000		0+340	4725.036	4725.036	0.000	
0+380	4725.311	4725.311	0.000		0+380	4725.311	4725.311	0.000		0+380	4725.311	4725.311	0.000	
0+380	4724.935	4724.935	0.000		0+380	4724.935	4724.935	0.000		0+380	4724.935	4724.935	0.000	
0+400	4720.414	4720.414	0.000		0+400	4720.414	4720.414	0.000		0+400	4720.414	4720.414	0.000	
0+420	4720.185	4720.185	0.000		0+420	4720.185	4720.185	0.000		0+420	4720.185	4720.185	0.000	
0+440	4720.382	4720.382	0.000		0+440	4720.382	4720.382	0.000		0+440	4720.382	4720.382	0.000	
0+460	4720.706	4720.706	0.000		0+460	4720.706	4720.706	0.000		0+460	4720.706	4720.706	0.000	
0+480	4719.299	4719.299	0.000		0+480	4719.299	4719.299	0.000		0+480	4719.299	4719.299	0.000	
0+500	4719.383	4719.383	0.000		0+500	4719.383	4719.383	0.000		0+500	4719.383	4719.383	0.000	
0+520	4717.313	4717.313	0.000		0+520	4717.313	4717.313	0.000		0+520	4717.313	4717.313	0.000	
0+540	4714.151	4714.151	0.000		0+540	4714.151	4714.151	0.000		0+540	4714.151	4714.151	0.000	
0+560	4711.001	4711.001	0.000	0.340	0+560	4711.001	4711.001	0.000	0.340	0+560	4711.001	4711.001	0.000	0.340
0+580	4707.934	4707.934	0.000	0.781	0+580	4707.934	4707.934	0.000	0.781	0+580	4707.934	4707.934	0.000	0.781
0+600	4705.807	4705.807	0.000	0.283	0+600	4705.807	4705.807	0.000	0.283	0+600	4705.807	4705.807	0.000	0.283
0+620	4703.807	4703.807	0.000	0.657	0+620	4703.807	4703.807	0.000	0.657	0+620	4703.807	4703.807	0.000	0.657
0+640	4700.528	4700.528	0.000	0.310	0+640	4700.528	4700.528	0.000	0.310	0+640	4700.528	4700.528	0.000	0.310
0+660	4698.516	4698.516	0.000	0.041	0+660	4698.516	4698.516	0.000	0.041	0+660	4698.516	4698.516	0.000	0.041
0+680	4696.104	4696.104	0.000	0.356	0+680	4696.104	4696.104	0.000	0.356	0+680	4696.104	4696.104	0.000	0.356
0+700	4695.279	4695.279	0.000	0.930	0+700	4695.279	4695.279	0.000	0.930	0+700	4695.279	4695.279	0.000	0.930
0+720	4692.724	4692.724	0.000	0.289	0+720	4692.724	4692.724	0.000	0.289	0+720	4692.724	4692.724	0.000	0.289
0+740	4690.811	4690.811	0.000	0.389	0+740	4690.811	4690.811	0.000	0.389	0+740	4690.811	4690.811	0.000	0.389
0+760	4688.260	4688.260	0.000	1.851	0+760	4688.260	4688.260	0.000	1.851	0+760	4688.260	4688.260	0.000	1.851
0+780	4687.238	4687.238	0.000	0.844	0+780	4687.238	4687.238	0.000	0.844	0+780	4687.238	4687.238	0.000	0.844
0+800	4685.219	4685.219	0.000	0.837	0+800	4685.219	4685.219	0.000	0.837	0+800	4685.219	4685.219	0.000	0.837
0+820	4683.028	4683.028	0.000	0.660	0+820	4683.028	4683.028	0.000	0.660	0+820	4683.028	4683.028	0.000	0.660
0+840	4681.343	4681.343	0.000	0.915	0+840	4681.343	4681.343	0.000	0.915	0+840	4681.343	4681.343	0.000	0.915
0+860	4678.951	4678.951	0.000	0.253	0+860	4678.951	4678.951	0.000	0.253	0+860	4678.951	4678.951	0.000	0.253
0+880	4676.845	4676.845	0.000	0.059	0+880	4676.845	4676.845	0.000	0.059	0+880	4676.845	4676.845	0.000	0.059
0+900	4675.483	4675.483	0.000	0.369	0+900	4675.483	4675.483	0.000	0.369	0+900	4675.483	4675.483	0.000	0.369
0+920.06	4673.238	4673.238	0.000	0.040	0+920.06	4673.238	4673.238	0.000	0.040	0+920.06	4673.238	4673.238	0.000	0.040

Anexo 2: Vista de planta y perfil del Canal principal P – 02



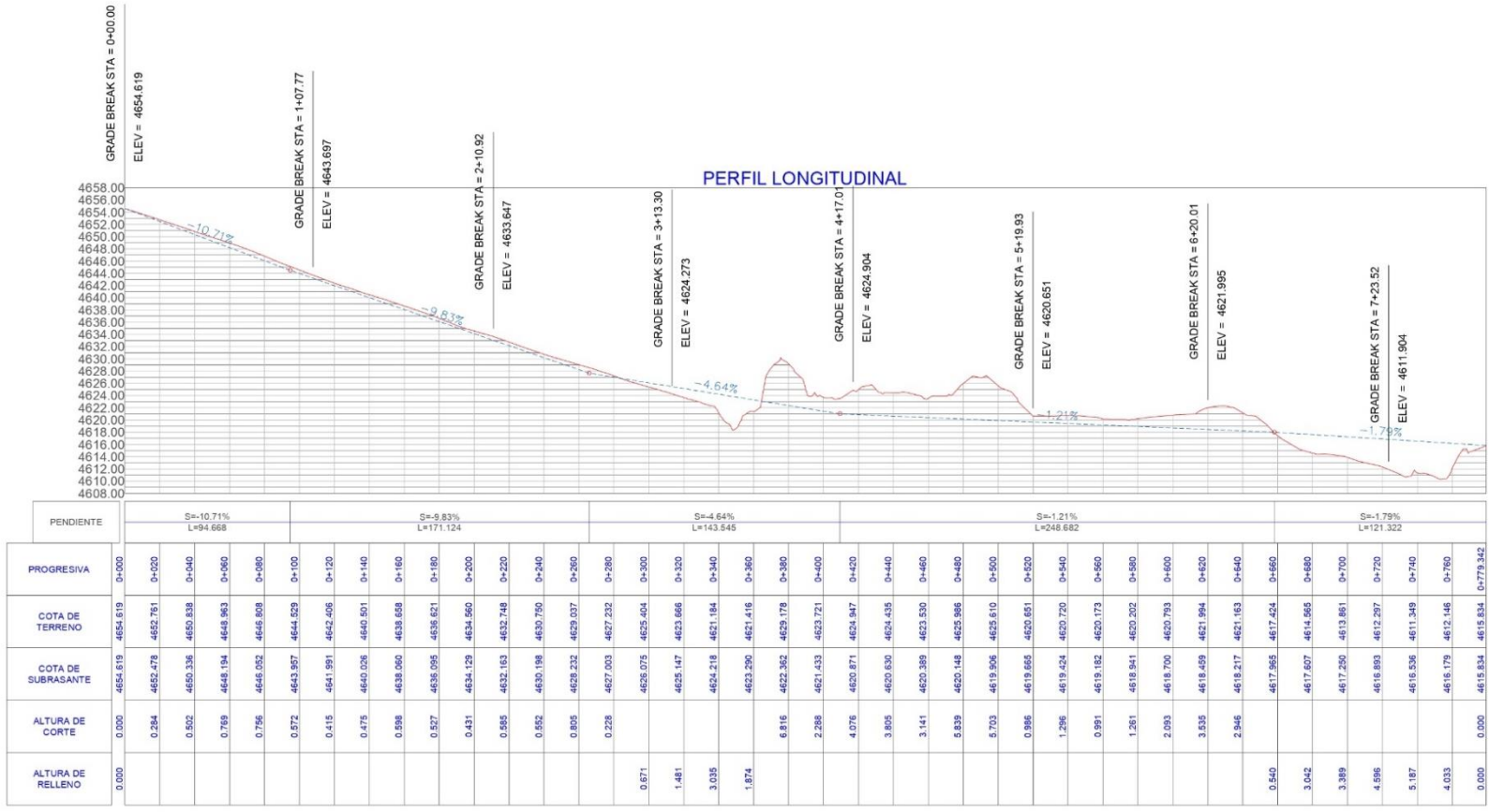
PLANO DE UBICACIÓN
ESCALA: 1/30,000

LEYENDA

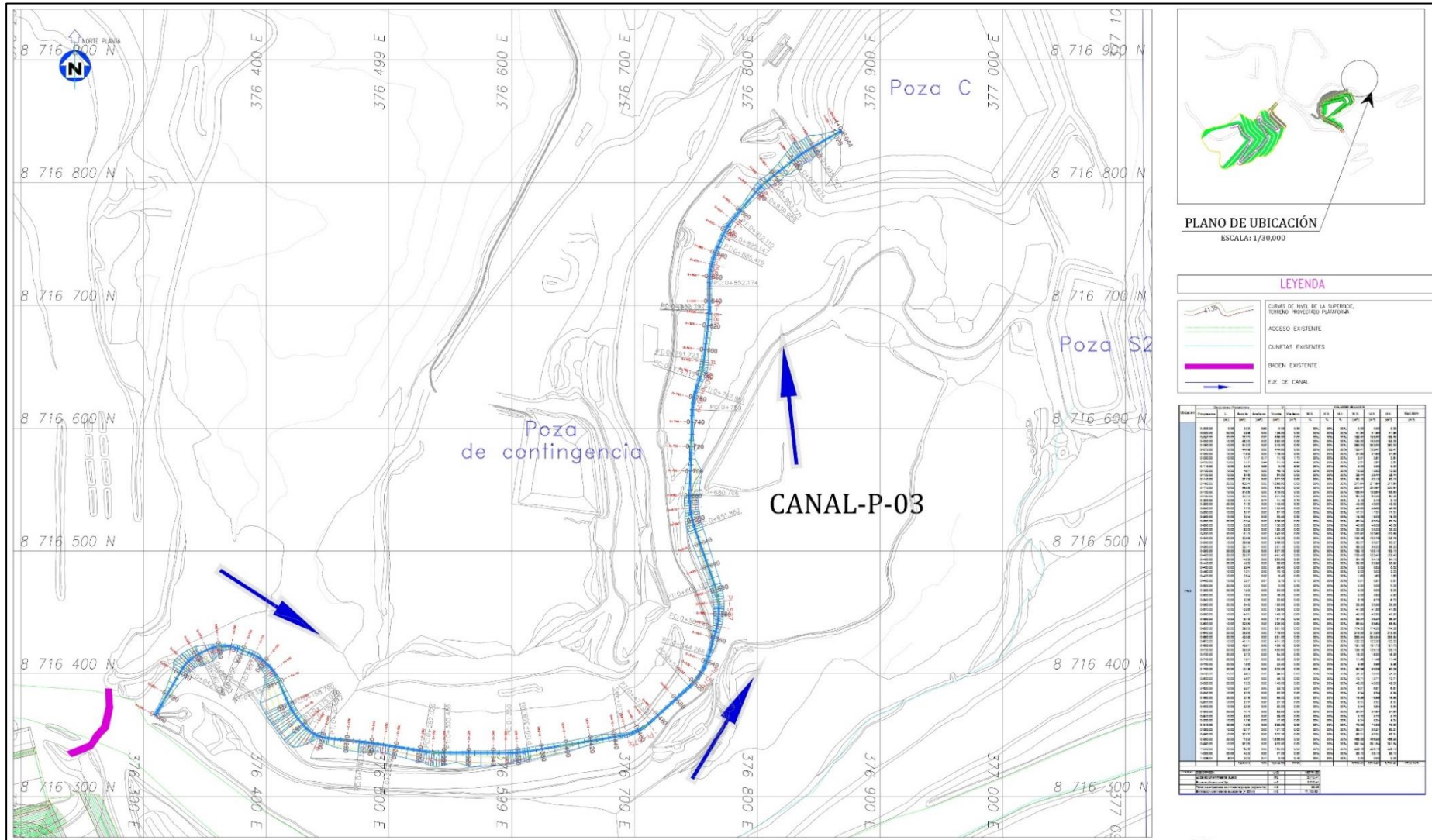
- CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE TERRESTRE PROYECTADA PLATAFORMA
- ACCESO EXISTENTE
- CUNETAS EXISTENTES
- BACEN EXISTENTE
- EJE DE CANAL

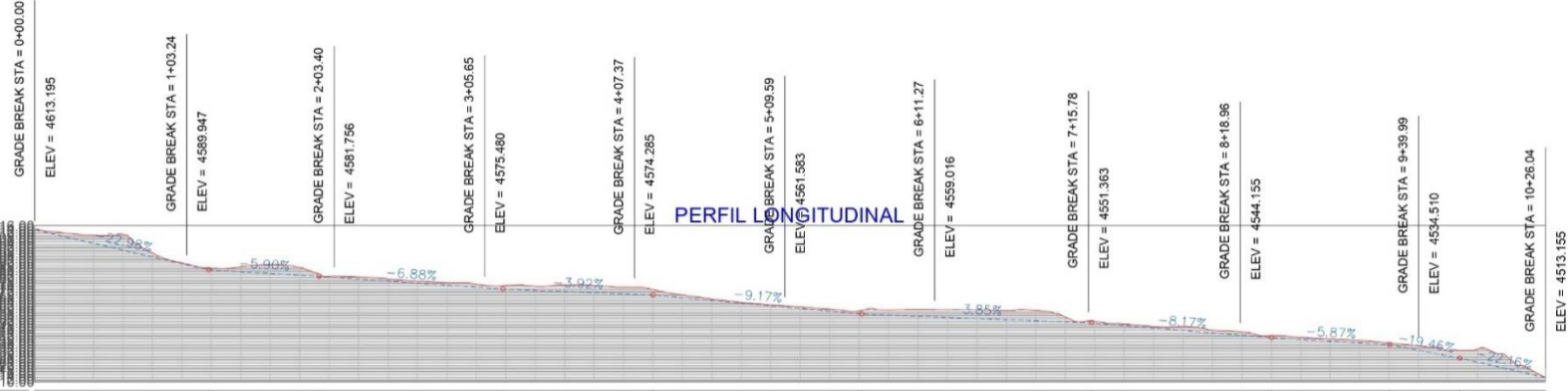
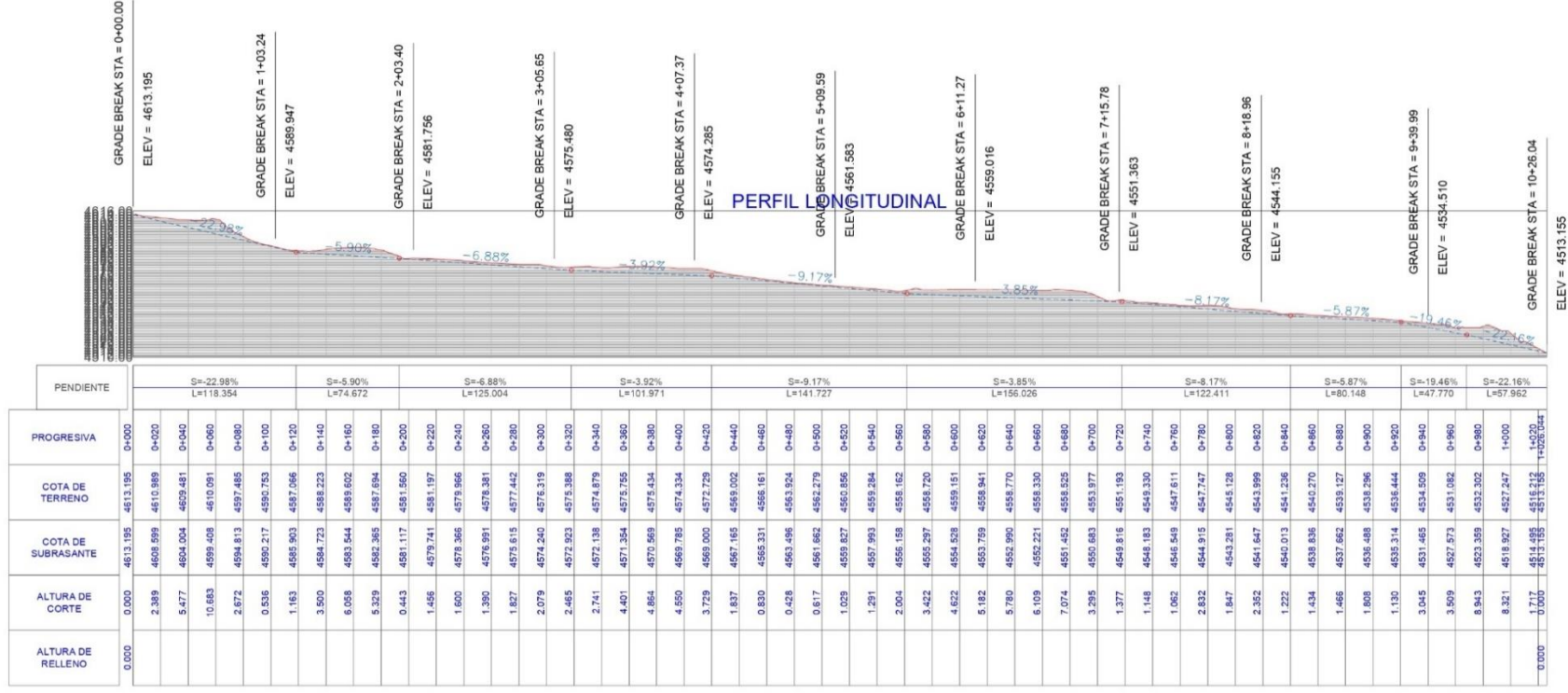
ESTACION	COORDENADAS										ELEVACIONES									
	PROYECTADA	E	N	PROYECTADA	E	N	PROYECTADA	E	N	PROYECTADA	E	N	PROYECTADA	E	N	PROYECTADA	E	N		
0+000	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300	375 800	8 716 300		

NOTAS:



Anexo 3: Vista de planta y perfil del Canal principal P – 03





GRADE BREAK STA = 0+00.00
ELEV = 4613.195

GRADE BREAK STA = 1+03.24
ELEV = 4589.947

GRADE BREAK STA = 2+03.40
ELEV = 4581.756

GRADE BREAK STA = 3+05.65
ELEV = 4576.480

GRADE BREAK STA = 4+07.37
ELEV = 4574.285

GRADE BREAK STA = 5+09.59
ELEV = 4561.583

GRADE BREAK STA = 6+11.27
ELEV = 4559.016

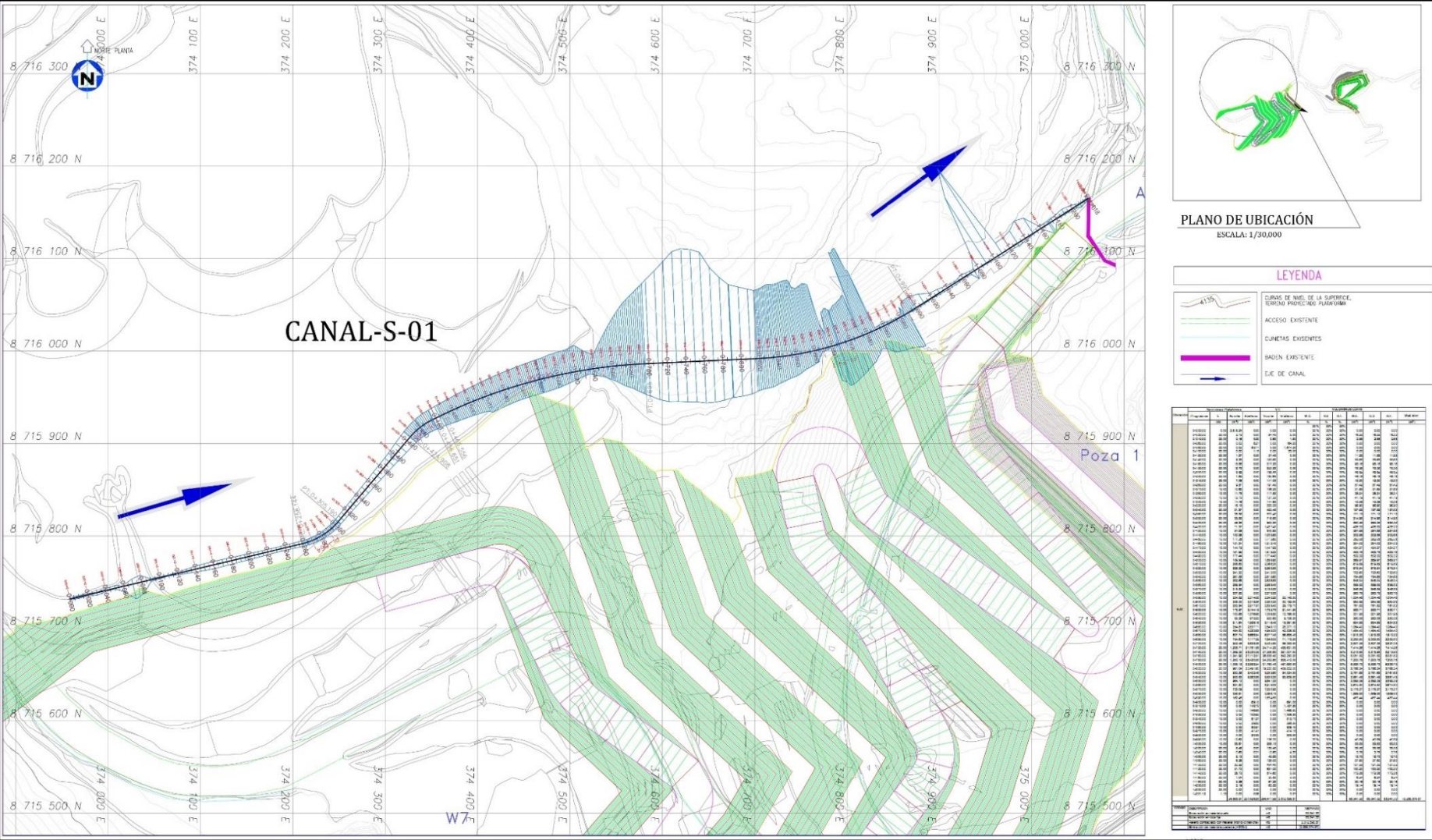
GRADE BREAK STA = 7+15.78
ELEV = 4551.363

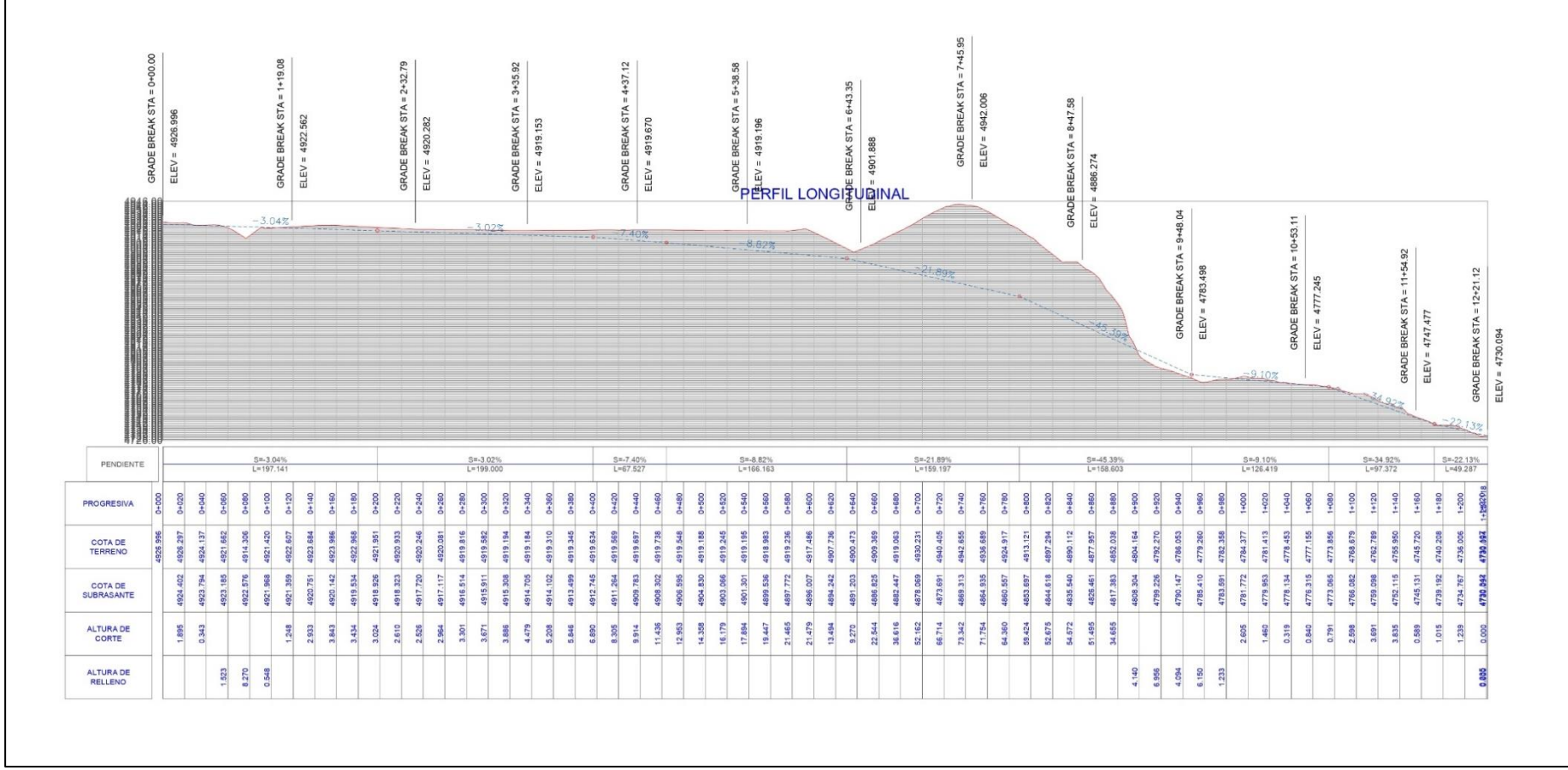
GRADE BREAK STA = 8+18.96
ELEV = 4544.155

GRADE BREAK STA = 9+39.99
ELEV = 4534.510

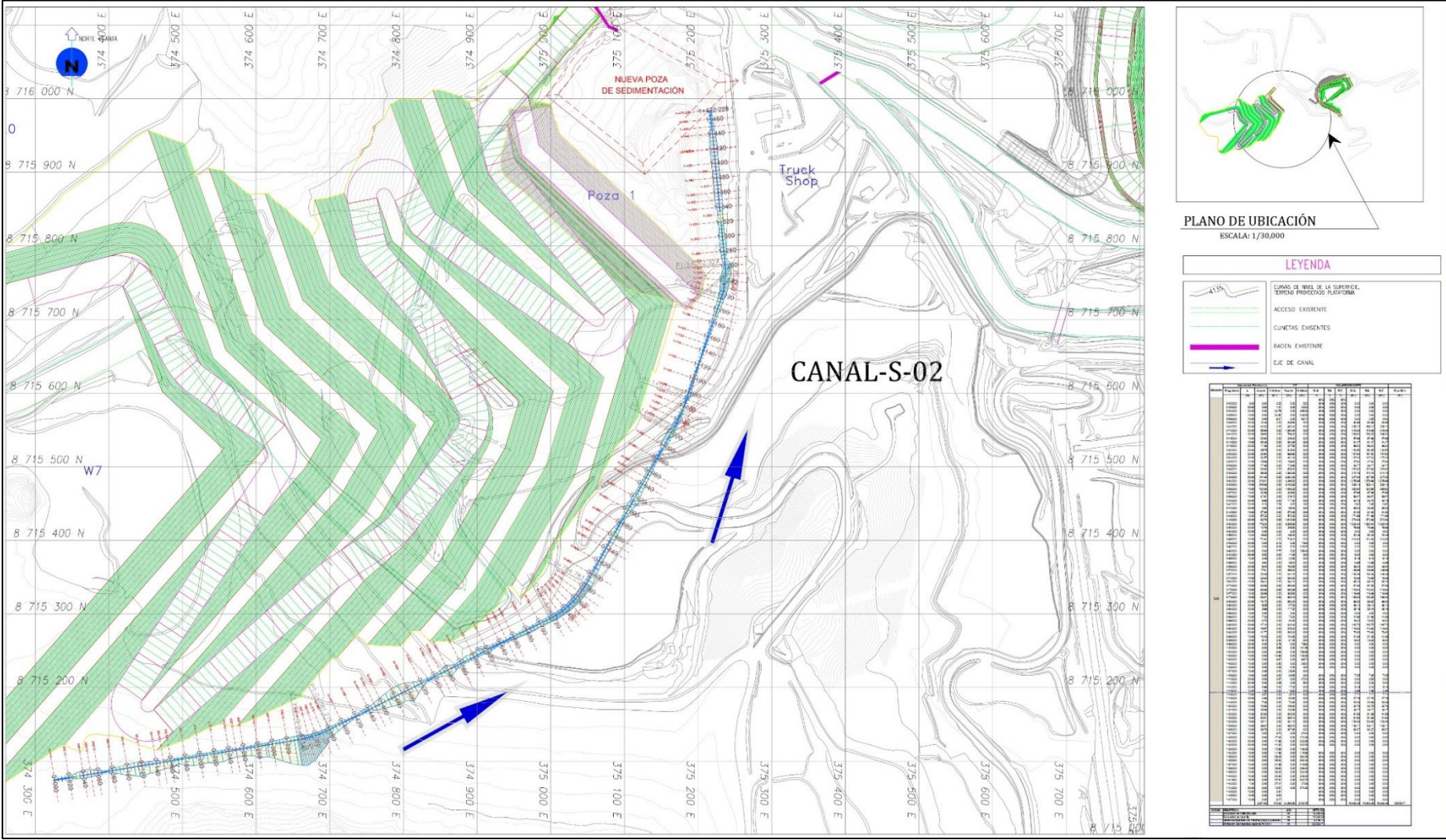
GRADE BREAK STA = 10+26.04
ELEV = 4513.155

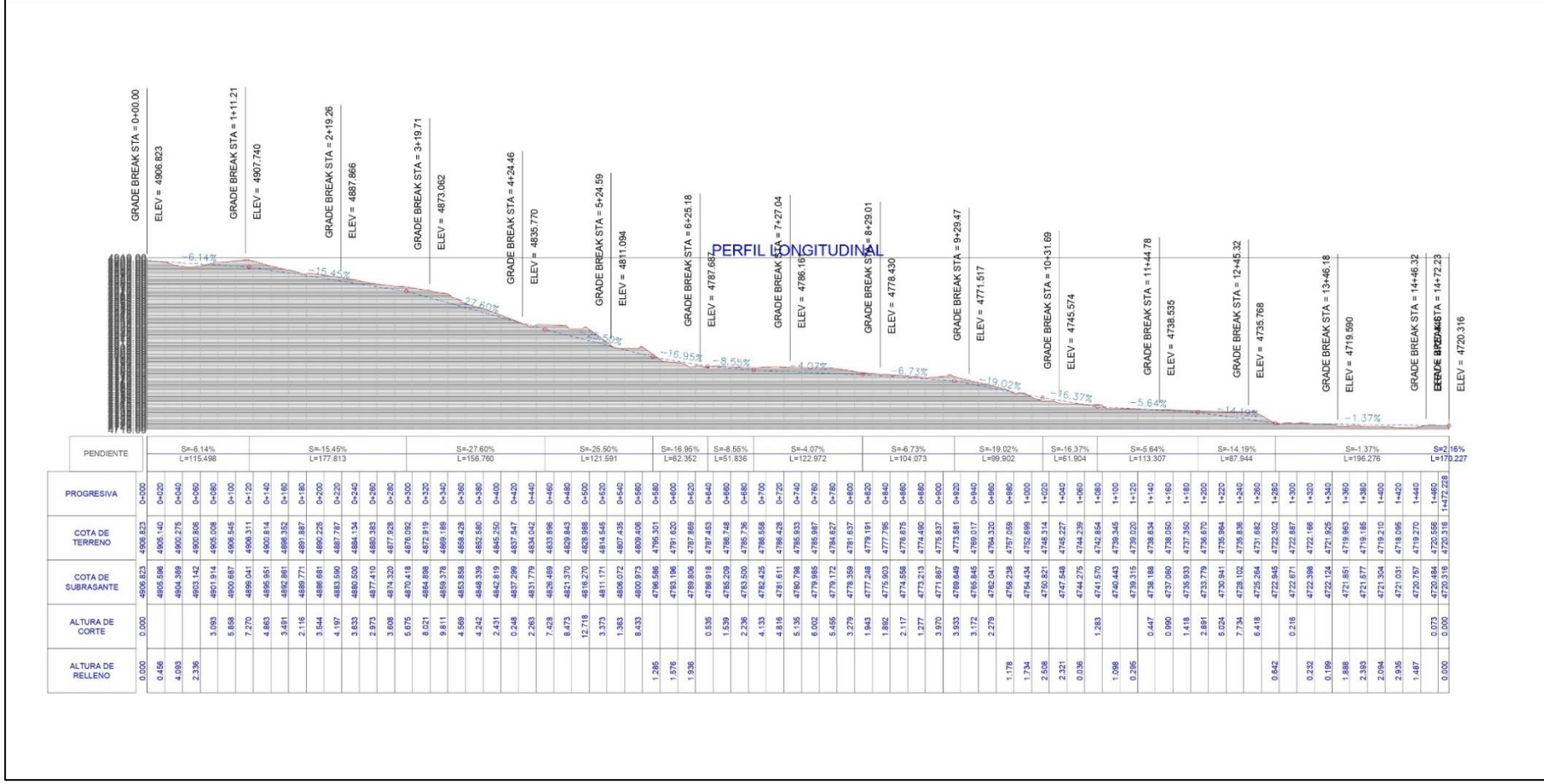
Anexo 4: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 01



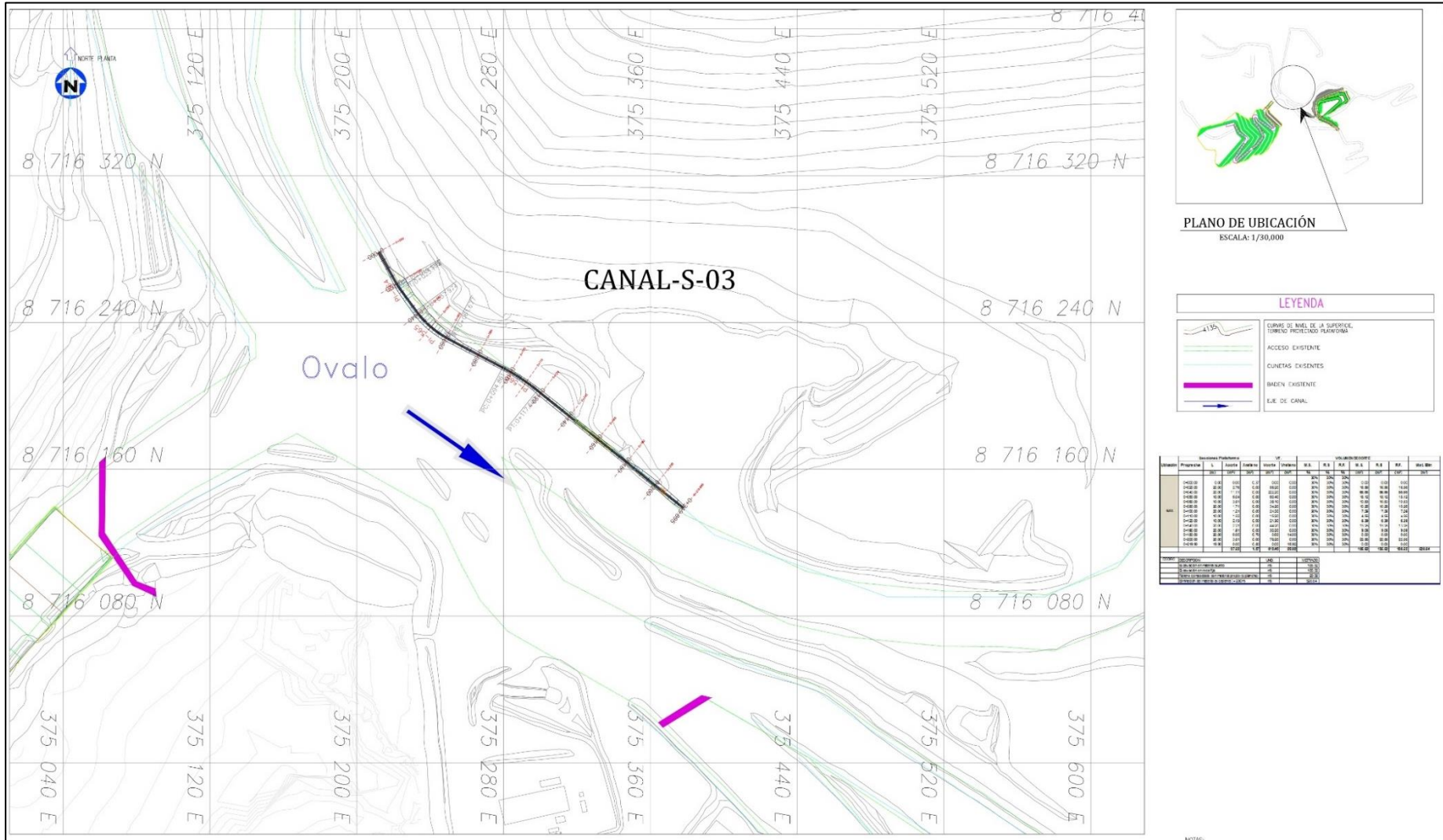


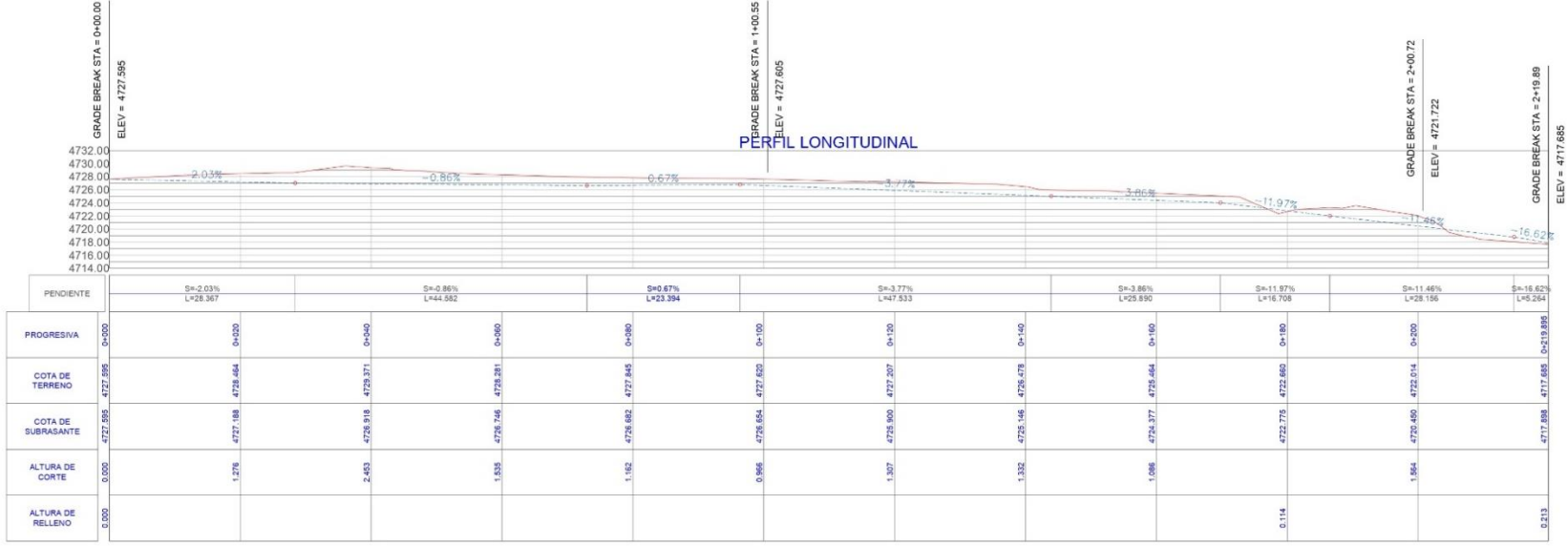
Anexo 5: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 02



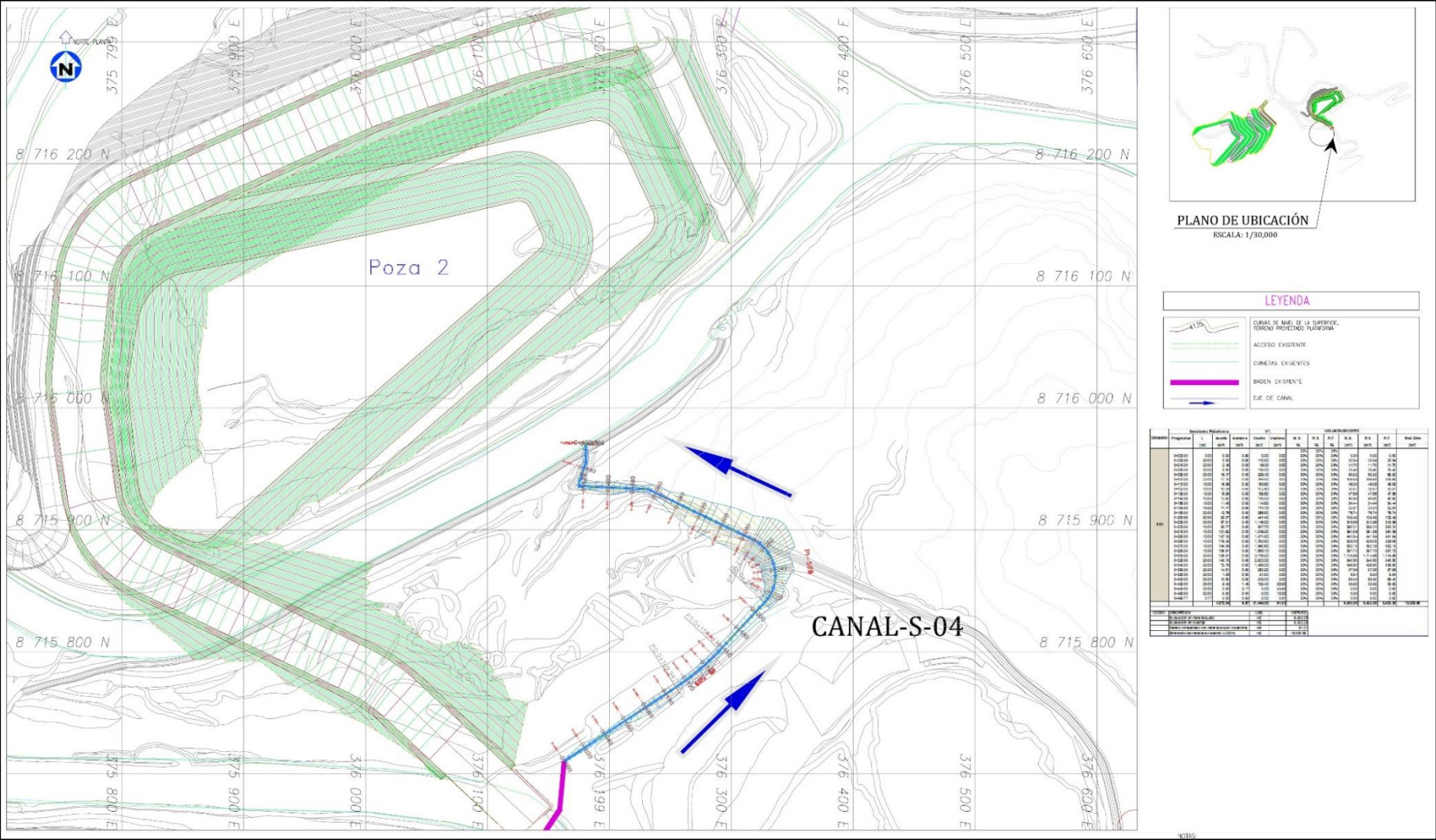


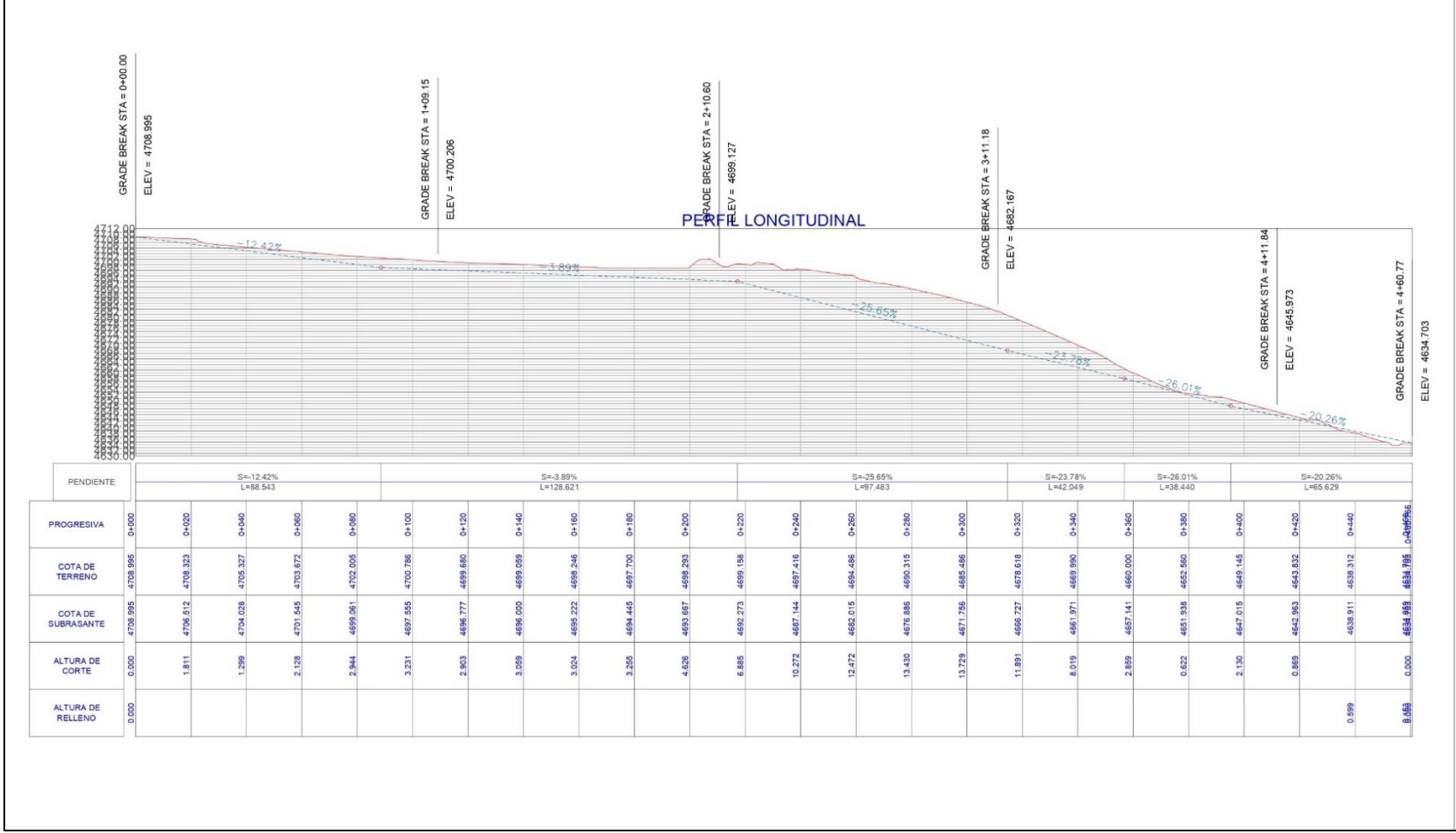
Anexo 6: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 03





Anexo 7: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 04





Anexo 8: Vista de planta y perfil del Canal secundario S – 05

