

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la
construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en
la Unidad Minera Colquijirca**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Alex Cosme CASIMIRO ROJAS

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la
construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en
la Unidad Minera Colquijirca**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

**Mg. Toribio GARCIA CONTRERAS
PRESIDENTE**

**Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO**

**Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 069-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. CASIMIRO ROJAS, Alex Cosme

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo
"ESTABILIZACION DE LOS DEPOSITOS DE RELAVES R2, R4 MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE CONTRAFUERTE Y MANEJO DE AGUA DE NO CONTACTO EN LA UNIDAD MINERA COLQUIJIRCA".

Asesor:
Mg. MONTALVO CARHUARICRA Nelson

Índice de Similitud: **18 %**

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 5 de diciembre de 2024.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mi familia por todo el apoyo que me brindaron

AGRADECIMIENTO

A todo quienes apoyaron con sus conocimientos y consejos para lograr que este proyecto se pueda realizar

RESUMEN

El presente trabajo de investigación que lleva como título:

“ESTABILIZACION DE LOS DEPOSITOS DE RELAVES R2, R4 MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE CONTRAFUERTE Y MANEJO DE AGUA DE NO CONTACTO EN LA UNIDAD MINERA COLQUIJIRCA”. como objetivo principal plantea Determinar las consideraciones que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca. su hipótesis principal fue: Las consideraciones que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto evitaran el colapso de las relaveras, en la Unidad Minera Colquijirca. Respecto a la metodología, la investigación realizada es de tipo APLICATIVO, con un nivel explicativo y analítico un diseño no experimental y La muestra está compuesta por los depósitos de relave R2 Y R4 de la Unidad Minera Colquijirca. Finalizando la investigación, se han permitido realizar las conclusiones y recomendaciones respectivas

Palabras claves: Relaves, estabilidad, geotecnia, hidráulica, contrafuerte, cunetas

ABSTRACT

This research work is titled:

“STABILIZATION OF THE R2, R4 TAILINGS TANKS THROUGH THE CONSTRUCTION OF BUTTERFORTS AND NON-CONTACT WATER MANAGEMENT IN THE COLQUIJIRCA MINING UNIT.” The main objective is to determine the considerations that must be taken into account in the stabilization of the tailings deposits R2, R4 through the construction of buttresses and non-contact water management in the Colquijirca Mining Unit. Its main hypothesis was: The considerations that must be taken into account in the stabilization of the tailings deposits R2, R4 through the construction of buttresses and non-contact water management will prevent the collapse of the tailings dams, in the Colquijirca Mining Unit. Regarding the methodology, the research carried out is of APPLICATION type, with an explanatory and analytical level, a non-experimental design and the sample is composed of the tailings deposits R2 and R4 of the Colquijirca Mining Unit. Completing the investigation, the respective conclusions and recommendations have been made.

Keywords: Tailings, stability, geotechnics, hydraulics, buttress, ditches

INTRODUCCIÓN

La investigación llevada a cabo ha evaluado la estabilidad física de los depósitos de relaves antiguos Huaraucaca, según las recomendaciones de la “Guía ambiental de cierre de minas” (MINEM, 1997); considerando un periodo de retorno de 475 años ($PGA=0,30g$), y precipitaciones de periodo de retorno de 100 años ($P=65\text{ mm}$). En este informe se ha determinado que los depósitos R2 y R4 requieren contrafuertes al pie de los depósitos para mejorar la estabilidad física de estos y la construcción de cunetas perimetrales para mejorar el sistema de captación de aguas y con ello, cumplir con la guía del MINEM (1997).

El presente informe contiene la ingeniería de detalle para la construcción de los contrafuertes al pie del depósito R4 y depósito R2; asimismo, en manejo de aguas de no contacto de las relaveras y su posterior descarga al río San Juan y la poza 2A, respectivamente. El contrafuerte al pie del depósito R4 tiene una extensión de 540 m con tres banquetas a la cota de 4182,5 m.s.n.m., 4180 m.s.n.m., y 4176,5 m.s.n.m., y anchos de banqueta mínimos de 10m y altura de banco mínimo de 3,5 m, por otro lado, el contrafuerte al pie del depósito R2 tiene una longitud de 283 m, con altura de mínima de banqueta de 5,0 m y ancho de banqueta mínimo de 8,5 m a la cota de 4174,5 m.s.n.m.

El desarrollo de la tesis está estructurado por capítulos lo cual pasamos a explicar brevemente:

El capítulo I: trata sobre la problemática de la investigación referente a la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto, para lo cual planteamos el problema, sus objetivos, proponemos la hipótesis y sus variables. Como también la Delimitación y limitaciones.

El Capítulo II: desarrolla el Marco Teórico, referente relaves y presas de relave analizando los antecedentes referentes al tema, las bases teóricas y la terminología más usada en la tesis.

Seguidamente, el Capítulo III: enfoca la Metodología empleada, sobre el método de investigación utilizado, el nivel y tipo de investigación, el diseño de la investigación, la población y muestra, las Técnicas e instrumentos de recolección de datos y el procesamiento de Datos.

En el Capítulo IV: presenta los resultados de la investigación en cuanto a la estabilización de las relaveras R4 y R2 sobre construcción de los contrafuertes al pie del depósito R4 y depósito R2; asimismo, en manejo de aguas de no contacto de las relaveras.

Por último, presentamos las conclusiones y recomendaciones

También se indica las referencias bibliográficas de todos los autores utilizados para esta investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	3
1.2.1. Delimitación espacial.....	3
1.2.2. Delimitación temporal	3
1.3. Formulación del problema	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problema Específicos.....	3
1.4. Formulación de Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Justificación del Problema	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	6
2.2. Bases teóricas científicas	9
2.2.1. Relaves	9
2.2.2. Tipos de relaveras.....	10

2.2.3.	Tipos de crecimientos de los depósitos de relaves.....	11
2.2.4.	Elementos de un depósito de relaves.....	14
2.2.5.	Estabilidad del talud	16
2.2.6.	Fallas en la estabilización de los taludes.....	17
2.2.7.	Formas de fallamiento de los taludes	18
2.2.8.	Diseño de la estabilización de taludes.....	20
2.2.9.	Análisis de la estabilización de taludes.....	21
2.3.	Definición de términos conceptuales.....	22
2.4.	Enfoque filosófico – epistémico.....	26

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de Investigación.....	28
3.2.	Nivel de investigación	28
3.3.	Métodos de investigación	28
3.4.	Diseño de investigación	28
3.5.	Procedimiento del muestreo	29
3.5.1.	Población	29
3.5.2.	Muestra	29
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
3.6.1.	Técnicas.....	29
3.6.2.	Instrumentos	29
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	29
3.8.	Orientación ética.....	30

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	31
4.1.1.	Aspectos generales de la mina.....	31

4.1.2.	Parámetros de diseño	32
4.1.3.	Descripción general del sitio	34
4.1.4.	Diseño geotécnico	43
4.1.5.	Diseño de obras hidráulicas	51
4.1.6.	Diseño civil	58
4.1.7.	Plan de construcción	75
4.1.8.	Costos y presupuestos	80
4.1.9.	Cronograma de ejecución	82
4.2.	Discusión de resultados	83
4.2.1.	Criterios de diseño	84
4.2.2.	Diseños geotécnicos	84
4.2.3.	Diseño hidráulico	86
4.2.4.	Diseño civil	86
4.2.5.	Estimación de costos y presupuestos	87
4.2.6.	Cronograma de ejecución	88

CONCLUSION

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Depósito de relaves en Compañía Minera Chungar – Volcan (4500 ktpd)...	9
Figura 2: Relaves aguas arriba	12
Figura 3: Presas de relaves de aguas abajo	13
Figura 4: Presas de relaves del tipo línea central.....	14
Figura 5: Elementos de un depósito de relaves.....	16
Figura 6: Terminología para nombrar un talud	16
Figura 7: Falla por Desplazamiento Superficial Sobre un Estrato.....	18
Figura 8: Falla Local o de Frente.....	19
Figura 9: Falla de Pie	19
Figura 10: Falla de Base o Profunda.....	20
Figura 11: Falla por traslación	20
Figura 12: Ubicación U.M. Colquijirca y los depósitos de relaves antiguos de Huaraucaca	32
Figura 13: Mapa geológico del cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k) – INGEMMET (1996)	35
Figura 14: Distribución mensual de la precipitación – Estación meteorológica Huaraucaca (Amphos 21, 2021)	41
Figura 15: a) Sección 1 y Sección 2 de análisis del depósito de relaves R4.....	44
Figura 16: b) Sección 3 de análisis del depósito de relaves R2 – UM Colquijirca.....	44
Figura 17: Sección típica 1 del depósito de relaves R4 - Condición Actual (LC, 2024)	45
Figura 18: Sección típica 2 del depósito de relaves R4-R1 - Condición Actual (LC, 2024)	46
Figura 19: Sección típica 3 actual del depósito de relaves R2 condición actual (LC, 2024)	46

Figura 20: Sección típica 1 del depósito de relaves R4 - Condición Estabilizada (LC, 2024)	47
Figura 21: Sección típica 2 del depósito de relaves R4-R1 - Condición Estabilizada (LC, 2024).....	47
Figura 22: Sección típica 3 del depósito de relaves R2 - Condición Estabilizada (LC, 2024)	48
Figura 23: Depósitos de relaves R2 y R4, de Huaraucaca	51
Figura 24: Áreas de aporte - Depósitos de relaves antiguos R2 y R4 de Huaraucaca	52
Figura 25: Precipitación media mensual del área de estudio.....	53
Figura 26: Curvas Intensidad - Duración - Periodo de retorno.....	54
Figura 27: Sistema de manejo de agua proyectado	56
Figura 28: La sección tipo de la cuneta	57
Figura 29: Sección tipo de pozas	58
Figura 30: Arreglo general de instalaciones proyectadas y existentes en los Depósitos R2 y R4 (LC,2024)	59
Figura 31: Vista en planta de los accesos de construcción y operación – depósito de relaves R2	60
Figura 32: Sección típica contrafuerte – depósito de relaves R2.....	61
Figura 33: Sección típica contrafuerte – depósito de relaves R2.....	62
Figura 34: Cunetas de derivación – depósito de relaves R2.....	63
Figura 35: Sección tipo de cunetas de derivación – depósito de relaves R2	64
Figura 36: Cuneta de descarga margen izquierda – depósito de relaves R2.....	64
Figura 37: Cunetas de descarga margen derecha – depósito de relaves R2.....	65
Figura 38: Sección tipo de cunetas de descarga – depósito de relaves R.....	65
Figura 39: Detalle de estructura de descarga operacional - margen izquierda – depósito de relaves R2.....	66

Figura 40: Vista en planta de la instrumentación geotécnica proyectada para las obras de estabilización del depósito R2 (LC, 2024)	67
Figura 41: Vista en planta del acceso de construcción – depósito de relaves R4	68
Figura 42: Sección típica contrafuerte – depósito de relaves R4	69
Figura 43: Cunetas de derivación del depósito de relaves R4	70
Figura 44: Sección tipo de cunetas de derivación – depósito de relaves R4	70
Figura 45: Descarga margen derecha – depósito de relaves R4	71
Figura 46: Descarga margen izquierda – depósito de relaves R4	71
Figura 47: Sección tipo de cunetas de descarga– depósito de relaves R4	72
Figura 48: Vista en planta de las pozas captación de escorrentías – depósito de relaves R4	72
Figura 49: Vista en planta de las pozas captación de escorrentías 1 – depósito de relaves R4	73
Figura 50: Vista en planta de las pozas captación de escorrentías 2 – depósito de relaves R4	73
Figura 51: Vista en planta de la instrumentación geotécnica proyectada para las obras de estabilización del depósito R4 (LC, 2024)	74
Figura 52: Niveles de alerta en hitos topográficos propuestos del depósito de relaveras antiguas Huaraucaca (LC, 2023)	75
Figura 53: Organigrama de la Gestión de Construcción	79
Figura 54: Distribución en porcentaje del presupuesto para los depósitos de relaves R2 y R4	82
Figura 55: a) Sección 1 y Sección 2 de análisis del depósito de relaves R4 b) Sección 3 de análisis del depósito de relaves R2 – UM Colquijirca	85
Figura 56: Manejo de aguas en los depósitos de relaves R4 y R2	86
Figura 57: Arreglo general de instalaciones proyectadas y existentes en los Depósitos R2 y R4 (LC,2024)	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Etapas en el diseño y construcción de un talud	21
Tabla 2: Precipitación media mensual (Amphos 21, 2021)	40
Tabla 3: Precipitación en año seco y húmedo para $T_r= 100$ años (Amphos 21, 2021)	41
Tabla 4: Precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (Lara Consulting, 2023).....	42
Tabla 5: Ubicación de las coordenadas del proyecto.....	42
Tabla 6: Resultados de análisis peligro sísmico probabilístico – Suelo tipo B ($V_{s30}=760$ m/s)	43
Tabla 7: Parámetros de resistencia y peso unitario de los materiales de los depósitos de relaves R1, R2 y R4 (Lara Consulting, 2023)	49
Tabla 8: Resultados del análisis de estabilidad de los depósitos de relaves R4 y R250	
Tabla 9: Áreas de aporte – Deposito de relaves antiguos.....	52
Tabla 10: Relaciones intensidad - duración - periodo de retorno	54
Tabla 11: Caudales de diseño de canales y cunetas	55
Tabla 12: Características de diseño de las cunetas en R2	57
Tabla 13: Características de diseño Pozas.....	58
Tabla 14: Niveles de alerta en hitos topográficos propuestos del depósito de relaveras antiguas Huaraucaca (LC, 2023)	68
Tabla 15: Resumen del Costo Directo – Depósitos de relaves R2 y R4.....	81
Tabla 16: Depósitos de relaves R2 y R4 - Resumen del Costo de Capital (CAPEX)	82
Tabla 17: Resultados del análisis de estabilidad de los depósitos de relaves R4 y R2	85
Tabla 18: Resumen del Costo Directo – Depósito de Relaves R2 y R4.....	88
Tabla 19: Resumen del Costo de Capital (CAPEX) – Depósito de Relaves R2 y R4	88

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del Problema

La UM Colquijirca tiene una producción de mina de 18 600 tpd (Actualización del Manual de operación 2023, SMEB), de minerales como plomo, zinc y cobre. La explotación minera es de tajo abierto y subterránea, y los relaves producidos son colocados en el depósito de relaves operativo Huachuacaja, el cual inició sus operaciones desde el año 2013 y se encuentra en funcionamiento en la actualidad. Antes de esa fecha, los relaves eran colocados en los depósitos de relaves Huaraucaca, el cual se encuentra conformado por varios depósitos de relaves: R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7, de ellos, los depósitos R3 y R5 están sumergidos dentro del depósito de relaves R7. Las relaveras R1, R2 y R4 tienen el cuerpo de presa o diques de arranque conformados por relaves gruesos provenientes del cicloneado y fueron construidas por el método de aguas arriba, a diferencia de las relaveras R6 y R7, las cuales tienen el cuerpo de presa o diques de arranque conformados por gravas arcillosas, obtenidos de las canteras Vanesa y Victoria, y fueron construidas por el método de aguas abajo. A diciembre de 2021, los depósitos de relaves R1 y R2 se encuentran en etapa de cierre progresivo, y los depósitos

de relaves R4, R6 y R7 están inoperativas. Es por este motivo que se realizó la presente investigación y poder contar con datos actualizados.

El informe “Estudio geotécnico integral – Evaluación de estabilidad física y diseño geotécnico de estabilización de la relavera Huaraucaca” ha evaluado la estabilidad física de los depósitos de relaves antiguos Huaraucaca según las recomendaciones de la “Guía ambiental de cierre de minas” (MINEM, 1997); considerando un periodo de retorno de 475 años ($PGA=0,30g$), y precipitaciones de periodo de retorno de 100 años ($P =65$ mm). En este informe se ha determinado que los depósitos R2 y R4 requieren contrafuertes al pie de los depósitos para mejorar la estabilidad física de estos y la construcción de cunetas perimetrales para mejorar el sistema de captación de aguas y con ello, cumplir con la guía del MINEM (1997).

La presente investigación se avocará en la ingeniería de detalle para la construcción de los contrafuertes al pie del depósito R4 y depósito R2; asimismo, en manejo de aguas de no contacto de las relaveras y su posterior descarga al río San Juan y la poza 2A, respectivamente. Para poder estabilizar los depósitos de relaves R2 y R4

El contrafuerte al pie del depósito R4 tendrá una extensión de 540 m con tres banquetas a la cota de 4182,5 m.s.n.m., 4180 m.s.n.m., y 4176,5 m.s.n.m., y anchos de banqueta mínimos de 10m y altura de banco mínimo de 3,5 m, por otro lado, el contrafuerte al pie del depósito R2 tendrá una longitud de 283 m, con altura de mínima de banqueta de 5,0 m y ancho de banqueta mínimo de 8,5 m a la cota de 4174,5 m.s.n.m.

Es por este motivo que se realizó la presente investigación y poder contar con datos actualizados.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La presente investigación se realizará en las instalaciones de la Unidad Minera Colquijirca se ubica a 260 km del noreste de Lima, distrito de Colquijirca, provincia y departamento de Pasco; a una altitud de 4,400 msnm.

1.2.2. Delimitación temporal

La duración de la investigación está prevista en un tiempo de 6 meses de julio a diciembre del 2023.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Qué consideraciones se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca?.

1.3.2. Problema Específicos

Problema específico a

¿Qué consideraciones en cuanto al diseño geotécnico se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca?.

Problema específico b

¿Qué consideraciones en cuanto al diseño de obras hidráulicas, se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca?

Problema específico c

¿Qué consideraciones en cuanto al diseño civil se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción

de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar las consideraciones que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca.

1.4.2. Objetivos Específicos

Objetivo específico a

Determinar las consideraciones en cuanto al diseño geotécnico que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca.

Objetivo específico b.

Determinar las consideraciones en cuanto al diseño de obras hidráulicas, que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca.

Objetivo específico c.

Determinar las consideraciones en cuanto al diseño civil que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto en la Unidad Minera Colquijirca.

1.5. Justificación del Problema

Justifica la realización de la investigación por los siguientes motivos.

Justificación Teórica

En cuanto a la justificación teórica vemos que nos permitirá obtener y proponer conocimientos sobre manejo de relaves en cuanto a reforzamiento con contrafuertes al pie de los depósitos para mejorar la estabilidad física de estos y la construcción de cunetas perimetrales para mejorar el sistema de captación de aguas.

Justificación Practica

Desde el punto de vista práctico justifica porque los resultados de la investigación se podrán aplicar en el reforzamiento de las relaveras mediante contrafuertes al pie de los depósitos y la construcción de cunetas perimetrales para mejorar el sistema de captación de aguas.

Justificación Económica

La investigación propondrá diseños tanto geotécnicos, hidráulicos, civiles para evitar el colapso o fallamiento de las relaveras R2, R4 evitando pérdidas económicas en la empresa.

Justificación Legal

Justifica legalmente ya que, al diseñar el aspecto geotécnico, hidráulico y civil de la estabilidad de las relaveras R2, R4 nos permitirá adecuarnos a las normativas de cierre de minas respecto a relaveras.

1.6. Limitaciones de la investigación

La Empresa Sociedad Minera el Brocal nos brindara todo el apoyo tanto técnico, económico en el desarrollo de la investigación y todas las facilidades que podríamos necesitar.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Tenemos los siguientes antecedentes:

Primer antecedente:

En la tesis de (LLANOS, 2019) titulado “SISTEMA DE INFORMACION DE ALERTAS DE ESTABILIDAD FISICA EN DIQUES DE RELAVE” tuvo como objetivo el de contar con un sistema de alerta de la estabilidad de los relaves en tiempo real.

Como conclusiones manifiesta que existe un manejo inadecuado de los relaves debido a esto se pudo determinar los parámetros para monitorear en tiempo real la estabilidad de la relavera y así poder evitar daños por colapso.

Mediante este sistema será posible controlar todos los depósitos de relave, contar con un inventario de relaves activos, así como también podremos ver el comportamiento de la estabilidad física, la humedad, inclinación de la presa.

El control de la estabilidad de las relaveras en tiempo real es una propuesta innovadora para detectar posibles fallas y evitar colapsos, derrumbes, fallamientos de los relaves tanto activos, inactivos, depósitos abandonados.

Segundo antecedente

En la tesis de (TOMATEO, 2023) titulado “Evaluación de los criterios de diseño para garantizar la estabilidad física para el cierre del depósito de relave Huaybillo de la Unidad Minera el Cofre”. tiene como objetivo evaluar el diseño de los depósitos de relave y que garantice su estabilidad física en la mina el Cofre. la evaluación de los parámetros de diseño de la relavera Huaybillo en cuanto a su estructura física, proponiendo medidas que garanticen su estabilidad y evitar que colapse.

También se evaluaron las características geotécnicas en cuanto a su composición, permeabilidad, resistencia y comportamiento mecánico.

Se evaluaron los criterios geotécnicos, hidrológicos, estructurales y de gestión de la estabilidad física de la relavera, concluyendo que la relavera Huaybillo presenta una adecuada estabilidad física dentro de los parámetros de seguridad que se tendrá en su cierre.

Como conclusión se tiene

Tercer antecedente

En la tesis de (PACHECO, 2021) titulado “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DIQUE EN EL DEPOSITO DE RELAVE DE LA MINERA SANSIL - PRIMERA ETAPA, AÑO 2018” su objetivo era el de contar con un análisis de estabilidad de la presa de la relavera en la mina Sensil.

Las conclusiones fueron:

Para la investigación se utilizaron métodos como Jambu, Bishop simplificado, método de Spencer, y GLE/Morgenstern en la evaluación de las relaveras. En cuanto al factor de seguridad son mayores a lo establecido por CDA (manejo de riesgo revisión de seguridad de presas).

Obteniendo un factor de seguridad mayor a uno para la cota 4810 msnm para las secciones A-A, B-B, C-C cuando se calcula con cada uno de los métodos mencionados. En cuanto al flujo de descarga (balance de aguas) se

tiene estimaciones sin balance de agua de un tiempo de operación de 7 años 8 meses para volumen lleno y con balance de agua se obtiene una vida o tiempo de operación de 3 años, con 7 meses con un volumen de 209.168 m³ lo que se considera como vida optima de operación.

Cuarto antecedente

En la tesis de (QUISPE, 2021) titulado “ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVE 1-2, EN UNA UNIDAD MINERA, HUANCVELICA, 2021” su objetivo era diseñar la estabilidad del depósito de la relavera 1, 2.

Como conclusión indica que la estabilidad física comprende el movimiento de tierra de material suelto y de relleno con un talud de 2H: 1V, una pendiente de 26.5°, con un área de 3.19 ha, un volumen de 49,222 m³, tendrá una plataforma, 4 banquetas de 3 metros cada uno y un muro de gaviones.

El factor de seguridad para la relavera N1 es inestable en condición seudo estático y para la relavera N2 indica un talud estable en condición estática

Quinto antecedente

La tesis de (SUAREZ, 2019) titulado “Diseño de dique modelando la estabilidad del talud con tratamiento de relave en la Unidad Minera Mahr Túnel N° 6 Volcan S.A.A., Yauli - La Oroya, 2018” como objetivo presenta un diseño del dique mediante la evaluación de la estabilidad del talud de la relavera en la Unidad Minera Mahr Túnel.

Como conclusiones nos indica que:

Las principales características de la relavera para su diseño son:

- La producción de relave es de 2448 Tpdia.
- El material esta compuesto por arena, arcilla limosa (arena y arcilla mal graduado)
- El recrecimiento hace posible incrementar la vida útil del depósito N° 6 con una corona final de 4035 msnm.

- La humedad optima en promedio es de 14 % lo cual garantiza la estabilidad.
- Las compactaciones una operación muy importante en la estabilidad física para lo cual se usó relaves gruesos siendo un material óptimo para ser colocado y compactado en la construcción del dique.
- El factor de seguridad supera al factor de seguridad establecido llegando a factor de seguridad estático 1.5 y factor de seguridad pseudo estático de 1.0
- El dique de la relavera no tendrá problemas mayores con la ocurrencia de eventos sísmicos significativos
- La estructura de la relavera está conformada por dique de arranque, dique de construcción aguas abajo, canales de coronación

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Relaves

Concepto

Los Relaves “son subproductos de la minería generados durante los procesos de separación del material de valor de su roca o suelo de origen. También son referidos comúnmente como jales o colas” (Asociacion de Minería de Canada, 2019)

Figura 1:

Depósito de relaves en Compañía Minera Chungar – Volcan (4500 ktpd)



Por otra parte (PACHECO, 2021) define a los relaves como un “conjunto de desechos producto del proceso metalúrgico para la obtención de minerales comerciales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua, minerales de ganga y productos químicos usados en el proceso metalúrgico, aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como, cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico”

También podemos mencionar esta definición “como el deshecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo” (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM), 2000)

2.2.2. Tipos de relaveras

Para el depósito de los relaves en minería podemos encontrar una variedad de depósitos pudiendo observar los siguientes:

- Tranque de relave

Es la relavera o depósito en el cual la pared es construida por la fracción más gruesa del relave, la cual es compactada, proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos más finos, por medio de impulsión por flujo de agua) (Ministerio de Energía y Minas (MEM), 1997)

- Embalse de relave

Es aquel depósito donde el muro de contención es construido de material de préstamo (tierra y rocas circundantes) y es impermeabilizado en el coronamiento y en su inclinación interna (Ministerio de Energía y Minas (MEM), 1997)

- Relave espesado

Son los depósitos en los que la superficie se somete previamente a un proceso de sedimentación, en equipo denominado espesante, que favorece la sedimentación de sólidos (similar a la limpieza del agua del río para la producción de agua potable), con el objetivo de remover parte importante

contenido de agua, que puede ser reutilizado para reducir el consumo de agua de fuentes de agua limpia (Ministerio de Energía y Minas (MEM), 1997)

- **Relave filtrado**

Es similar al engrosado o espesado. Es un depósito en el que el material contiene aún menos agua, gracias al proceso de filtración, para garantizar una humedad inferior al 20%. Esta filtración también es similar a la usada en el agua potable (Ministerio de Energía y Minas (MEM), 1997)

- **Otros tipos**

Existen otros tipos de depósitos de relaves, como por ejemplo los depósitos en minas subterráneas, en rajos abandonados, entre otros.

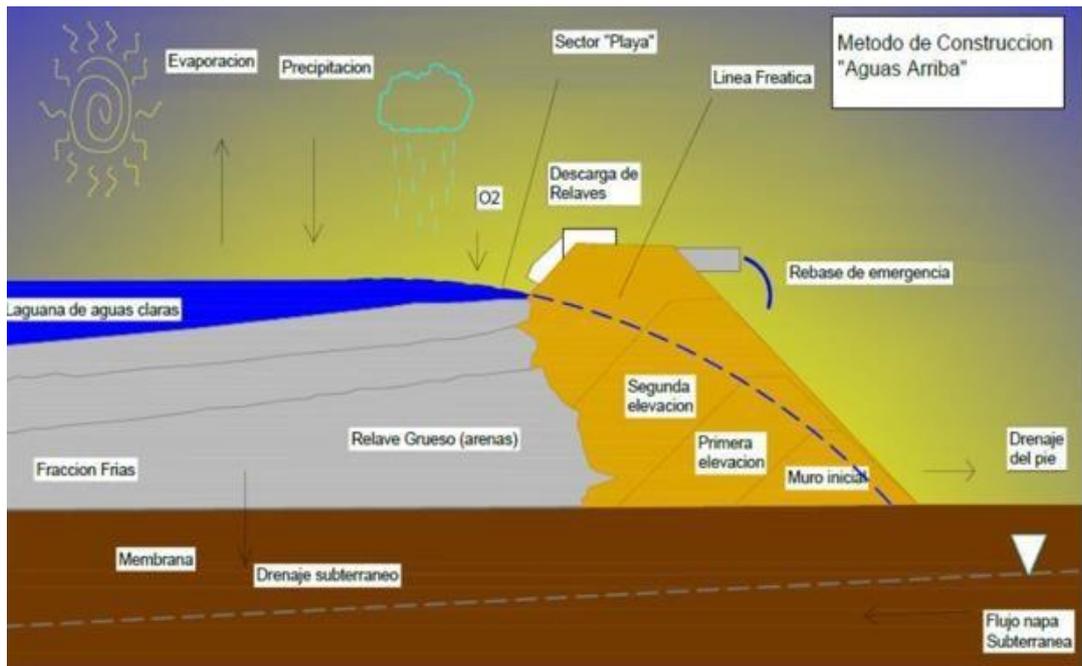
2.2.3. Tipos de crecimientos de los depósitos de relaves

Tenemos tres formas de crecimiento de los depósitos de relave, los cuales se inicia con un pequeño muro, que luego se eleva a medida que hay más relave que depositar

Presas de relaves de aguas arriba:

Este tipo de relaveras se construye sobre material de relave sin consolidación, es decir, se levanta un depósito inicial o de partida y posteriormente se eleva periódicamente la fracción gruesa del relave hacia el interior del depósito (ver figura 5). Esta forma de crecimiento no permite la construcción de drenaje en la cimentación del dique debido a las lamas, lo que lleva a que el nivel freático en el interior del dique sea muy elevado, disminuyendo así su resistencia efectiva. Además, la totalidad del dique resistente, va quedando cimentado sobre estratos de lamas saturadas y sin compactar, por lo tanto, presentan alto potencial de licuación en caso de ocurrencia de un sismo, lo que provocaría un colapso total del dique y el vaciamiento del embalse (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO, 2018)

Figura 2:
Relaves aguas arriba

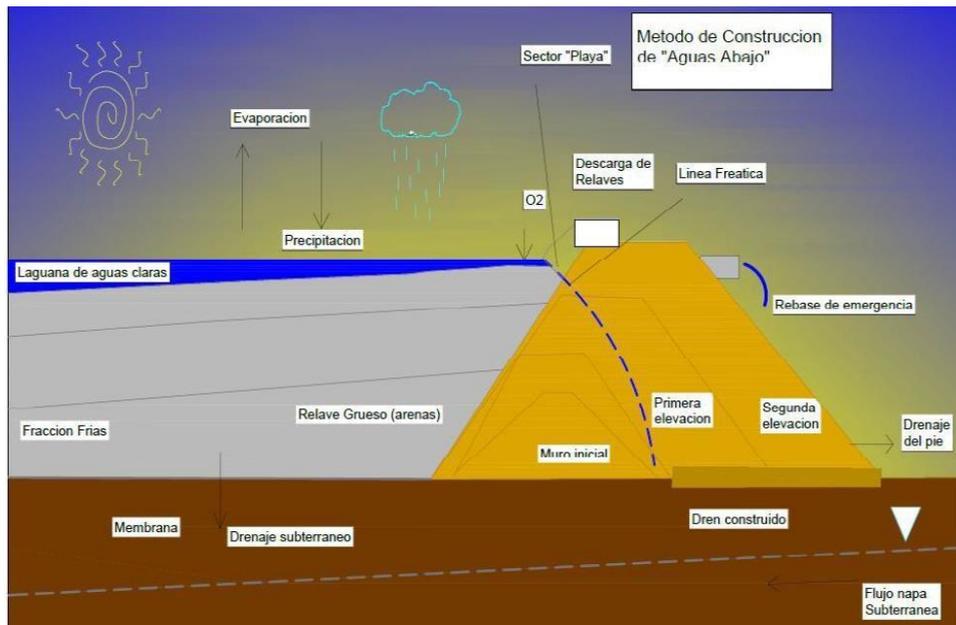


Presas de relaves de aguas abajo:

En el método de crecimiento del dique hacia aguas abajo, la presa se levanta en dirección opuesta al depósito, por lo tanto, no está apoyada sobre relaves depositados previamente.

El relleno de la presa, que puede consistir de material de varios tipos, no tiene como basamento relaves depositados hidráulicamente, y las propiedades de estos materiales de relleno pueden ser especificados y controlados para asegurar que sus características sean las adecuadas. Al final, el método «aguas abajo» alcanza una configuración muy similar a la de una presa convencional de retención de agua, con similares características estructurales en la mayor parte (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO, 2018)

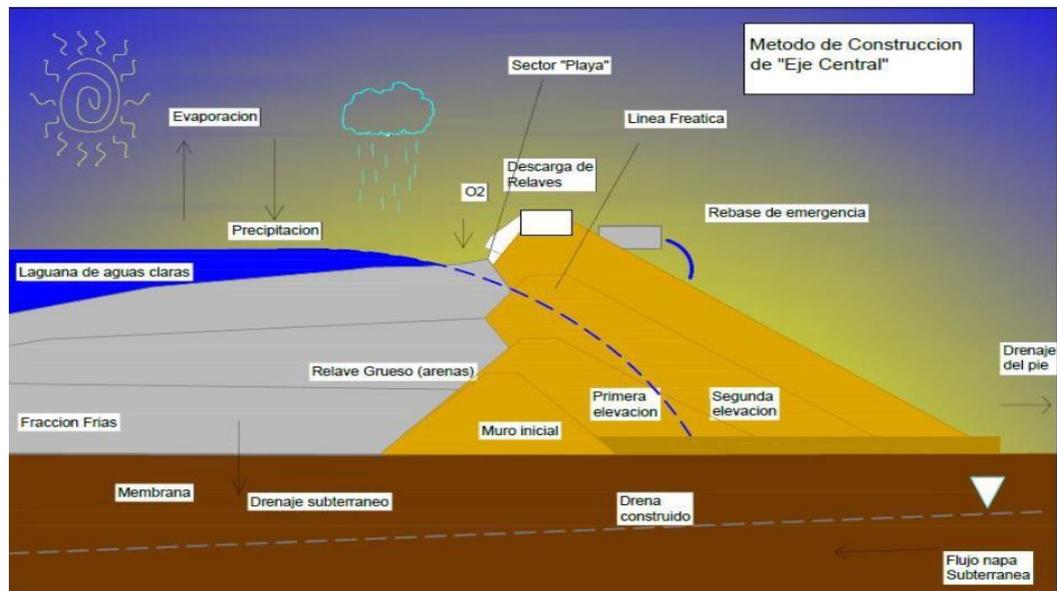
Figura 3:
Presas de relaves de aguas abajo



Presas de relaves del tipo línea central

Este método consiste en ir elevando la cota del dique de arena manteniendo la berma de coronamiento en un mismo eje vertical (ver figura 7). En este método, la ladera de aguas arriba del dique, va quedando fundada sobre los estratos de lamas saturadas y sin compactar, las que son licuables en caso de un sismo; por esta razón no se recomienda su construcción en zonas de alta sismicidad (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO, 2018)

Figura 4:
Presas de relaves del tipo línea central



2.2.4. Elementos de un depósito de relaves

Entre los elementos o partes de una presa o depósito de relaves podemos distinguir lo siguiente:

A. Muro:

Obra de ingeniería que permite contener los residuos sólidos que en ella se descargan, es decir, delimita la cubeta (TASAYCO, 2020)

B. Vaso:

Corresponde al volumen físico disponible para el depósito de relaves (lamas), junto con gran parte del agua de los relaves. En la cubeta, el agua se localiza en la Laguna de Aguas Claras (TASAYCO, 2020)

C. Laguna de aguas claras:

La deposición de relaves (lamas) en el vaso, que llega en una mezcla del sólido con agua para su transporte, en tanto los sólidos sedimentan a las capas inferiores, el agua forma esta laguna de aguas claras debido a la sedimentación de las partículas finas (TASAYCO, 2020)

D. Sistema de drenaje:

Sistema utilizado para retirar al grado adecuado el agua del interior del muro, con el objetivo de deprimir al máximo el nivel freático en el interior del cuerpo del muro (TASAYCO, 2020) **E. Borde libre:**

Es la diferencia menor, en cota, entre la línea de coronamiento del muro de contención y la superficie inmediatamente vecina de la fracción lamosa o de la superficie del agua, que se produce en los tanques y embalses de relaves (TASAYCO, 2020) **F. Cresta o talud:**

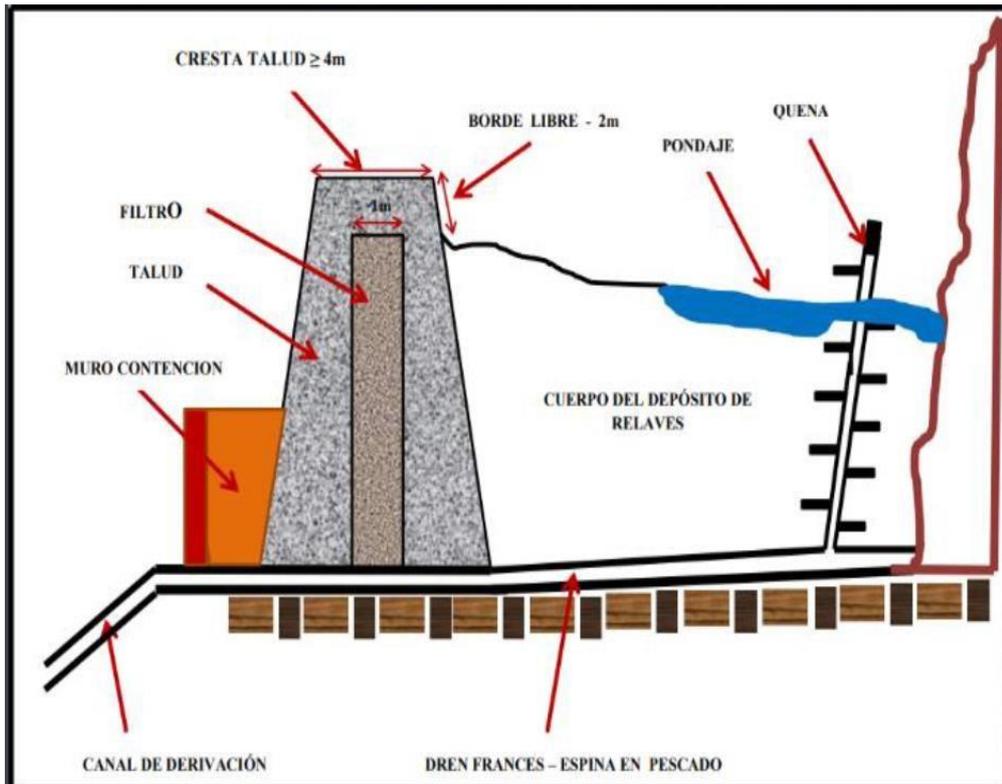
Es la parte superior del prisma resistente o muro de contención, muy cercano a la horizontal (TASAYCO, 2020) **G. Canal de derivación:**

Canal de desvío de las aguas de la cuenca que captan y desvían las escorrentías superficiales, impidiendo el ingreso al vaso del depósito de relaves (TASAYCO, 2020) **H. Playa activa:**

Zona donde se descargan los relaves en el vaso, se le denomina playa porque usualmente esta seca en la superficie y se asemeja a una playa de arenas finas. Es la parte del depósito de relaves o lamas situadas en las cercanías de la línea de vaciado (TASAYCO, 2020) **I. Laguna de aguas claras:**

Corresponde a la laguna de clarificación que se forma en el vaso debido a la sedimentación o decantación de las partículas sólidas (TASAYCO, 2020)

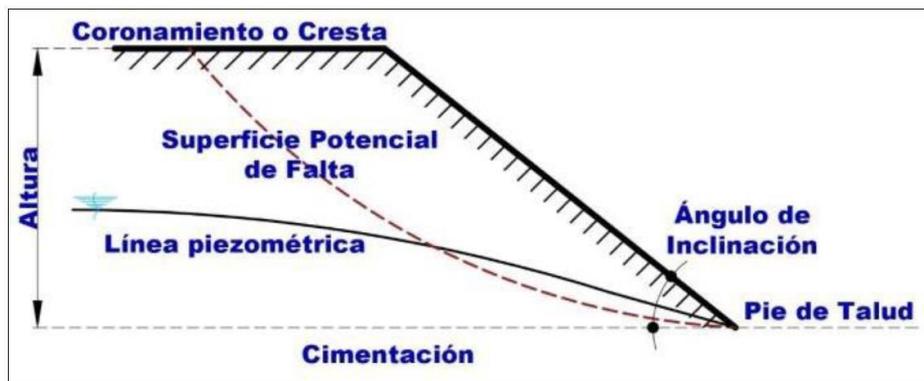
Figura 5:
Elementos de un depósito de relaves



2.2.5. Estabilidad del talud

se denomina a cualquier superficie inclinada que limita un macizo de suelo, de rocas o de suelo y roca. Estos pueden ser naturales, como las laderas o artificiales, como los taludes de cortes y terraplenes

Figura 6:
Terminología para nombrar un talud



Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original

ha sido modificado con intervenciones artificiales relevantes con respecto a la estabilidad (PACHECO, 2021)

En efecto, los taludes pueden ser naturales, este tipo se llama pendiente, mientras que cuando se interviene se llaman cortes o pendientes artificiales, dependiendo de su naturaleza, cuando la excavación se realiza en una formación natural de la tierra, mientras que las pendientes artificiales tienen lados de pendiente inclinados. En este último caso, es necesario utilizarlos como parte de un trabajo. Generalmente se lleva a cabo en trabajos de construcción como carreteras, estanques de tierra, canales, etc (PACHECO, 2021)

2.2.6. Fallas en la estabilización de los taludes

Los taludes pueden fallar por diversos factores que pueden presentarse a lo largo del tiempo, mencionamos algunos de ellos:

Sobrecargas:

Ocurren por exceso de peso relacionado con la construcción de algún edificio o por la carga de elementos naturales como exceso de lluvia o nieve (PACHECO, 2021)

Excavaciones:

Cuando se excava la base del talud y su soporte, es muy probable que suceda un desgajamiento del suelo ya que pierde resistencia a las cargas que se le apliquen (PACHECO, 2021)

Erosión:

Se generan debido al paso del tiempo y fenómenos naturales como lluvias torrenciales disminuyendo la resistencia del suelo provocando deslaves y desgajamientos.

Para evitar este tipo de fallas e incidentes es importante conocer y reforzar la estabilidad del talud dependiendo de las propiedades mecánicas del suelo donde se encuentra y determinar qué tipo de refuerzo se va a utilizar, si

serán protecciones superficiales como inyección de shotcrete y/o soluciones más específicas como algún sistema de anclaje o como en el caso de nuestro tema, la utilización de algún dique (PACHECO, 2021)

2.2.7. Formas de fallamiento de los taludes

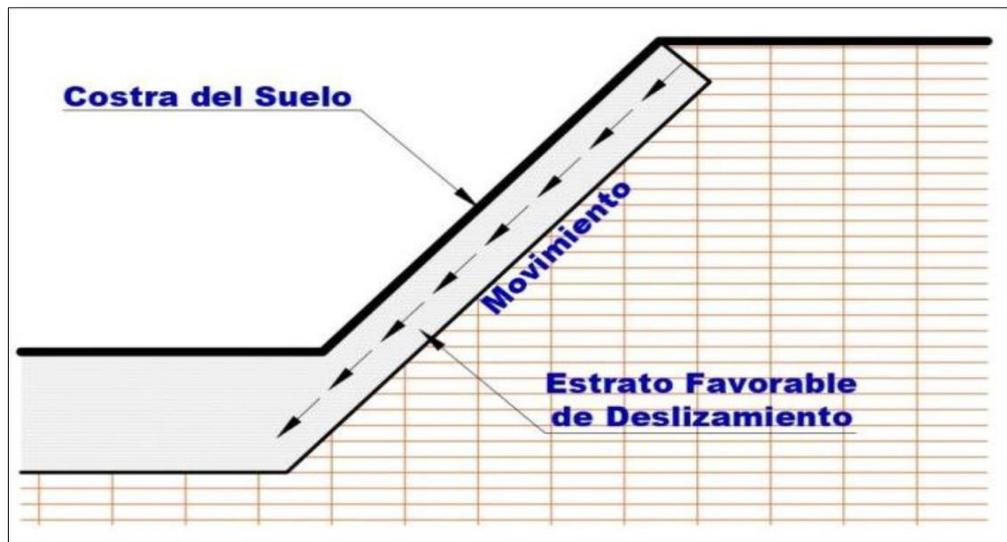
Un talud puede fallar de varias formas, como vemos a continuación

Fallas por deslizamiento superficial

Rodríguez R (2010) define a esta falla como "un proceso más o menos continuo y por lo general lento de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales" (PACHECO, 2021)

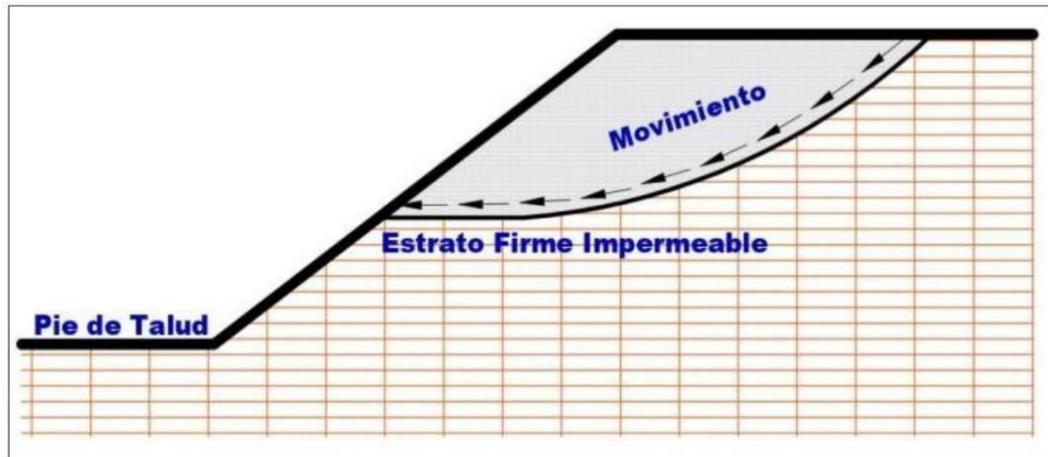
Figura 7:

Falla por Desplazamiento Superficial Sobre un Estrato.



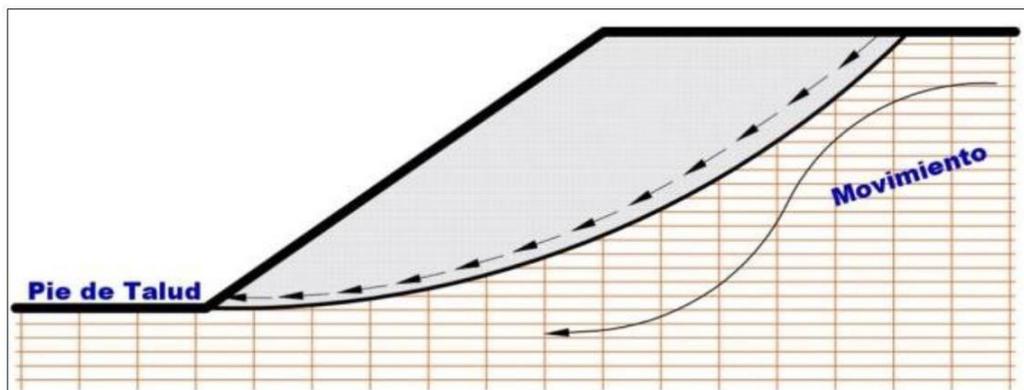
Falla local o de frente la falla local se presenta cuando el plano crítico de deslizamiento intercepta la superficie del talud por encima del pie. Esto se produce generalmente por la presencia de algún estrato firme impermeable intermedio, sobre el cual desliza solo una parte de la masa del talud (PACHECO, 2021)

Figura 8:
Falla Local o de Frente



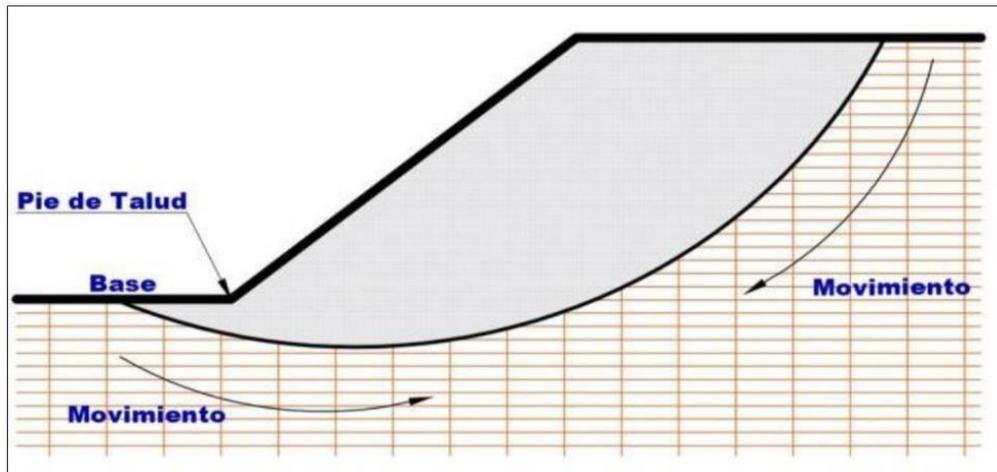
Falla de pie se presenta cuando la superficie de falla tiene cercanía del pie del talud, se produce cuando la pendiente es muy pronunciada y para suelos con un ángulo de fricción considerable, corresponde a una falla catastrófica del talud” (PACHECO, 2021)

Figura 9:
Falla de Pie



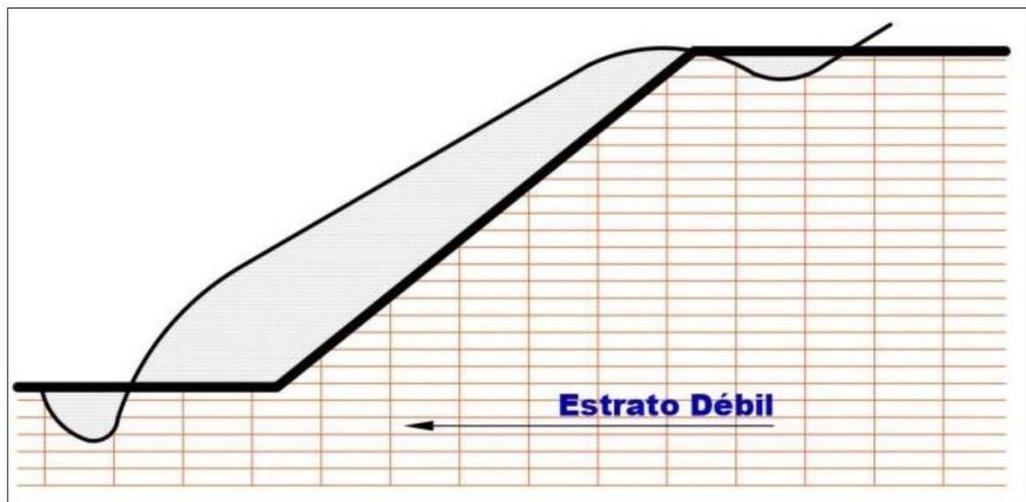
Falla de base o profundidad ocurre cuando la superficie de falla corta al plano horizontal que forma la base del talud, y corresponde a una falla general de toda la geometría del talud, esta falla profunda ocurre en arcillas blandas. La parte superior del suelo desliza y cae, y la superficie cercana al pie se levanta (PACHECO, 2021)

Figura 10:
Falla de Base o Profunda



Falla por traslación se presenta como un movimiento importante del cuerpo del talud, sobre una superficie relativamente plana asociada a estratos poco resistente localizada en las cercanías del pie del talud (PACHECO, 2021)

Figura 11:
Falla por traslación



2.2.8. Diseño de la estabilización de taludes

El diseño de los taludes se realizará en base a los conocimientos y a la naturaleza de los materiales y agentes perturbadores, siendo éstos de naturaleza geológica, hidrológica y geotécnica del lugar donde se construirá el talud, el diseño se realizará en base a los siguientes objetivos:

- Conocer las condiciones de estabilidad del talud y margen de estabilidad

- Posibles fallas a producirse, como ocurre la falla
- Sensibilización del talud a diferentes mecanismos como efecto de las lluvias, sismos, detonaciones etc.
- Diseño de las pendientes de los taludes en función de la seguridad, confiabilidad, costos

Un diseño del talud puede guiarse por los siguientes pasos mencionados en la siguiente tabla:

Tabla 1:
Etapas en el diseño y construcción de un talud

Diseño preliminar: Abarca un estimativo de los problemas potenciales de diseño, basado en:	Requisitos del proyecto, técnicos y económicos. Selección del sitio. Evaluación preliminar de las condiciones del terreno.
Investigación de campo, consiste en:	Exploración. Ensayos en el sitio y en el laboratorio. Mediciones (instrumentación).
Idealización (o modelado) de:	Condiciones naturales, incluyendo el estado de esfuerzos. Propiedades de los materiales naturales (parámetros geotécnicos). Mecanismos potenciales de falla.
Análisis, el cual producirá:	Resultados numéricos. Conclusiones y recomendaciones para el diseño.
Diseño: basado tanto en los resultados del análisis como en el criterio de ingeniería (buen juicio y experiencia práctica) de generalistas y especialistas. Ente sus limitaciones juega papel importante la economía del proyecto. Comprende:	Criterios de diseño. Concepto del diseño. Dimensiones de la estructura. Detalles de diseño. Especificaciones de construcción.
Contrato:	Cantidades de obra. Presupuesto. Especificaciones generales y particulares. Determinación del precio y el plazo. Sistema de contratación. Selección del contratista.
Construcción:	Ejecución del proyecto. Inspección y control de la obra (Interventoría). Ajustes al diseño. Instrumentación. Pruebas de funcionamiento.
Control y Mantenimiento de la estructura terminada:	Observaciones y mediciones de la instrumentación. Interpretación de registros de las anteriores. Mantenimiento rutinario. Obras complementarias.

2.2.9. Análisis de la estabilización de taludes

Podemos considerar los siguientes factores.

La geología

Como resultado de la investigación del terreno, debemos determinar la profundidad de la construcción, la presencia de formaciones superficiales, como

capas de cenizas volcánicas, depósitos de polvo de carbón, rellenos y masas rocosas, En los análisis de estabilidad, la información geológica es muy importante (Asociación de Minería de Canadá, 2019)

Resistencia al corte de los materiales:

En el análisis de la resistencia al corte de los materiales que conforman el talud se debe expresar en términos de los parámetros de esfuerzos efectivos; y deben obtenerse ensayando muestras representativas de los materiales de la matriz y de los que se encuentran en las discontinuidades

Agua Subterránea:

Las condiciones de las aguas subterráneas deben evaluarse durante y después de la investigación del terreno mediante la instalación y lectura de piezómetros y mediante la observación de las tasas de infiltración. Los niveles obtenidos durante el período de observación probablemente no representan los niveles máximos que deben ocurrir durante la lluvia de diseño; por lo tanto, se deben prever los niveles que el agua puede alcanzar como resultado de la lluvia y otros factores (fugas de red).

Cargas externas:

Todas las cargas que pueden influir sobre la estabilidad del talud se deben incluir en el análisis, teniendo en cuenta los factores de seguridad que se les hallan asignado durante su evaluación. Estas cargas pueden provenir del tráfico, de las fundaciones de edificaciones, de muros de contención, de botaderos de residuos de construcción, de explosiones, de hincado de pilotes, y finalmente, de los sismos que puedan afectar la región.

2.3. Definición de términos conceptuales

Altura máxima en tranques y embalses:

Altura medida desde el nivel de terreno natural hasta el coronamiento del muro resistente o prisma resistente.

Análisis estático:

Evaluar el efecto del peso propio (carga estática) de la presa de relaves y de la acción del agua en su estabilidad. Por lo general se evalúa la configuración final de la presa, con los escenarios de la acción del agua en el depósito.

Ángulo de deslizamiento:

La pendiente, medida desde la horizontal, en la cual materiales sólidos sueltos o fragmentados comenzarán a deslizarse; es un ángulo un poco mayor que el ángulo de reposo.

Botadero: lugares destinados a la depositación de desmontes o desechos sólidos **Depósito de relaves:**

Conjunto de equipos, componentes y estructuras diseñadas en base a ingeniería para el manejo de sólidos de relaves y las aguas asociadas a estos depósitos lo que incluye el agua intersticial, lagunas artificiales, aguas superficiales y escorrentía además de otros residuos mineros tratados junto con los relaves (p. ej., roca estéril, residuos del tratamiento de aguas). Esto puede incluir estructuras, componentes y equipos.

Dren:

El sistema utilizado para deprimir al máximo el nivel freático en el interior del cuerpo del muro de contención. Este sistema, generalmente, se construye en la base del muro

Estabilidad del depósito de relaves:

Se denomina a estabilidad del depósito al nivel de factor de seguridad asociado a las características de la construcción, en este caso al depósito de relaves, de forma tal que se cumpla con los estándares requeridos.

Embalse de relave:

Aquel depósito de relave donde el muro de contención está construido con material de empréstito y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento

y en su talud interno. La impermeabilización puede estar realizada con un material natural de baja permeabilidad o de material sintético como geomembrana de alta densidad

Estabilidad Física:

Situación de seguridad estructural, que mejora la resistencia y disminuye las fuerzas desestabilizadoras que pueden afectar las obras o depósitos de una Faena Minera, para la cual se utiliza medidas con el fin de evitar fenómenos de falla, colapso o remoción. Se considera medidas para la estabilización física aquellas como la estabilización y perfilamiento de taludes, reforzamiento o sostenimiento de éstos, compactación del depósito y otras que permitan mejorar las condiciones o características geotécnicas que componen las obras o depósitos mineros (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO, 2018)

Nivel de agua:

De acuerdo a las características de la presa de relaves, el nivel de agua se encontraría controlado por el dren chimenea que está dispuesto en el eje del depósito de relaves

Presa de relaves:

Es típicamente una presa de terraplén de relleno de tierra utilizada para almacenar subproductos de operaciones mineras después de separar el mineral de la ganga

Formulación de la hipótesis

Hipótesis General

Las consideraciones que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto evitaran el colapso de las relaveras, en la Unidad Minera Colquijirca.

Hipótesis específicas

Hipótesis específica a

Las consideraciones en cuanto al diseño geotécnico que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto evitaran el colapso de las relaveras, en la Unidad Minera Colquijirca.

Hipótesis específica b

Las consideraciones en cuanto al diseño de obras hidráulicas, que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto evitaran el colapso de las relaveras, en la Unidad Minera Colquijirca.

Hipótesis específica c

Las consideraciones en cuanto al diseño civil que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto evitaran el colapso de las relaveras, en la Unidad Minera Colquijirca

Identificación de variables

Variables para la hipótesis general

Estabilización de las relaveras R2, R4

Colapso de las relaveras

Variables para la hipótesis específicas

Variables para la hipótesis específica a

Diseño geotectónico

Colapso de las relaveras

Variables para la hipótesis específica b

Diseño de obras hidráulicas

Colapso de las relaveras

Variables para la hipótesis específica c

Diseño civil

Colapso de las relaveras

2.4. Enfoque filosófico – epistémico

Al desarrollar la presente investigación podemos acercarnos a la ciencia desde varias perspectivas. Es posible que nuestra meta sea resolver el problema sobre minería específicamente sobre mallas de perforación. Pero, a la vez, lo que encontremos en ella de explicativo o creíble puede ser distinto si aplicamos a otra realidad o lo realiza otra persona que no es de la especialidad como puede ser un comerciante, un importador de equipos industriales, un investigador o un maestro. Es decir, que nuestras preocupaciones acerca de la actividad científica pueden ser distintas según el ángulo desde el cual la pensemos. Lo importante al juzgar o evaluar a la ciencia es diferente según nuestra relación con ella en determinados momentos: si la vemos como ingenieros, funcionarios, productores, divulgadores o consumidores. Por lo tanto, tenemos de entrada un área compleja al pensar sobre la ciencia según nuestro punto de partida. En la presente investigación nos colocamos como investigadores de un área de la ciencia a la que queremos ver más vinculada a los problemas e intereses del desarrollo de la minería.

Además, para solucionar el problema o comprender algo no sólo tenemos a la ciencia. Hay diversas vías para conocer; todas pueden reclamar legitimidad y eficiencia. La ciencia no nos da la única manera de entender el mundo y nuestras vidas, aunque sí es, junto con la tecnología, la que puede explicar y debatir los métodos que usa, y los que usan otras vías. De hecho, coexisten muchas maneras simultáneas en las sociedades modernas. Con frecuencia, en nuestras comprensiones personales y en la cultura hay nociones de pensamiento mágico o de superstición, costumbres, conocimientos aceptados como ciertos porque alguien con cierta autoridad lo ha dicho,

consensos alcanzados por el diálogo, intuiciones profundizadas por medio de la literatura y el arte en general, observaciones directas, y un largo etcétera.

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

La investigación será APLICADA porque vamos a investigar sobre la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto (BAENA , 2017).

3.2. Nivel de investigación

El nivel, será de un nivel explicativo, de análisis; porque vamos a explicar y analizar de cómo debemos estabilizar los depósitos de relaves R2, R4 mediante la construcción de contrafuertes y manejo de agua de no contacto. (BERNAL, Metodología de la investigación, 2010)

3.3. Métodos de investigación

La investigación se realizada mediante el metodo científico, apoyados en los métodos específicos analítico-deductivo; (HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, 2014)

3.4. Diseño de investigación

El diseño a emplear será el no experimental porque no haremos ninguna variación de las variables de la investigación solo nos avocaremos a observar y plantear propuestas sobre la estabilidad de las relaveras.

3.5. Procedimiento del muestreo

3.5.1. Población

La población está compuesta por todas las relaveras que tiene la Unidad Minera Colquijirca.

3.5.2. Muestra

La muestra está compuesta por los depósitos de relave R2 Y R4 de la Unidad Minera Colquijirca.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre las técnicas usadas para esta investigación se encuentran las siguientes:

3.6.1. Técnicas

- Observación directa
- Análisis de documentos
- Criterios de diseño

3.6.2. Instrumentos

Tenemos:

Guía de observación

- Ficha de registro
- Documentos escritos
- Directrices de ingeniería de detalle

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Contando con todos los datos obtenidos durante la observación, recojo de documentos se procederá al procesamiento de datos, para el análisis de la información referente a parámetros de diseño, diseño geotectónico, diseño hidráulico, diseño civil y la elaboración del informe final.

3.8. Orientación ética

Durante el desarrollo de la investigación mantendremos los principios de la ética en los aspectos de la veracidad, responsabilidad, confidencialidad y el respeto a las personas e instituciones.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Aspectos generales de la mina

Ubicación

La Unidad Minera Colquijirca se ubica a 260 km del noreste de Lima, distrito de Colquijirca, provincia y departamento de Pasco, y a 20 km al suroeste de la ciudad de Cerro de Pasco, a una altura promedio de 4 200 a 4 400 m s.n.m.

Vías de acceso

El acceso a la mina es por la carretera 1N de la Panamericana Norte, siguiendo la ruta Lima – Huaral – Acos - Huallay - Colquijirca. La distancia del recorrido desde Lima es de 260 km y el tiempo aproximado de viaje es de 7 horas.

Figura 12:

Ubicación U.M. Colquijirca y los depósitos de relaves antiguos de Huaraucaca



Actividades de campo realizadas

- Selección de los Parámetros de diseño
- Diseño geotectónico
- Diseño hidráulico
- Diseño civil
- Elaboración de planos de ingeniería a nivel de detalle
- Elaboración de costos
- Cronograma de ejecución

4.1.2. Parámetros de diseño

Estos parámetros se han determinado en base a la información reportada en estudios anteriores. A continuación, se presente un resumen de los parámetros de diseño considerados:

Hidrología

- | | |
|--|---------|
| • Precipitación total anual – año normal | 960 mm |
| • Evaporación total anual | 1030 mm |
| • Precipitación máxima 24 h / Tr= 100 años | 72,5 mm |

- Precipitación máxima 24 h / Tr= 500 años (verificación) 79,4 mm

Peligro sísmico

- PGA Tr= 475 años 0,30 g
- Coeficiente sísmico (Tr= 475 años) 0,15

Análisis de estabilidad

- Factor de seguridad de taludes mínimo estático 1,5
- Factor de seguridad de taludes mínimo pseudo estático 1,0

Contrafuerte R2

- Talud aguas abajo 2,0H:1,0V
- Cota máxima de banquetta 4 174,5 m.s.n.m.
- Volumen de relleno controlado 12 967 m³

Contrafuerte R4

- Talud aguas abajo 2,0H:1,0V ▪ Cota máxima de banquetta inferior 4 176,5 m.s.n.m.
- Cota máxima de banquetta central 4 180 m.s.n.m.
- Cota máxima de banquetta superior 4 182 m.s.n.m.
- Volumen de relleno controlado 94 109 m³

Accesos de operación y construcción

- Pendiente máxima de acceso 10%
- Talud de relleno 1,5H:1,0V
- Ancho de carril 5 m
- Velocidad de diseño 30 km/h
- Peralte máximo/Bombeo máximo 4% / 2%

Manejo de aguas

Cunetas

- Sección Trapezoidal
- Revestimiento canales Geomembrana

- Pendiente de diseño 0,3%
- Precipitación de diseño (Tr=100 años) 72,5 mm

Rápidas

- Sección Trapezoidal
- Revestimiento Geomembrana
- Pendiente de diseño máxima 50%
- Precipitación de diseño (Tr=100 años) 72,5 mm

4.1.3. Descripción general del sitio

Topografía

La topografía del área de estudio fue proporcionada por Sociedad Minera El Brocal y cuenta con curvas de nivel espaciadas cada 1,0 m en el sistema de unidades UTM WGS 84 Zona 18L. Esta información topográfica ha sido actualizada hasta febrero de 2024. Las alturas presentadas en la topografía corresponden a alturas ortométricas.

Geología

Geología regional

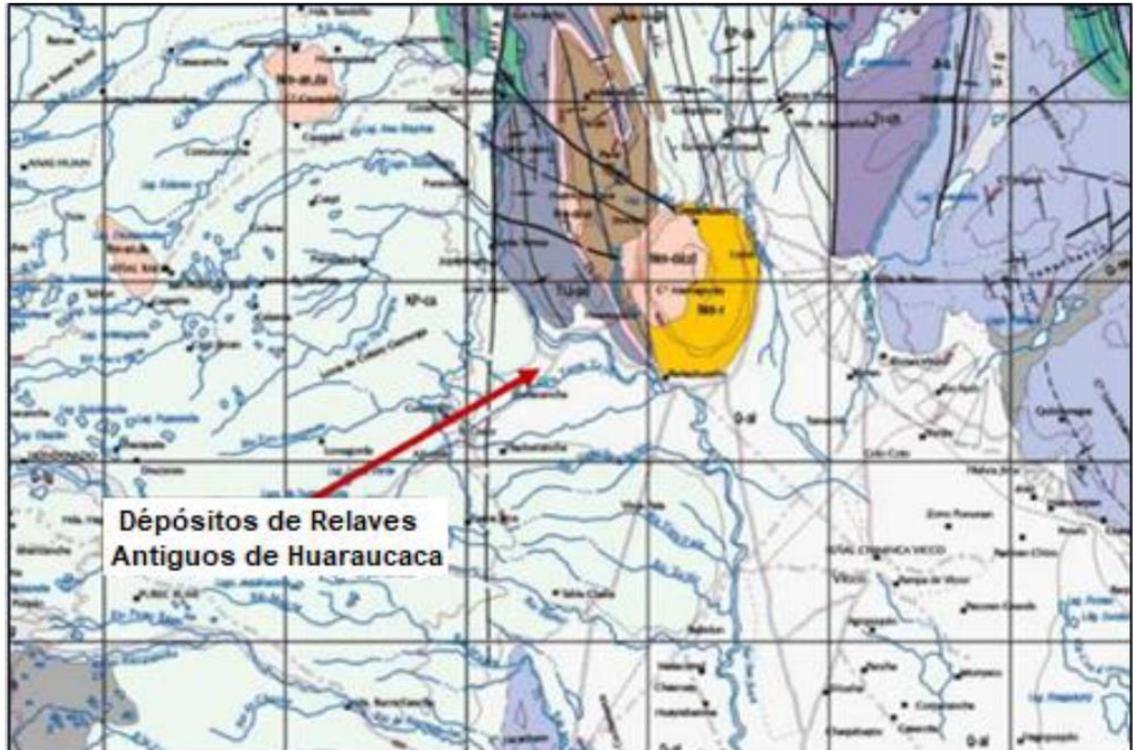
Los depósitos de relaves antiguos de Huaraucaca, han sido construidos sobre una planicie conformada por un gran depósito de origen aluvial, que forma parte de las llamadas “Pampas de Junín” y presenta una ligera pendiente hacia el río San Juan. Dicho depósito de suelos contiene gravas y guijarros sub redondeados con tamaños mínimos de partículas de arenas y consisten mayormente de fragmentos de caliza y roca volcánica de composición dacítica o andesítica. La potencia de este depósito cuaternario en la zona del proyecto se estima varía entre 40 y 80 m.

En la figura 13, se muestra la geología regional obtenida del cuadrángulo de Cerro de Pasco (22- k) elaborada por el INGEMMET (1996), la cual muestra las principales unidades litoestratigráficas alrededor de la zona del proyecto, en

la cual se muestra el depósito aluvial (Q-al), de la era cenozoico, del sistema cuaternario y de la serie del holoceno, sobre el que se encuentran emplazados los depósitos de relaves antiguos de Huaraucaca.

Figura 13:

Mapa geológico del cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k) – INGEMMET (1996)



Geología local

La zona de los depósitos de relaves antiguos Huaraucaca, se encuentra sobre las siguientes formaciones geológicas.

Rocas sedimentarias

Grupo Mitu (PS-m)

Esta unidad aflora en forma localizada y discontinua al oeste de la mina, principalmente en ambas márgenes de la quebrada Andacancha y también al sur del cerro Marcapunta. Cerca de la quebrada Andacancha, las rocas de este grupo están constituidas por dos secuencias; la primera secuencia, está conformada por conglomerados polimicticos, con partículas y fragmentos subangulosos cementados por una matriz de arenisca de grano fino,

de color rojo ladrillo, que se hallan en estratos medios a gruesos, con estratificación sesgada, con niveles de areniscas finas, su espesor no se puede definir. La segunda es

una secuencia volcánica las cuales son reducidas en la parte occidental de Cerro de Pasco.

Grupo Pucara (Trj-p)

Esta unidad corresponde a las rocas calizas indivisas, que en el área del proyecto se encuentran con cierta continuidad en los cerros que se hallan al oeste del Cerro Lachipana, los afloramientos son visibles en ambas márgenes del valle del río San Juan, desde Sacrafamilia hasta Huaraucaca.

Las rocas corresponden a calizas grisáceas que en el área presentan una morfología suave a ondulada, con algunos relieves kársticos y muy eventualmente con dolinas. **Rocas volcánicas**

Volcánico Rumillana (Nm-r)

Corresponden a una intrusión en forma de stock que afecta a las rocas de naturaleza volcánica – clástica descritas en los planos geológicos de la mina como Complejo Domo Diatrema Marcapunta que tiene un parecido litológico, edad y modo de emplazamiento como volcánicos del Complejo Domo-Diatrema Yanamate. Las rocas de esta unidad se encuentran en forma de domos y lavas dacíticas que gradan a cuarzolutitas; finamente estratificadas, cuya matriz es generalmente material volcánico inconsolidado con cementante de calcita; en las áreas adyacentes principalmente en la ladera sureste del cerro Marcapunta están constituidos por piroclastos, tobas y lavas; de colores gris blanquecinas algo anaranjados.

Depósitos cuaternarios (Q)

Cubriendo a las unidades anteriormente descritas se hallan los depósitos cuaternarios que se describe a continuación:

Depósitos glaciares (Q-gl)

Estos materiales corresponden a los materiales producto de la ablación del hielo sobre las rocas, están constituidos predominantemente por una mezcla mal gradada de limos o arcillas arenosas con gravas y variado porcentaje de fragmentos de rocas de diferentes tamaños, los granos y partículas varían desde sub angulosos hasta sub redondeados; la composición litológica de los granos y clastos varían de acuerdo con el lugar, dependen de la cercanía a las rocas aflorantes.

El contenido de finos varía de poco a moderadamente plástica, se hallan desde compactas a moderadamente compactas. Su espesor es muy variable de un lugar a otro.

En el área de la mina estos depósitos se encuentran como cobertura de las unidades descritas y sus espesores no son relevantes, fuera de la mina aún conservan sus formas originales de deposición en forma de morrenas.

Depósitos fluvio-glaciares (Q-fg)

Constituyen los depósitos que han sufrido cierta remoción por los flujos de lluvia y parcialmente parte de sus componentes han sido erosionados y/o están saturados por el agua.

En su composición predominan las arenas, gravas con inclusión de limos y algunos fragmentos de rocas, generalmente se hallan con cierta continuidad en las áreas de las quebradas, donde alcanzan el mayor espesor; estos materiales se encuentran en las márgenes del río Andacancha, denominado localmente como quebrada Andascancha o quebrada Huachuacaja.

Depósitos aluviales (Q-al)

Corresponden a los materiales transportados y acumulados por las aguas de los principales flujos como el río San Juan; están conformados por arenas, gravas, cantos rodados, con algunos bolones y finos; generalmente mal gradados, de formas predominantemente subredondeadas a redondeadas y

composición litológica en gran porcentaje por calizas, areniscas y poco porcentaje de rocas ígneas. Estos depósitos alcanzan varios metros de espesor y cerca de las quebradas y el río San Juan se hallan saturados. Los depósitos aluviales forman parte de la planicie aluvial del río San Juan desde Huaraucaca hasta San Gregorio, los cuales pueden ser utilizados como cantera de agregados.

Depósitos tecnógenos (Q-te)

Corresponde a zonas en donde se han depositado materiales de operaciones de mina.

Características geomorfológicas

Morfológicamente, el área de emplazamiento del proyecto en general se caracteriza por una topografía suave y relativamente horizontal, la cual se conforma por extensas áreas ligeramente onduladas y suaves, las mismas que se extienden constituyendo las Pampas de Junín. En algunas zonas, el relieve es atravesado por cauces de ríos de pendiente poco pronunciada y algunos picos dispersos, siendo quizá el de mayor importancia el Cerro Marcapunta. Al oeste del cerro Marcapunta se encuentra la quebrada Andascancha, y al este del mismo, la pampa Unish que se extiende hasta las orillas del Lago Junín. En el área del proyecto se destaca las siguientes unidades geomorfológicas:

Colinas

Corresponde a superficies positivas en proceso denudacional, conformados por cerros poco elevados, como es el caso del Cerro Colquijirca ubicado al norte de la zona del proyecto y, el Cerro Lachipana ubicado al noroeste. En la parte baja de los valles que forma la quebrada Andascancha y el río San Juan, cuyas colinas tienen dirección norte-sur generalmente.

Farallones

Está relacionada y formada por un proceso de erosión diferencial que ha ocurrido en la zona de contacto entre las formaciones rocosas de areniscas del

Grupo Mitu en el piso, con las rocas calcáreas dolomitizadas del Grupo Pucará en el techo. Las areniscas presentan una menor resistencia a la erosión que las calizas dolomitizadas endurecidas ubicadas en la parte superior, lo cual ha dado el origen a farallones. Este proceso se puede observar en las partes altas del valle Andacancha.

Domo volcánico

Está ligada a zonas de relieve positivo relacionadas a procesos intrusivos y volcánicos, formándose un domo volcánico, como es el caso del Cerro Marcapunta. Que tiene una superficie de suave pendiente, donde se vienen dando procesos de denudación.

Valle glacial

Este valle presenta topografía cóncava (en U), y su amplitud también es amplia. Presentan una capa potente de material arcillosos, limoso y arenas en el fondo que puede alcanzar los 30.0 a 40.0 m.

Los flancos presentan materiales de pie de monte. El caudal y por ende la capacidad de transporte de sedimentos de las quebradas es muy baja. En las épocas de lluvia se pueden acumular pequeños cuerpos de agua en las zonas más bajas del valle Andacancha.

Valle fluvial

Esta unidad tiene una topografía cóncava con un fondo de valle bastante amplio y de suave pendiente, formando ligeros meandros, formada por el río San Juan. Existe un tramo en el que el río discurre pegado al oeste del afloramiento rocoso de dolomías del Grupo Pucará.

Pampa

Esta unidad se ubica en la parte sur del proyecto, es la zona de menor cota y forma parte de la Meseta de Bombón, que se extiende hacia el Lago Junín. Está cubierta por material aluvial, coluvial y fluvioglacial, con formación de algunos

limos y arcillas en algunas capas. El espesor de esta capa es de aproximadamente 80 a 100 m.

Hidrología

En el informe de “Actualización del estudio de hidrología e hidrogeología en la unidad Colquijirca – Modificación de estudio de impacto ambiental (MEIA) U.M. Colquijirca”, desarrollado por (AMPHOS, 2021), se determinaron los principales parámetros climatológicos e hidrológicos como temperatura, humedad, velocidad de viento, precipitación media, precipitación máxima y evaporación; a continuación, se presenta los parámetros que serán usados para el presente estudio.

Precipitación

Los valores de precipitación total mensual fueron obtenidos de la estación meteorológica Huaraucaca, identificada como representativa del área de estudio, con un valor de precipitación total de 1 101 mm, como se muestra en la tabla 2. De igual manera, la figura 14 muestra la distribución a escala mensual de la precipitación, donde se observan periodos húmedos entre los meses de diciembre a marzo, que representan el 57% de la precipitación total. El resto del año se identifica como temporada seca

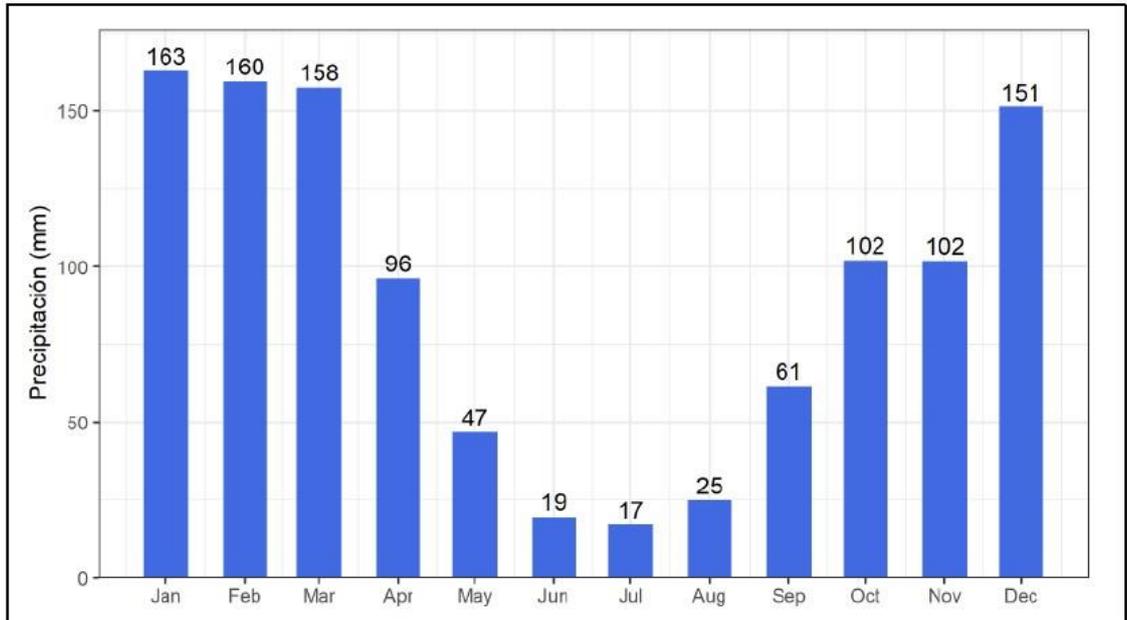
Tabla 2:

Precipitación media mensual (Amphos 21, 2021)

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
P (mm)	163	160	158	96	47	19	17	25	61	102	102	151	1101

Figura 14:

Distribución mensual de la precipitación – Estación meteorológica Huaraucaca (Amphos 21, 2021)



Los valores de precipitación estimadas para un periodo de retorno de 100 años, que representan la condición húmeda y seca de la quebrada Huachuacaja, se muestran en la tabla 3, con valores anuales de 1 547 mm y 657 mm, respectivamente.

Tabla 3:

Precipitación en año seco y húmedo para $Tr= 100$ años (Amphos 21, 2021)

Condición	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Año seco	97	95	94	57	28	12	10	15	37	61	61	90	657
Año húmedo	229	224	222	135	66	27	24	35	86	143	143	213	1547

Para la estimación de los valores de precipitación máxima en 24 horas, la estación meteorológica Cerro de Pasco, operada por el SENAMHI, cuenta con mayor representatividad del área de estudio debido a la longitud de la serie de datos con registros de extensión 65 años y su ubicación cercana a la unidad (AMPHOS, 2021). La tabla 4 muestra los valores de precipitaciones máximas asociados a diferentes periodos de retorno, que fueron actualizados como parte

del estudio Estimación de Máximos Caudales Río San Juan (Lara Consulting, 2023).

Tabla 4:

Precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (Lara Consulting, 2023)

Periodo de retorno (años)	2	5	10	25	50	100	200	500	1 000
P máx. 24 h (mm)	35,2	43,7	49,4	56,6	61,9	67,2	72,5	79,4	84,7

Sismicidad del área de estudio

Para el presente estudio se utilizará el estudio de peligro sísmico realizado por (ZER , 2019) en el área de la U.M. Colquijirca. Su actualización se basó en el cálculo del peligro sísmico por los métodos probabilísticos y determinísticos para un suelo tipo B. El análisis de peligro sísmico fue desarrollado considerando unas coordenadas representativas dentro del área del proyecto, las que se muestran en la tabla 5

Tabla 5:

Ubicación de las coordenadas del proyecto

Sitio	UTM – WGS 84 Zona 18 S	
	Este (m)	Norte (m)
Unidad Minera Colquijirca	359 077	8 807 532

El modelo sismo tectónico ha empleado un total de tres fuentes de subducción interfase, tres fuente de subducción intraplaca intermedia, cinco fuentes de subducción intraplaca profunda y seis fuentes corticales. Dicho modelo fue caracterizado considerando el catálogo sísmico actualizado hasta julio de 2017. Se han obtenido las aceleraciones máximas horizontales de sitio considerando un suelo tipo B ($V_{s30} \geq 760\text{m/s}$) según el ASCE-7, 2016: Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures (2017) y un factor de amortiguamiento $\xi = 5\%$ para eventos sísmicos de 100, 250, 475, 975, 2 475, 5 000 y 10 000 años de periodo de retorno. Los resultados del análisis

probabilístico se muestran en la tabla 6 considerando las aceleraciones espectrales (S_a) para los periodos $T=0,0$ s, 0,2 s y 1,0 s.

Tabla 6:

Resultados de análisis peligro sísmico probabilístico – Suelo tipo B ($V_{s30}=760$ m/s)

Sitio	Periodo de retorno (años)	PGA (g)	0,20 s	1,00 s
Unidad Minera Colquijirca	100	0,105	0,337	0,086
	250	0,232	0,507	0,130
	475	0,297	0,656	0,167
	1 000	0,387	0,864	0,218
	2 475	0,527	1,193	0,291
	5 000	0,654	1,478	0,357
	10 000	0,800	1,825	0,431

4.1.4. Diseño geotécnico

El diseño geotécnico se realizó considerando la condición actual de los depósitos R2 y R4 a la cota 4 187 m s.n.m. y 4 183 m s.n.m., respectivamente, y la condición de estabilización mediante la construcción de los contrafuertes a las cotas 4 175 m s.n.m. y 4 182 m s.n.m., respectivamente. El análisis de estabilidad física consideró en análisis de las secciones 1 y 2, correspondientes al depósito R4 y la sección 3, correspondiente al depósito R2.

Sección de análisis

Con el objetivo de evaluar la estabilidad del depósito R4, se analizaron las secciones 1 y 2, y en el depósito R2 se analizó la sección 3. La ubicación de las secciones críticas fue seleccionada en base a la máxima altura e inclinación de los taludes, pendiente de la superficie de terreno y espesor de los materiales que conforman el depósito. La figura 16 muestra la ubicación de las secciones críticas 1, 2 y 3 para el análisis de estabilidad de los depósitos R4 y R2 en condición actual y estabilizada.

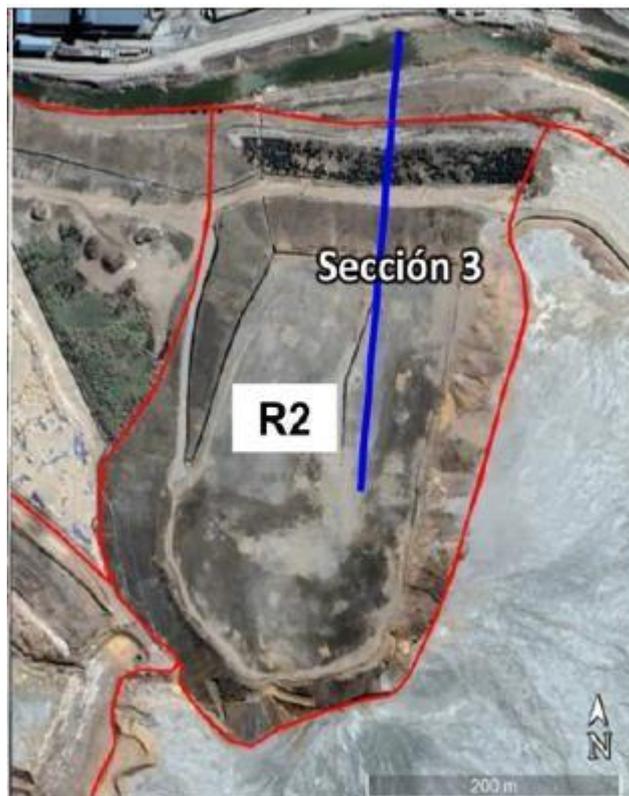
Figura 15:

a) Sección 1 y Sección 2 de análisis del depósito de relaves R4



Figura 16:

b) Sección 3 de análisis del depósito de relaves R2 – UM Colquijirca



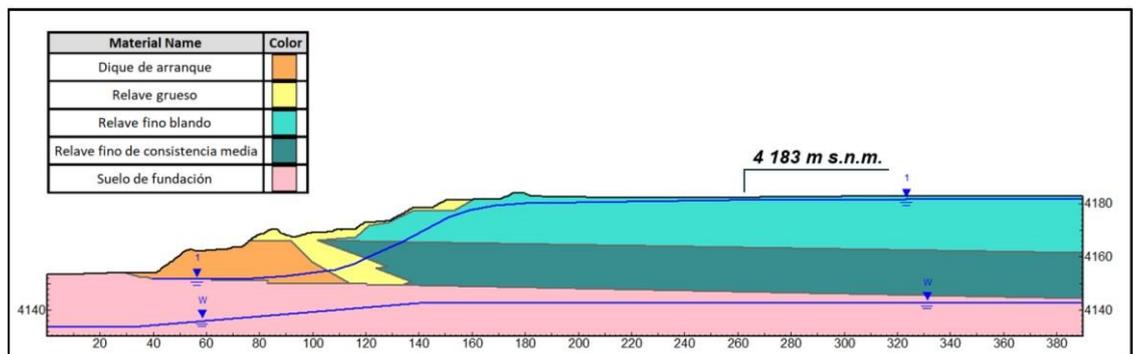
Condición actual del depósito R4

En la figura 17 se muestra la sección 1 típica de la condición actual del depósito R4 a la elevación de 4 183 m s.n.m.; asimismo, la consideración del

nivel de agua reportado según la instrumentación presentada por el EoR en el informe mensual del mes de diciembre 2023 para los análisis de estabilidad física en el caso estático y pseudo estático. Esta sección geotécnica ha sido actualizada con respecto a la ingeniería de factibilidad, con las últimas investigaciones geotécnicas realizadas en octubre del 2023, realizadas por Lara Consulting. Las investigaciones geotécnicas evidenciaron mayor potencia de relaves finos no consolidados que clasifican como arcilla de baja plasticidad (CL).

Figura 17:

Sección típica 1 del depósito de relaves R4 - Condición Actual (LC, 2024)

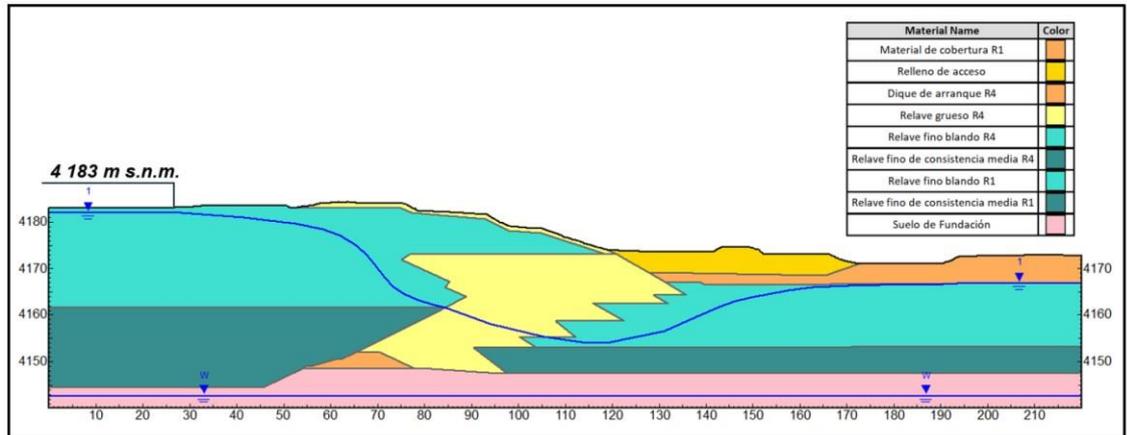


Condición actual del depósito R4-R1

En la figura 18 se muestra la sección 2 típica de la condición actual del depósito R4-R1 a la elevación de 4 183 m s.n.m.; asimismo, la consideración del nivel de agua reportado según la instrumentación presentada por el EoR en el informe mensual del mes de diciembre 2023 para los análisis de estabilidad física en el caso estático y pseudo estático. Esta sección geotécnica ha sido actualizada con respecto a la ingeniería de factibilidad, con las últimas investigaciones geotécnicas realizadas en octubre del 2023, realizadas por Lara Consulting. Las investigaciones geotécnicas evidenciaron mayor potencia de relaves finos no consolidados que clasifican como arcilla de baja plasticidad (CL).

Figura 18:

Sección típica 2 del depósito de relaves R4-R1 - Condición Actual (LC, 2024)

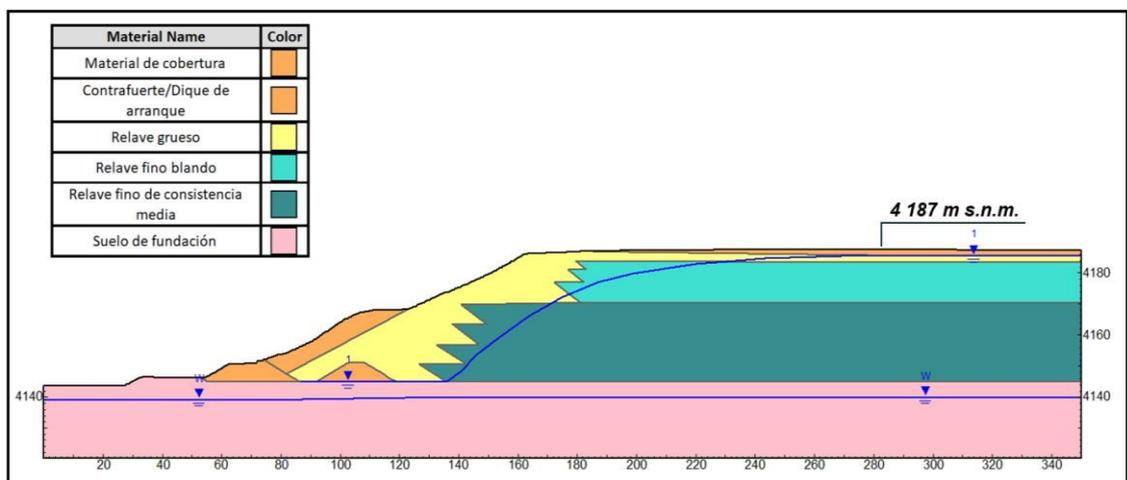


Condición actual del depósito R2

En la figura 19 se muestra la sección 3 típica de la condición actual del depósito R2 a la elevación de 4 187 m s.n.m.; asimismo, la consideración del nivel de agua reportado según la instrumentación presentada por el EoR en el informe mensual del mes de diciembre 2023 para los análisis de estabilidad física en el caso estático y pseudo estático.

Figura 19:

Sección típica 3 actual del depósito de relaves R2 condición actual (LC, 2024)



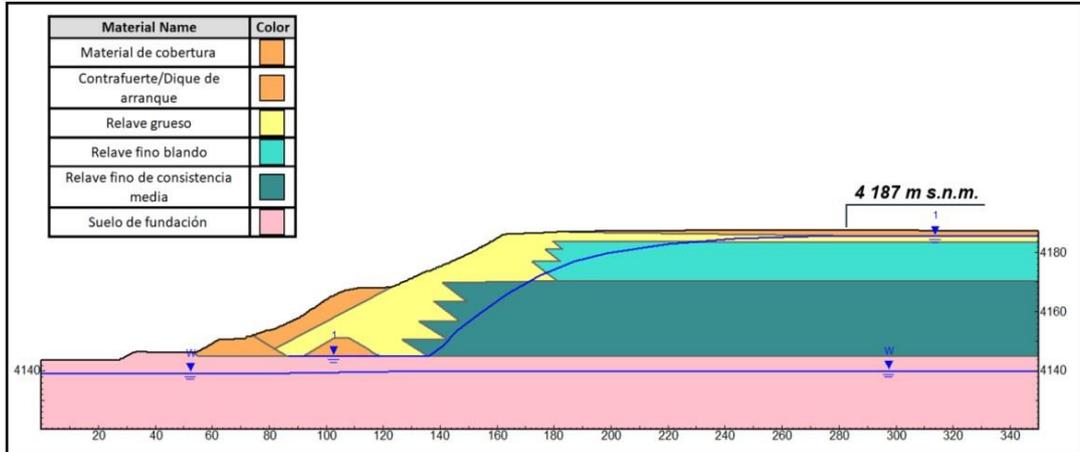
Estabilización del depósito R4

En la figura 20 se presenta la sección típica 1 en la condición de estabilización, la cual se considera la conformación del contrafuerte desde la cota 4 168 m s.n.m. hasta la cota 4 182 m s.n.m, con taludes 2,0:1,0V, pendiente

de banqueta 0,5%, altura de 14 m, ancho de banquetas de 8 m, 11 m y 13 m, y con material de conformación de relleno controlado. En esta condición se evaluó la estabilidad física en los casos estático y pseudo estático.

Figura 20:

Sección típica 1 del depósito de relaves R4 - Condición Estabilizada (LC, 2024)

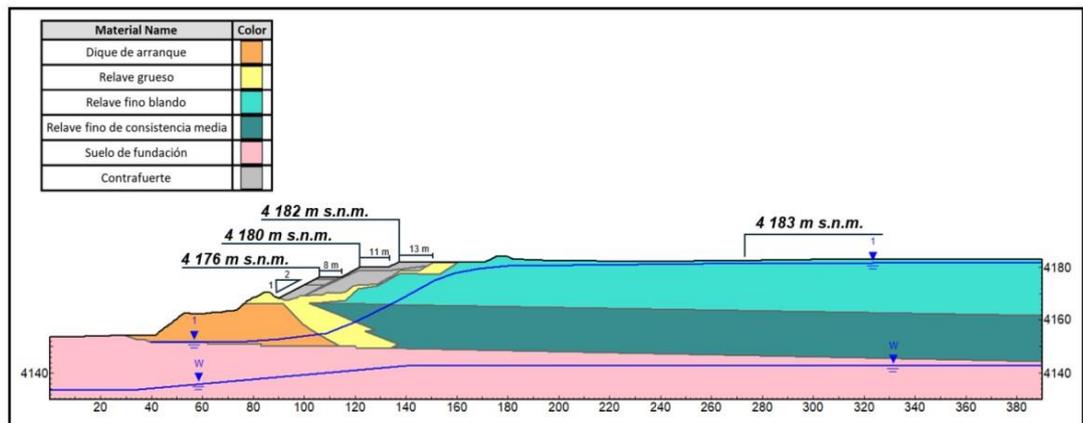


Estabilización del depósito R4-R1

En la figura 21 se presenta la sección típica 2 en la condición de estabilización, la cual se considera la conformación del contrafuerte desde la cota 4 174 m s.n.m. hasta la cota 4 178 m s.n.m, con taludes 2,0:1,0V, pendiente de banqueta 0,5%, altura de 4 m, ancho de banqueta de 9 m, y con material de conformación de relleno controlado. En esta condición se evaluó la estabilidad física en los casos estático y pseudo estático.

Figura 21:

Sección típica 2 del depósito de relaves R4-R1 - Condición Estabilizada (LC, 2024)

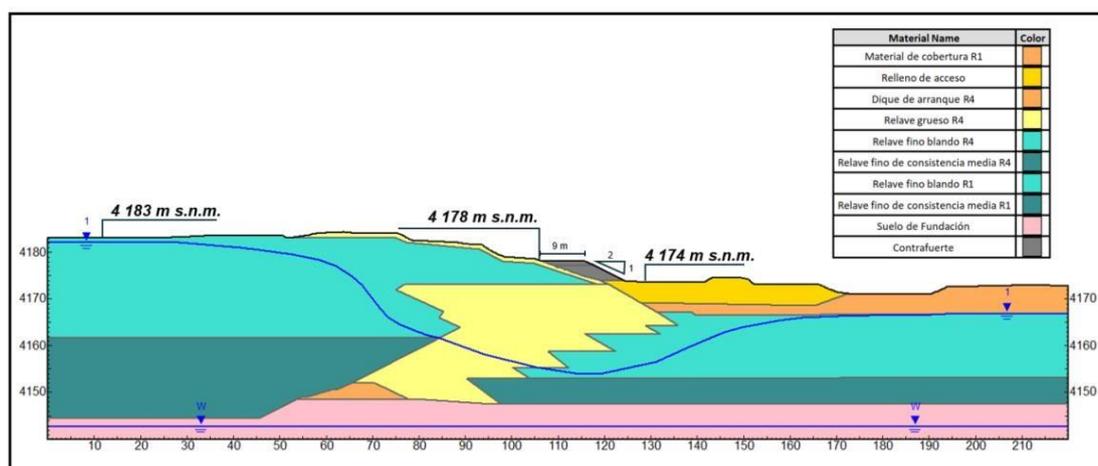


Estabilización del depósito R2

En la figura 22 se presenta la sección típica 3 en la condición de estabilización, la cual se considera la conformación del contrafuerte desde la cota 4 168 m s.n.m. hasta la cota 4 174 m s.n.m, con talud 2,0H:1,0V, pendiente de banqueta 0,5%, altura de banqueta de 6 m, ancho de banqueta de 8 m y con material de conformación de relleno controlado. En esta condición se evaluó la estabilidad física en los casos estático y pseudo estático.

Figura 22:

Sección típica 3 del depósito de relaves R2 - Condición Estabilizada (LC, 2024)



Análisis de estabilidad

Para el análisis de estabilidad de los depósitos R2 y R4, se definieron las secciones críticas en base las investigaciones geotécnicas realizadas por Lara Consulting (2023, 2022, 2021 y 2019) y los estudios previos, considerando un eje central, perpendicular al dique del depósito y de mayor altura.

Parámetros de resistencia

Los parámetros se han definido evaluando los ensayos de resistencia de campo (SPT) y ensayos triaxial CU y CD, así mismo se ha realizado la corrección del número de golpes N_{spt} por esfuerzo de confinamiento y por energía al 60%, utilizando la metodología de Idriss & Boulanger (2016), obteniendo los valores de $N1(60)$. Además, se emplearon las correlaciones de

Hatakana (1996) y Wolf (1990) para materiales con comportamiento fino y granular, respectivamente con el objetivo de obtener el ángulo de fricción efectivo. Para la obtención de la relación al esfuerzo cortante no drenado se utilizó la formulación propuesta por Robertson (2022). Estos parámetros de resistencia han sido actualizados en base a las investigaciones geotécnicas realizadas hasta el año 2023 (calicatas y perforaciones). A continuación, se presenta la tabla 7, donde se detalla los parámetros de resistencia y peso unitario en base a resultados de correlaciones de SPT, LPT y SCPTu.

Tabla 7:

Parámetros de resistencia y peso unitario de los materiales de los depósitos de relaves R1, R2 y R4 (Lara Consulting, 2023)

Depósito de relaves	Material	γ (kN/m) ¹	Parámetros de resistencia				
			Modelo Mohr Coulomb		Modelo SHANSEP		
			c' (kPa) ²	ϕ' (°) ³	A^4 (kPa)	m^5	s^6
R1	Material de cobertura	19	0	34	N.A.	N.A.	N.A.
	Relave grueso (Cuerpo del dique)	20	5	31	N.A.	N.A.	N.A.
	Relave fino blando (Sección 1)	17	20	22	5	0,8	0,209
	Relave fino blando (Sección 2)	17	20	22	5	0,8	0,252
	Relave fino de consistencia media	18	24	26	5	0,8	0,383
	Suelo de fundación	21	10	37	N.A.	N.A.	N.A.

Depósito de relaves	Material	γ (kN/m) ¹	Parámetros de resistencia				
			Modelo Mohr Coulomb		Modelo SHANSEP		
			c' (kPa) ²	ϕ' (°) ³	A^4 (kPa)	m^5	s^6
R2	Contrafuerte/Dique de arranque	21	10	35	N.A.	N.A.	N.A.
	Material de cobertura	19	0	32	N.A.	N.A.	N.A.
	Relave grueso (Cuerpo del dique)	20	5	32	N.A.	N.A.	N.A.
	Relave fino blando	17	18	21	0	0,8	0,192
	Relave fino de consistencia media	18	24	26	15	0,8	0,268
	Suelo de fundación	21	10	37	N.A.	N.A.	N.A.
R4	Dique de arranque	21	10	35	N.A.	N.A.	N.A.
	Relleno de acceso	21	10	35	N.A.	N.A.	N.A.
	Relave grueso (Cuerpo del dique)	20	9	30	N.A.	N.A.	N.A.
	Relave fino blando	17	17	20	5	0,8	0,200
	Relave fino de consistencia media	18	26	23	5	0,8	0,296
	Suelo de fundación	21	10	39	N.A.	N.A.	N.A.

Notas:

- (1) γ : peso unitario húmedo
- (2) c' : cohesión efectiva
- (3) ϕ' : ángulo de fricción efectivo
- (4) A: esfuerzo de corte mínimo no drenado
- (5) m: exponente típico del modelo Shansep, entre 0,75 a 1
- (6) S: Relación de resistencia al corte no drenado pico

Resultados del análisis de estabilidad física

De acuerdo con los análisis de estabilidad física por el método de equilibrio límite, en los depósitos de relaves R4 y R2, se han considerado fallas del tipo circular como las más críticas. Los resultados de los análisis de estabilidad física se presentan en la tabla 8

Tabla 8:

Resultados del análisis de estabilidad de los depósitos de relaves R4 y R2

Sección	Condición	Circulo de Falla	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo estático falla local (Cs=0,15)
Sección 1 (Depósito R4)	Actual	Local	2,28	0,71
		Global	>2,28	0,75
	Estabilizada	Local	2,58	1,02
		Global	>2,58	1,00
Sección 2 (Depósito R4)	Actual	Local	2,85	0,87
	Estabilizada	Global	3,77	1,04
Sección 3 (Depósito R2)	Actual	Local	1,89	0,98
		Global	>1,89	0,95

Sección	Condición	Circulo de Falla	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo estático falla local (Cs=0,15)
	Estabilizada	Local	1,94	1,07
		Global	>1,94	1,01

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 8 para la condición de estabilización con los contrafuertes de los depósitos R4 y R2, los factores de seguridad obtenidos en condición estática y pseudo estática cumplen con los mínimos factores de seguridad requeridos (F.S. > 1.5 estático y F.S. > 1 pseudo estático), según la guía del (MINEM, 1997).

4.1.5. Diseño de obras hidráulicas

Para el diseño de obras hidráulicas se plantea como parte de la Ingeniería de detalle para la estabilización de los depósitos de relave R2 y R4, etapa de operación, desarrollar un sistema de cunetas para cada depósito, que captarán y descargarán el flujo de escorrentía superficial hacia el Río San Juan en el caso del depósito R2 y hacia la poza 2A en el caso del depósito R4. En la figura 23 se muestran en planta los depósitos R2 y R4 de Huaraucaca.

Figura 23:

Depósitos de relaves R2 y R4, de Huaraucaca



Caracterización Hidrológica Áreas de aporte

Se han estimado las áreas de aporte de flujos de escorrentía sobre los depósitos antiguos de relaves Huaraucaca, con la finalidad de elaborar el diseño

de las estructuras hidráulicas como parte de la estabilidad hidrológica de las relaveras, como se muestra en la figura 24 De tal forma que, las áreas y perímetros para las relaveras R2 y R4 se presentan en la tabla 9.

Figura 24:

Áreas de aporte - Depósitos de relaves antiguos R2 y R4 de Huaraucaca

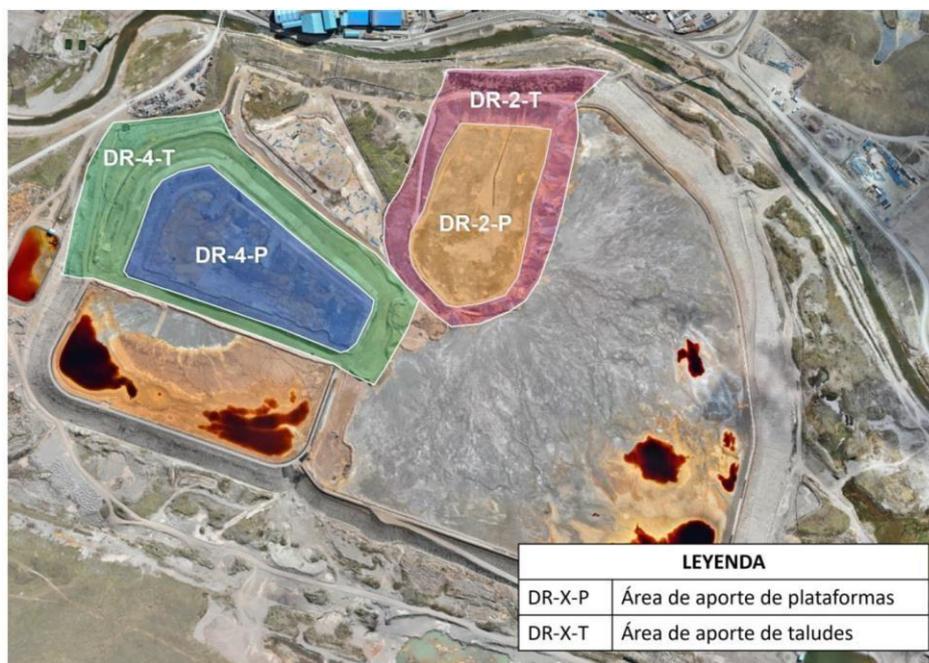


Tabla 9:

Áreas de aporte – Deposito de relaves antiguos

Unidad de estudio	Área (km ²)
Área de aporte DR-2-P	0,05
Área de aporte DR-2-T	0,06
Área de aporte DR- 4-P	0,06
Área de aporte DR- 4-T	0,06

Se distribuye las áreas para el diseño de cunetas donde DR-X- T se denomina al área del talud y DR- X- P se denomina al área de la plataforma

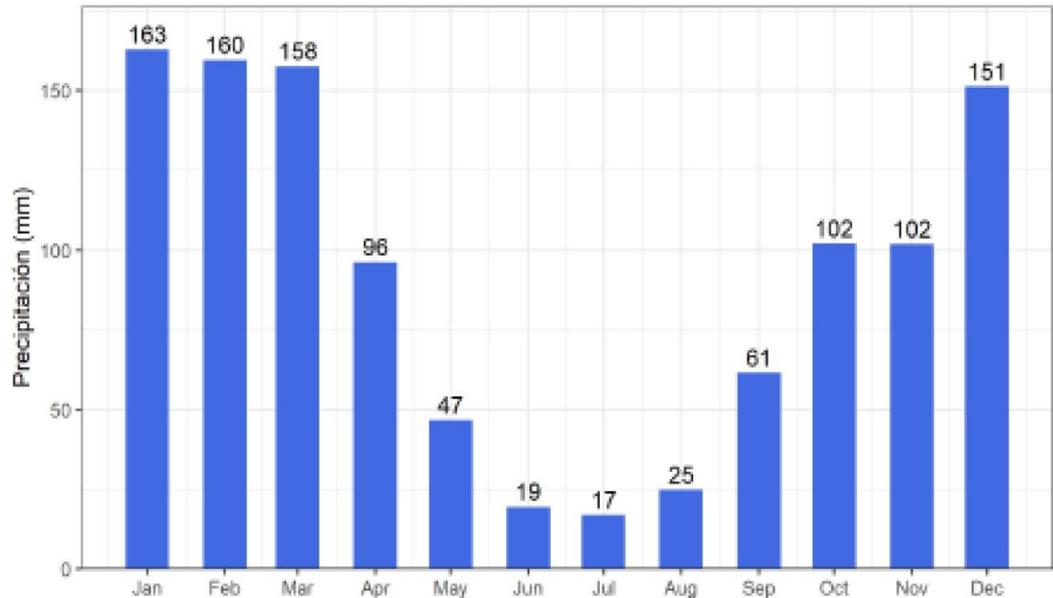
Precipitación Precipitaciones Medias Mensuales

Los valores de precipitación media mensual y anual calculados como representativos del área de estudio, se obtuvieron del informe de Actualización del Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la Unidad Colquijirca – MEIA 25K,

elaborado por (AMPHOS, 2021). La distribución de los valores mensuales se muestra en la Figura 25

Figura 25:

Precipitación media mensual del área de estudio



Precipitaciones Máximas en 24 horas

Los valores de precipitación máxima 24 horas asociados a diferentes periodos de retorno se presentan en la sección de Hidrología, que serán utilizados para el diseño de las cunetas. También, como parte del documento de “Actualización del Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la Unidad Colquijirca – MEIA 25K”, elaborado por (AMPHOS, 2021) se estimaron las curvas IDF con el objetivo de conocer la intensidad de la precipitación para duraciones menores de 24 horas. Las curvas IDF fueron obtenidas mediante la ecuación general de intensidad de precipitación – duración – frecuencia desarrollada por Chen (1983) a partir de la precipitación máxima en 24 horas, como se muestra en la tabla 10 De igual manera, En la figura 26 muestra la distribución de las curvas IDF.

Tabla 10:

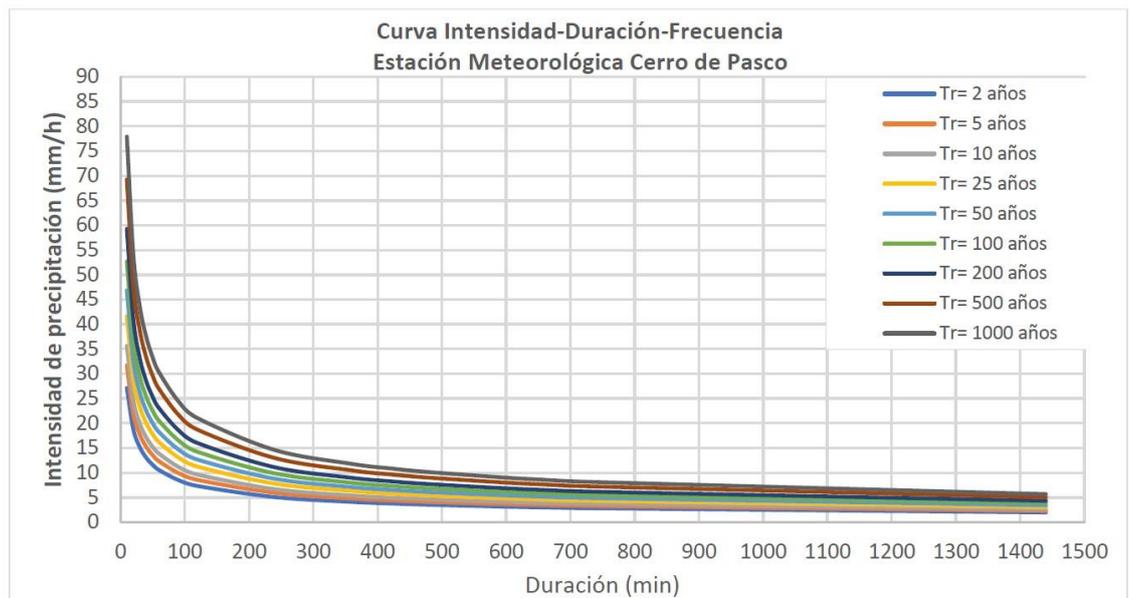
Relaciones intensidad - duración - periodo de retorno

TR (años)	Duración (minutos)								
	10	15	30	60	90	120	240	360	480
2	35,9	29,7	20,4	13,3	10,2	8,5	5,3	4,0	3,3
5	42,6	35,3	24,2	15,8	12,2	10,0	6,3	4,7	3,9
10	47,6	39,4	27,1	17,7	13,6	11,2	7,0	5,3	4,6
25	52,7	43,6	29,9	19,6	15,0	12,4	7,7	5,8	4,8
50	59,4	49,2	33,7	22,1	16,9	14,0	8,7	6,6	5,4

TR (años)	Duración (minutos)								
	10	15	30	60	90	120	240	360	480
100	64,4	53,3	36,6	23,9	18,4	15,2	9,5	7,2	5,9
200	69,5	57,5	39,5	25,8	19,8	16,4	10,2	7,7	6,3
500	76,1	63,1	43,3	28,3	21,7	17,9	11,2	8,5	6,9

Figura 26:

Curvas Intensidad - Duración - Periodo de retorno



Dimensionamiento de estructuras hidráulicas

Se plantea el manejo de agua a través de un sistema de cunetas perimetrales con descarga hacia el Río San Juan en el caso del depósito R2 y

la descarga hacia la poza 2A en el caso del depósito R4. Para ello, se estimaron los caudales máximos y se dimensionaron las estructuras hidráulicas.

Caudales máximos

Para la estimación del caudal pico o máximo se emplea el método racional con aplicación de la siguiente fórmula:

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A.$$

Donde:

C : Coeficiente de escorrentía (0.60)

I : Intensidad de precipitación para 100 años (15,2 mm/h ver Tabla 10) A : Área de aporte del sector.

El valor del coeficiente de escorrentía se ha tomado según el tipo de superficie y los valores de intensidad para un tiempo de 2 horas, según Tabla 10 Los caudales de diseño y de verificación para los depósitos de relaves R2 y R4, se muestran en la tabla 11

Tabla 11:

Caudales de diseño de canales y cunetas

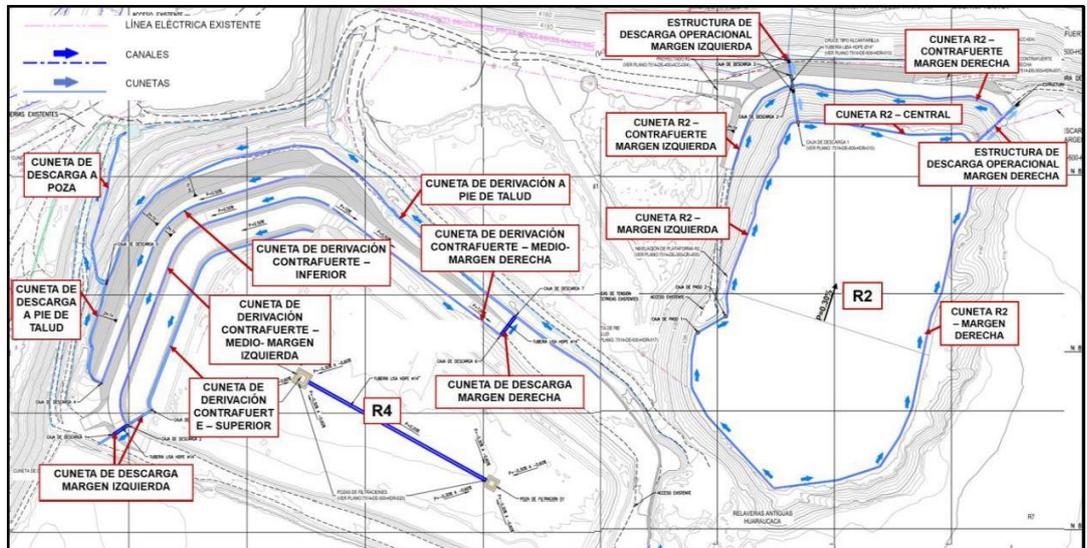
Parámetros de diseño		En Talud	En Superficie	Total	Unidad
DR - 2	Q ₁₀₀	0,15	0,12	0,27	(m ³ /s)
	Q ₅₀₀	0,18	0,14	0,32	(m ³ /s)
DR - 4	Q ₁₀₀	0,17	0,14	0,31	(m ³ /s)
	Q ₅₀₀	0,19	0,16	0,35	(m ³ /s)
Intensidad de diseño - Periodo de retorno 100 años ⁽¹⁾		15,2 ⁽¹⁾			mm/h
Intensidad de diseño - Periodo de retorno 100 años ⁽¹⁾		17,9 ⁽¹⁾			mm/h
Rugosidad de Manning		0,010	0,010	0,010	adimensional
Pendiente		0,3% – 0,5%			%

Nota 1. Se consideró la intensidad (mm/h) estimada para un tiempo de concentración de 2 horas por depósito, que representa la distribución de la tormenta de diseño, para tener un valor conservador en todos los sectores de aporte.

En la figura 27 se muestra el esquema de las estructuras hidráulicas consideradas como parte del diseño, y el direccionamiento del flujo sobre los

depósitos de relaves, que para el depósito de relaves R2 descarga el río San Juan y el depósito R4 descargan hacia la poza 2A.

Figura 27:
Sistema de manejo de agua proyectado



Diseño de Cunetas

Las cunetas diseñadas permitirán captar los flujos de escorrentía superficial sobre la plataforma del depósito R2, y permitirán su derivación hacia las descargas (rápidas). En el depósito R4 se dividirá en dos sectores, conformando la superficie con pendiente negativa del 0,5% que permitan dirigir las escorrentías hacia cada poza. La primera poza denominada P1 tiene como función ser una poza de pase que permite conducir las aguas de este sector hacia el segundo sector donde se ubica la segunda poza denominada P2, de donde mediante un sistema de bombeo se conducirá las aguas hacia la poza existente 2A, ubicada al pie del depósito R4.

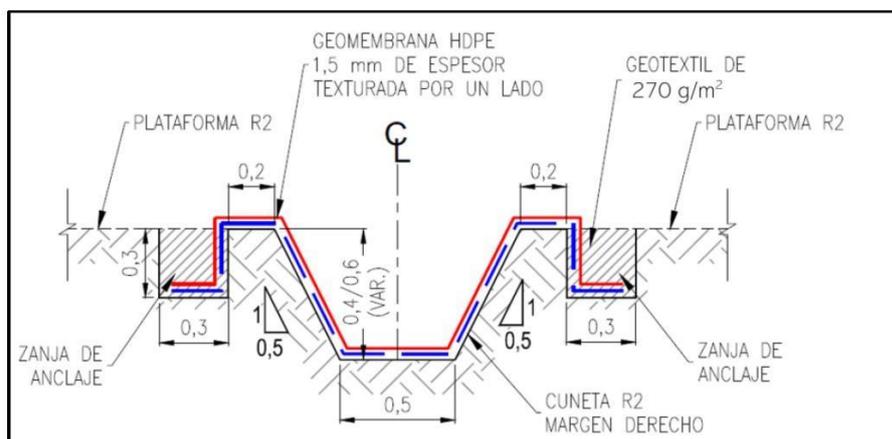
Las cunetas en R2 y R4, se diseñaron para caudales con periodo de retorno de 100 años y la sección incluido el borde libre fueron verificados para un periodo de retorno de 500 años. La sección del canal es trapezoidal con taludes laterales 0,5H:1,0V, alturas de 0,5 m; y base inferior de 0,50 m; revestidos con geomembrana de 1,5mm de espesor, texturada por un lado. Los

valores de las dimensiones de las secciones de cunetas propuestas se muestran en la tabla 12 y en la figura 28 la sección tipo de la cuneta.

Tabla 12:
Características de diseño de las cunetas en R2

Descripción	Cuneta		Descarga	
	Diseño (Tr=100años)	Verificación (Tr=500años)	Diseño (Tr=100años)	Verificación (Tr=500años)
Caudal	0,12	0,15	0,27	0,32
Tipo sección	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal
Material	Geomembrana	Geomembrana	Geomembrana	Geomembrana
Taludes	0,5H:1,0V	0,5H:1,0V	0,5H:1,0V	0,5H:1,0V
Pendiente	0,3%	0,3%	30%	30%
Tirante (m)	0,17	0,18	0,07	0,08
Borde libre (m)	0,30	0,30	0,43	0,42
Altura (m)	0,50	0,50	0,50	0,50
Base (m)	0,50	0,50	0,50	0,50

Figura 28:
La sección tipo de la cuneta



Poza en R4

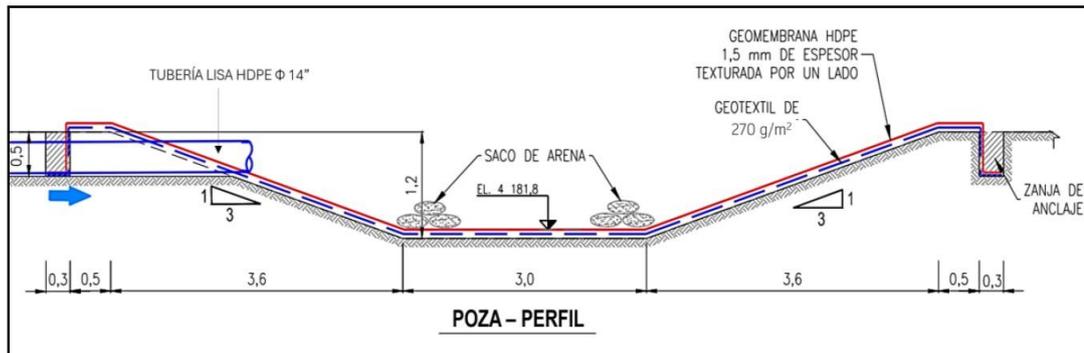
Para un adecuado manejo de las aguas de escorrentías en la superficie de R4 se ha planteado un sistema de pozas que permita una adecuada captación y descarga a través de un sistema de bombeo hacia la poza existente 2A. Se ha tomado como base la generación de caudales para un periodo de retorno de 100 años y como valor de comparación periodo de retorno de 500

años. Las características hidráulicas y las dimensiones de las pozas propuestos se muestran en la tabla 13 y en la figura 29 se muestra la sección tipo de las pozas.

Tabla 13:
Características de diseño Pozas

Descripción	Poza 2	Poza 1
Área captación (Km ²)	0,29	0,31
Caudal Tr=100 años	0,15	0,16
Caudal Tr=500años	0,17	0,18
Tubería descarga gravedad pulgadas	14 (SDR 17)	--
Pendiente de tubería descarga (%)	0,3	--
Sistema descarga	Por gravedad	Por Bombeo a poza 4A
Tipo sección de corte en poza	Trapezoidal	Trapezoidal
Material de revestimiento	Geomembrana	Geomembrana
Taludes en paredes	1,0H:1,0V	1,0H:1,0V
Base (m)	3m	5m
Tirante (m)	0,80	0,60
Borde libre (m)	0,30	0,20
Altura (m)	1,40	1,20
Capacidad (m ³)	65	25

Figura 29:
Sección tipo de pozas

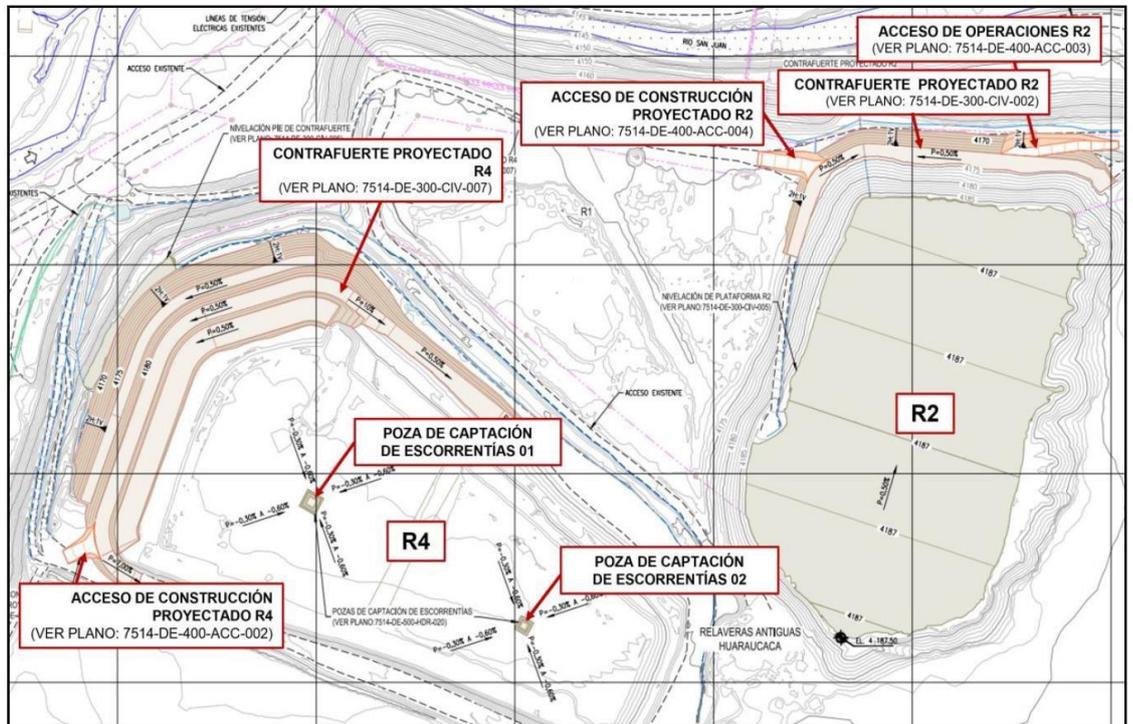


4.1.6. Diseño civil

Las obras de estabilización de los depósitos R2 y R4 han sido diseñadas tomando como referencia los criterios de diseño preparados por Lara Consulting, con datos proporcionados por SMEB al inicio del proyecto. El diseño de los depósitos R2 y R4 contempla la conformación de los accesos de construcción y operación, la conformación de los contrafuertes en R2 y R4 hasta

la cota 4 174 m s.n.m. y 4 182,5 m s.n.m., respectivamente, la construcción de cunetas de derivación y descarga, y la construcción de las pozas de captación de escorrentías en el vaso del depósito R4, (ver Figura 30).

Figura 30:
Arreglo general de instalaciones proyectadas y existentes en los Depósitos R2 y R4 (LC,2024)

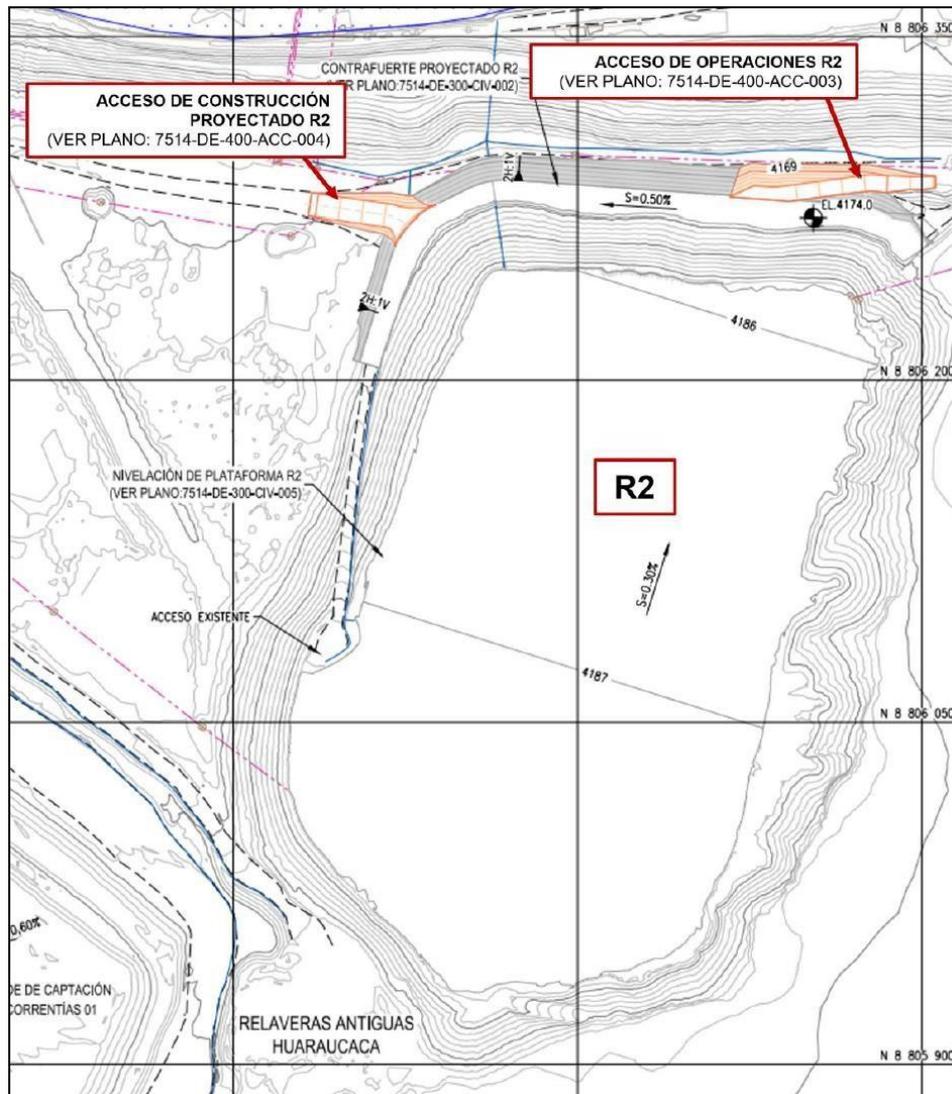


Depósito R2 Accesos de construcción y operación

Los accesos se dividen en dos: uno para la construcción y otro para la operación, ambos conformados por material de relleno común. El acceso de operación tendrá longitud de 80 m, bermas de 1 m de ancho, y talud de relleno de 1,5 H :1V. Por otro lado, el acceso de construcción tendrá longitud de 53 m, bermas de 1 m de ancho, y talud de relleno de 1,5H :1V. En el Gráfico 8.2 se presenta la vista en planta los accesos del depósito R2.

Figura 31:

Vista en planta de los accesos de construcción y operación – depósito de relaves R2



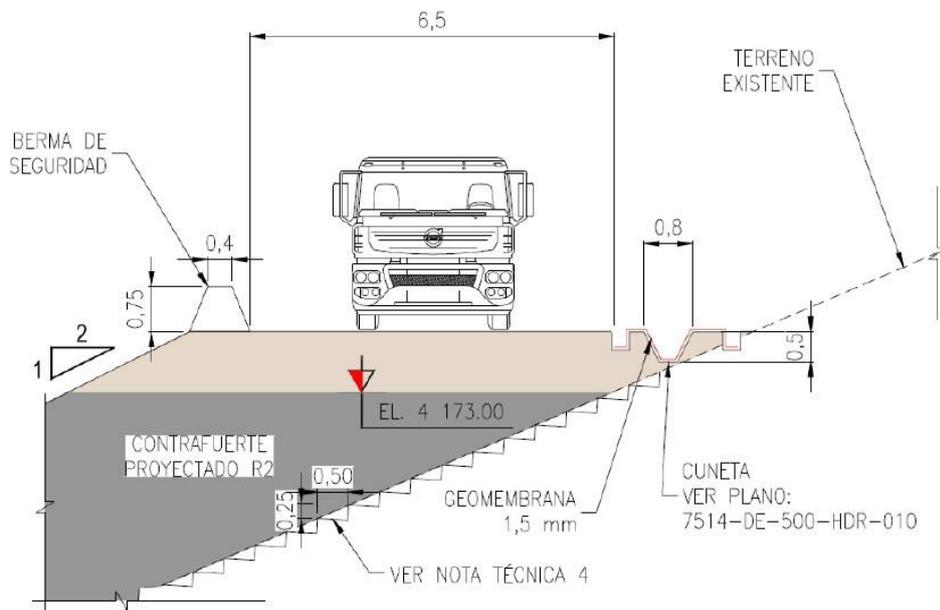
Estos accesos se emplearán durante la construcción y permanecerán operativos para el posterior monitoreo geotécnico del depósito R2.

Contrafuerte

Para la conformación del contrafuerte del depósito de relaves R2 desde la cota 4 167 m s.n.m., hasta la cota 4 175 m s.n.m., se requerirá un volumen de relleno controlado de 12 967 m³. El contrafuerte tendrá una longitud de 281 m, berma de seguridad de 1 m de ancho, taludes de relleno de 2H:1V y un ancho mínimo de 6,5 m. Los espesores de compactación del material de relleno controlado para la construcción del contrafuerte serán determinados en sitio por

medio de las pruebas “Panel Test” y deberán ser aprobados por el Ingeniero QA. En la figura 32 se presenta la sección típica de contrafuerte del depósito R2.

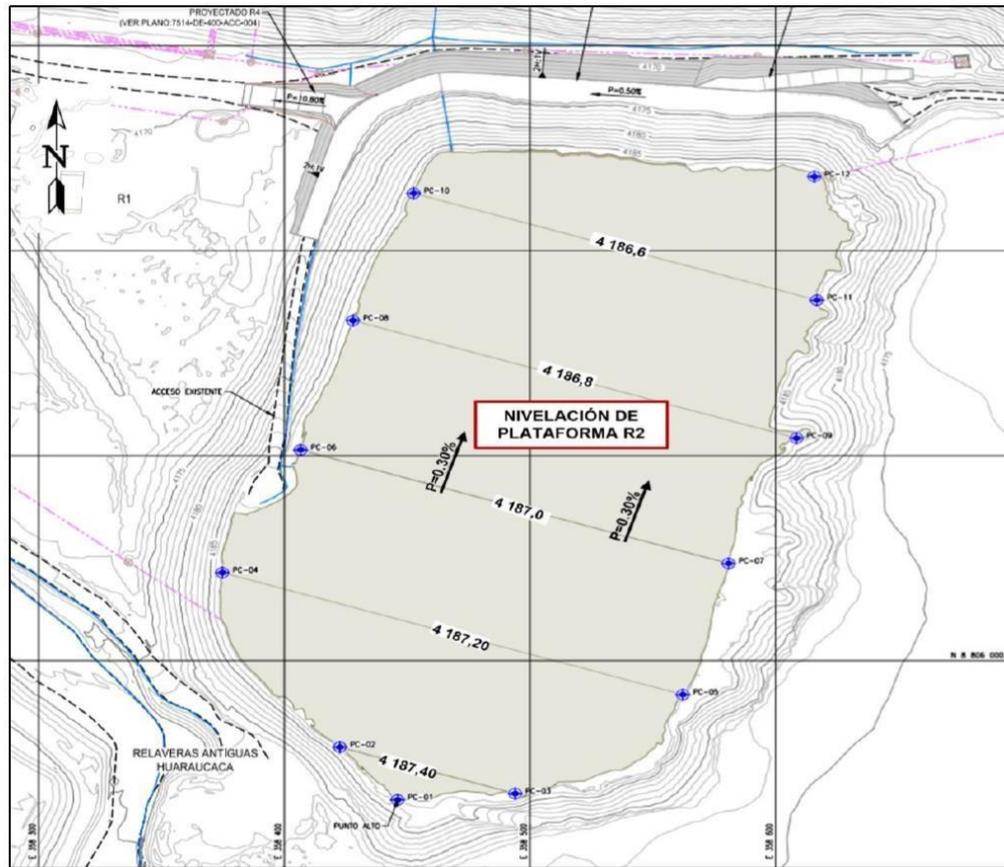
Figura 32:
Sección típica contrafuerte – depósito de relaves R2



Nivelación

La nivelación de la plataforma del depósito R2 a la cota 4 187 m s.n.m. considera un volumen de corte de 10 144 m³ y relleno de 5 893 m³. Este proceso se realizará con una pendiente descendente de 0,3% en dirección noreste hacia el coronamiento del depósito. En la figura 33 se presenta la vista en planta de la nivelación en el vaso del depósito R2

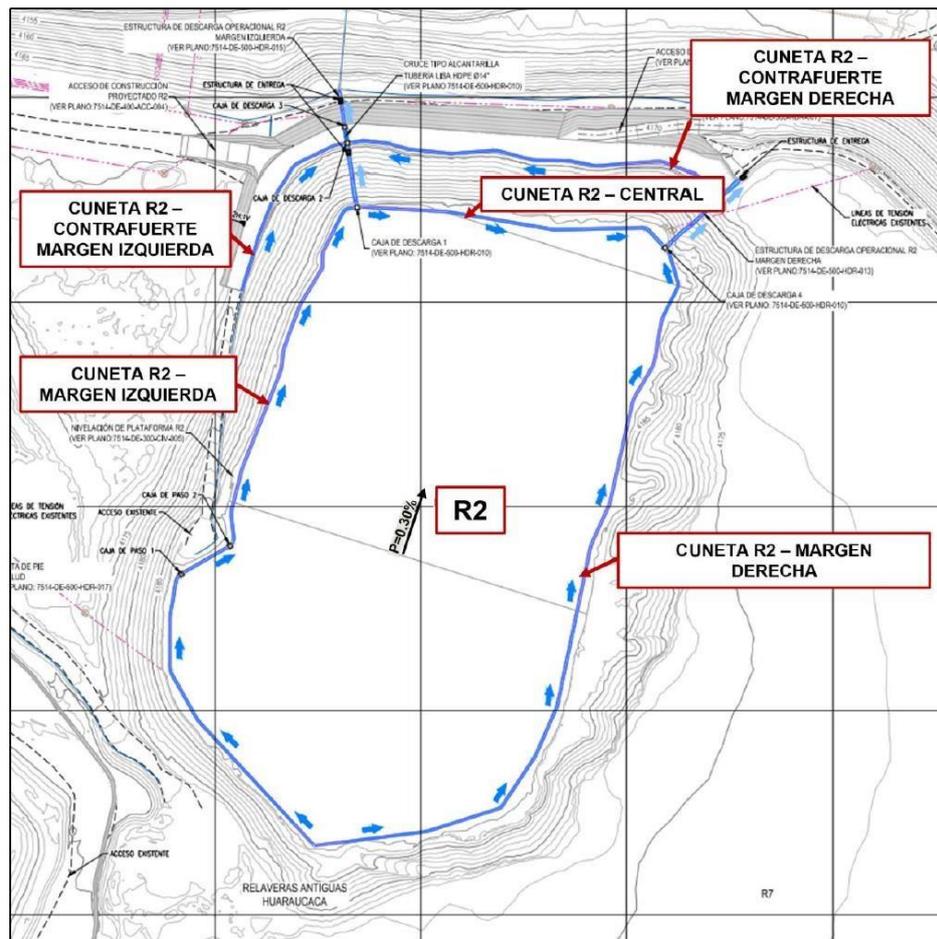
Figura 33:
Sección típica contrafuerte – depósito de relaves R2



Cunetas

El manejo de aguas de no contacto se realizará mediante un sistema de cunetas de derivación proyectadas sobre el depósito y contrafuerte del depósito R2. En la figura 34 se muestra la vista en planta de la distribución de las cunetas de derivación en el depósito R2.

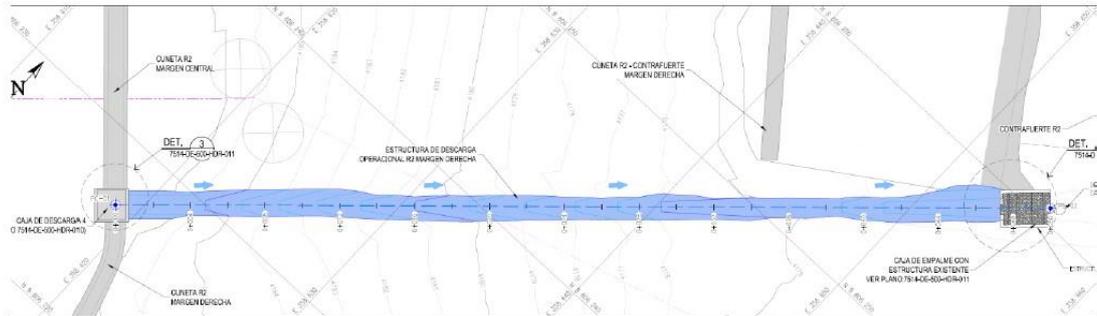
Figura 34:
Cunetas de derivación – depósito de relaves R2



Las cunetas proyectadas en el depósito R2 tienen sección típica trapezoidal, ancho de base de 0,5 m, altura de 0,4 m mínima, y taludes de 0,5H:1V (ver Figura 35). El revestimiento de las cunetas será por medio de un geotextil de 270 g/m² y geomembrana HDPE de 1,5 mm de espesor texturada por un lado, las cuales serán ancladas mediante zanjas de anclaje de 0,30 m x 0,30 m. La colocación de geotextil está sujeta a la evaluación del terreno de fundación y las condiciones de campo. El ingeniero QA aprobará la utilización del geotextil como protección de la geomembrana en las cunetas. A continuación, la figura 35 presenta la sección típica de la cuneta de derivación en el depósito R2

Figura 37:

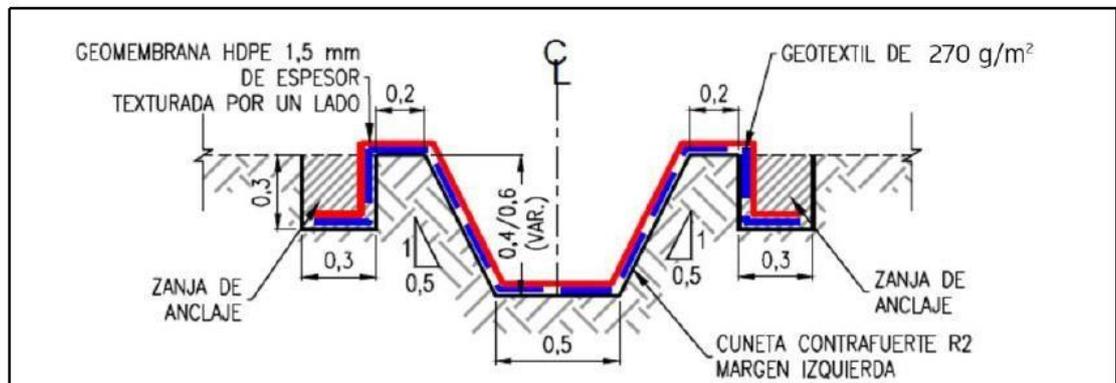
Cunetas de descarga margen derecha – depósito de relaves R2



Las cunetas de descarga tendrán ancho de base de 0,5 m, altura de 0,4 m mínimo, y taludes de 0,5H:1V. El revestimiento será por medio de un geotextil de 270 g/m² y geomembrana HDPE de 1,5 mm de espesor texturada por un lado, las cuales serán ancladas mediante zanjas de anclaje de 0,30 m x 0,30 m. La colocación de geotextil está sujeta a la evaluación del terreno de fundación y las condiciones de campo. El ingeniero QA aprobará la utilización del geotextil como protección de la geomembrana en las rápidas. A continuación, la figura 38 presenta la sección típica de la cuneta de descarga en el depósito R2.

Figura 38:

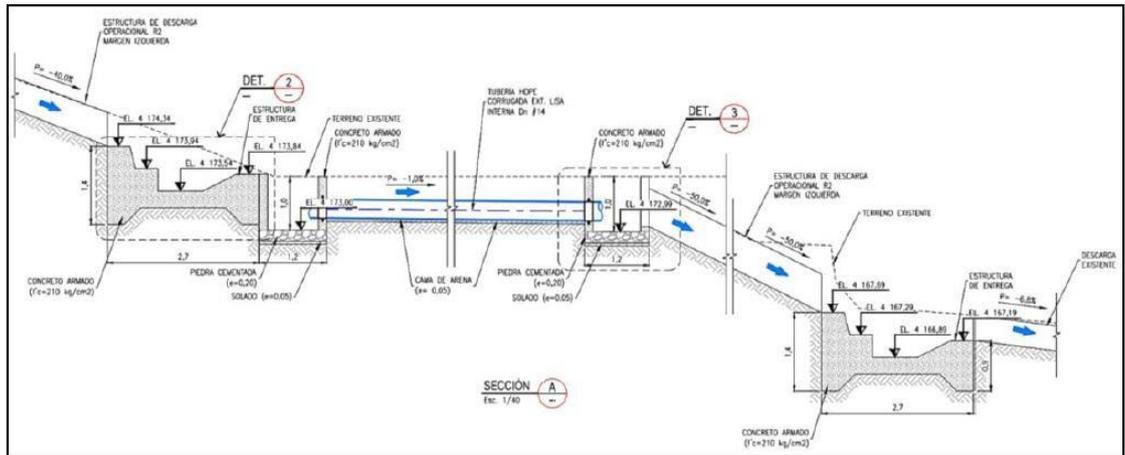
Sección tipo de cunetas de descarga – depósito de relaves R



En la margen izquierda se considera una estructura de descarga y un cruce tipo alcantarilla de tubería HDPE lisa interna de diámetro de 14" (SDR 17), para la posterior entrega al manejo de aguas existente y su descarga al río San Juan, tal como se presenta en la figura 39.

Figura 39:

Detalle de estructura de descarga operacional - margen izquierda – depósito de relaves R2



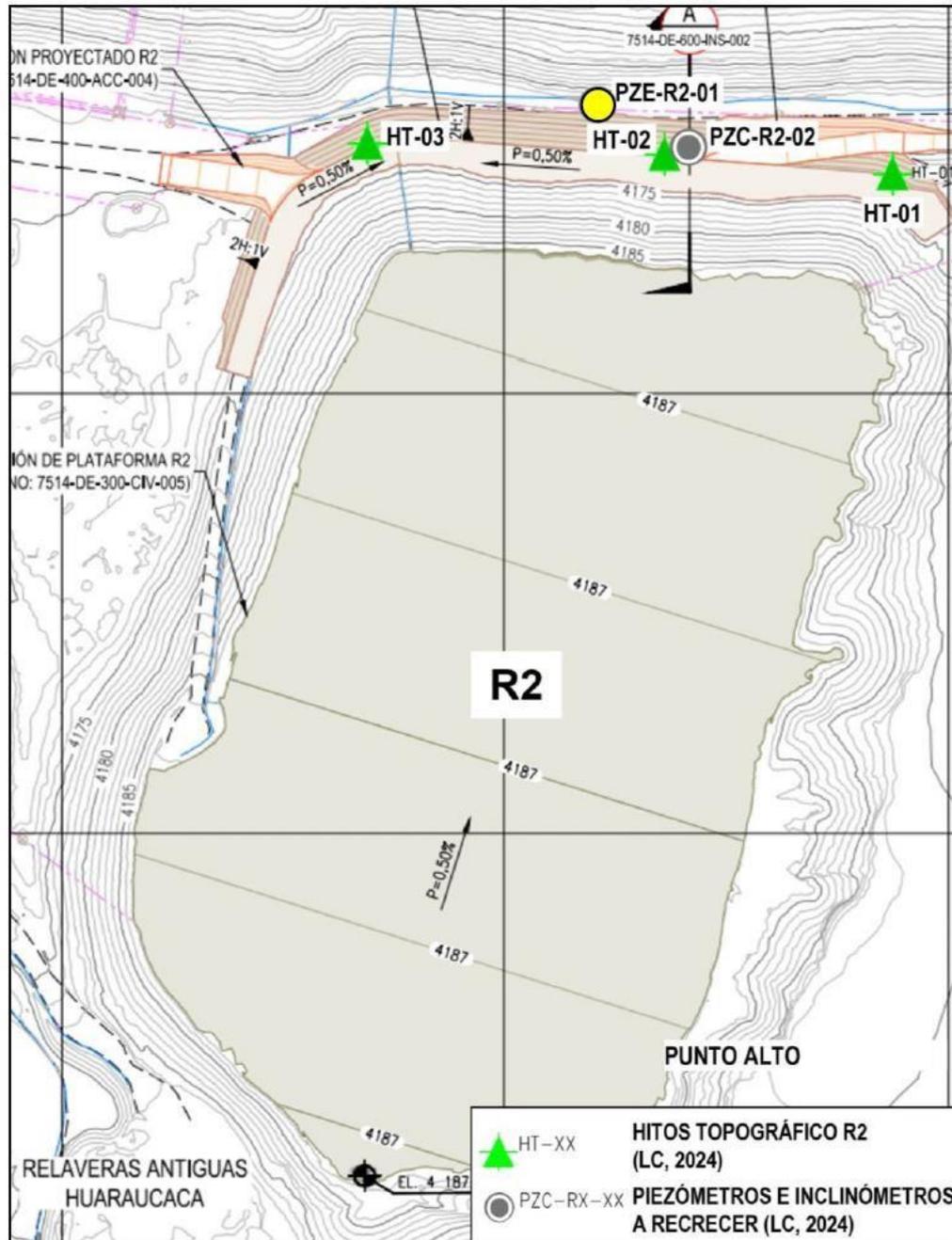
Instrumentación geotécnica

Para el monitoreo geotécnico del contrafuerte de estabilización del depósito R2 se requerirá la colocación de tres (03) hitos topográficos, con códigos del HT-01, HT-02 y HT-03. Asimismo, se ha considerado el recrecimiento del piezómetro existente Casagrande PCZ-R2-02, hasta la cota final del contrafuerte. El piezómetro de cuerda vibrante PZE-R2-01 no será afectado por el relleno del contrafuerte, por lo que deberá ser protegido durante la construcción, con el soporte del ingeniero QA.

En la figura 40 se muestra la ubicación en planta de la instrumentación geotécnica proyectada para las obras de estabilización del depósito R2.

Figura 40:

Vista en planta de la instrumentación geotécnica proyectada para las obras de estabilización del depósito R2 (LC, 2024)



Frecuencia de umbrales de monitoreo por tipo de instrumentación

Los niveles de alerta para los hitos topográficos en función al riesgo y velocidad de desplazamiento diario están definidos según el informe de estabilidad del EoR realizado por Lara Consulting (2022). A continuación, en la tabla 14 se muestran los niveles de alerta para los hitos topográficos propuestos.

Tabla 14:

Niveles de alerta en hitos topográficos propuestos del depósito de relaveras antiguas Huaraucaca (LC, 2023)

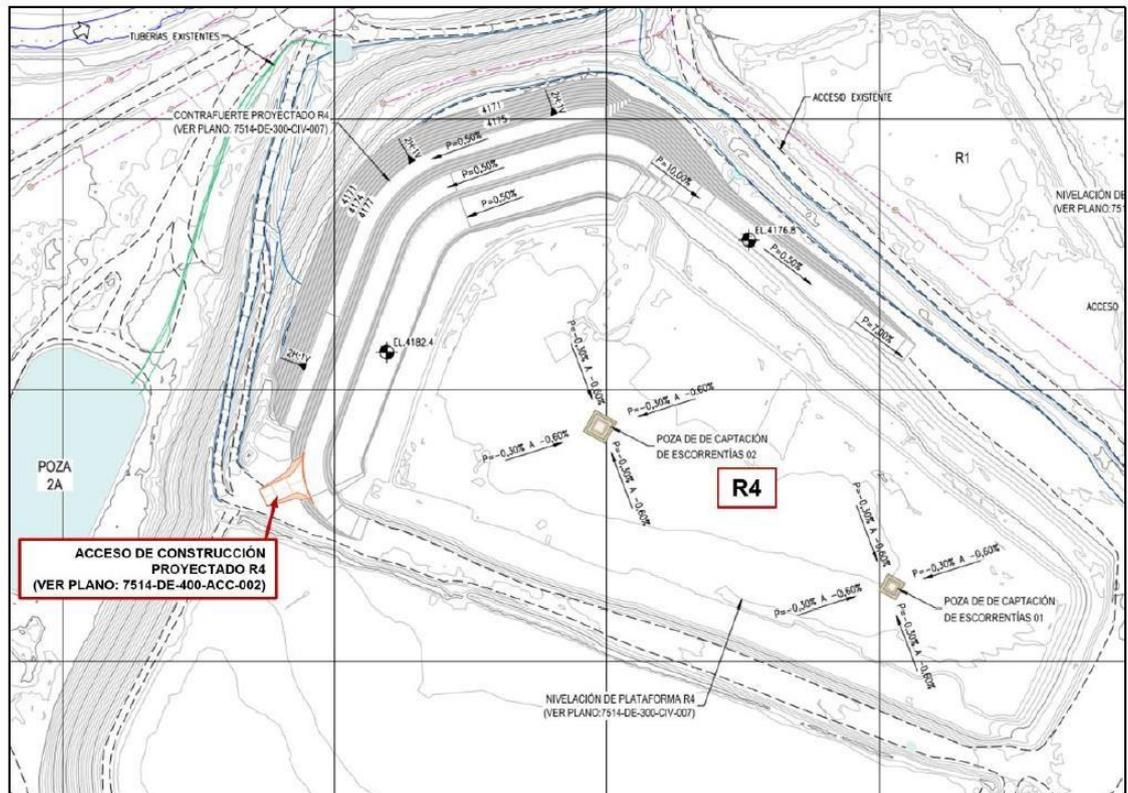
Condición	Riesgo	Velocidad de desplazamiento diario (cm/día)	Acción para Realizar
Normal	Bajo	< 0,5	El monitoreo se realiza normalmente según Manual de Operación.
Alerta	Medio	0,5 – 2,0	Inspección y monitoreo más frecuente (semanal).
Peligro	Alto	> 2,0	Retirar a personal y equipos del área. Actuar según manual de operación y el plan de contingencia de la instalación.

Depósito R4 Accesos de construcción

El acceso de construcción estará conformado por material de relleno común y tendrá una longitud de 33 m, berma de 1 m de ancho, y talud de relleno de 1,5H:1V. Este acceso se empleará durante la construcción y permanecerá operativo para el posterior monitoreo del depósito. En la figura 41 se presenta la vista en planta del acceso de construcción del depósito R4.

Figura 41:

Vista en planta del acceso de construcción – depósito de relaves R4

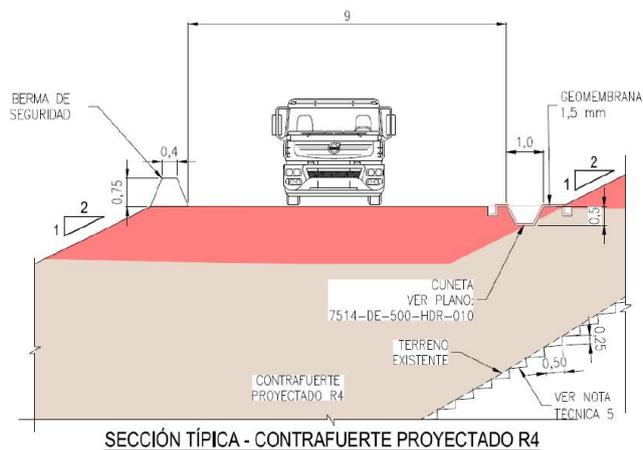


Contrafuerte

Para la conformación del contrafuerte del depósito de relaves R4 desde la cota 4 170 m s.n.m., hasta la cota 4 182,5 m s.n.m., se requerirá un volumen de relleno controlado de 94 109 m³. El contrafuerte tendrá una longitud de 540 m, y estará constituido por tres banquetas a las cotas 4 176,5 m s.n.m., 4 180 m s.n.m. y 4 182,5 m s.n.m. berma de seguridad de 1 m de ancho, taludes de relleno de 2H:1V y un ancho mínimo de 9 m. Los espesores de compactación del material de relleno controlado para la construcción del contrafuerte serán determinados en sitio por medio de las pruebas "Panel Test" y deberán ser aprobados por el Ingeniero QA. En la figura 42 se presenta la sección típica de contrafuerte del depósito R4.

Figura 42:

Sección típica contrafuerte – depósito de relaves R4

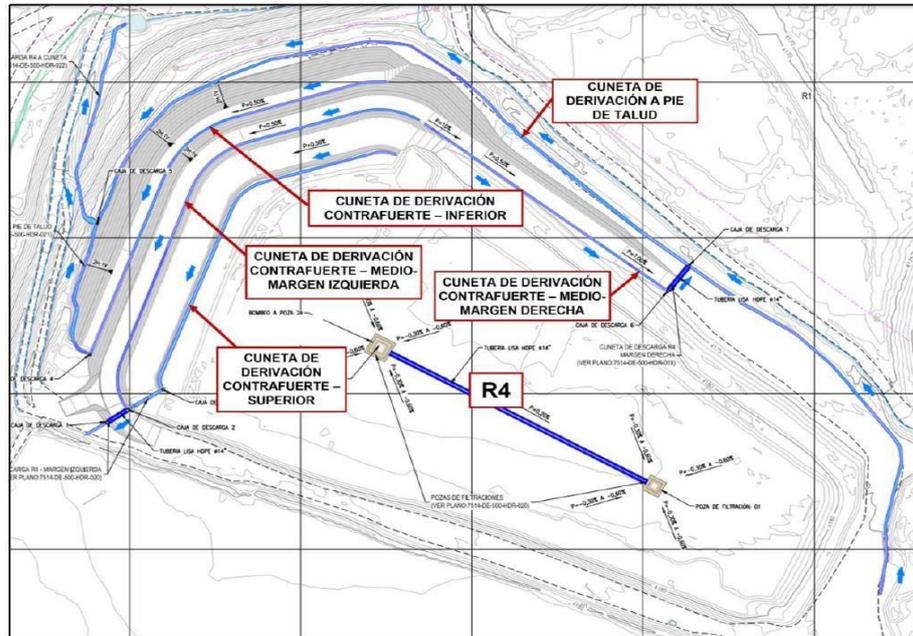


Cunetas

El manejo de aguas de no contacto se realizará mediante un sistema de cunetas de derivación proyectadas sobre el depósito y contrafuerte del depósito R4. En la figura 43 se muestra la vista en planta de la distribución de las cunetas de derivación en el depósito R4.

Figura 43:

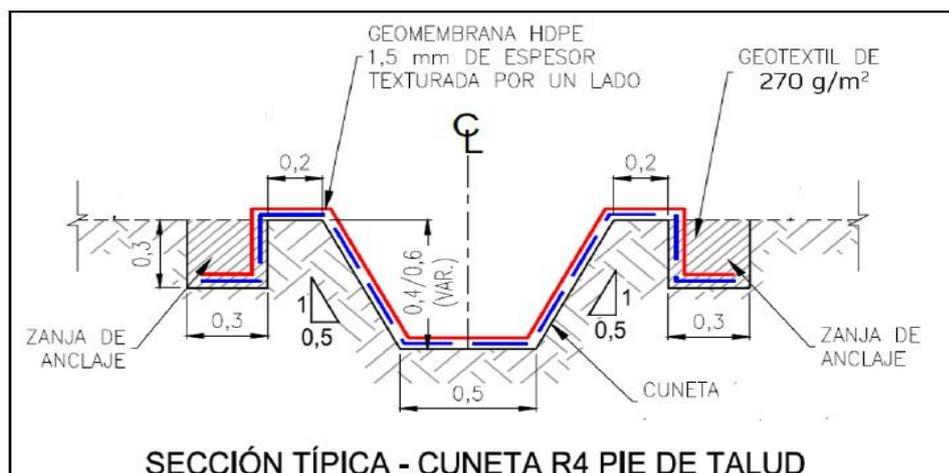
Cunetas de derivación del depósito de relaves R4



Las cunetas proyectadas en el depósito R4 tienen sección típica trapezoidal, ancho de base de 0,5 m, altura de 0,4 m mínima, y taludes de 0,5H:1V (ver Figura 44). El revestimiento de las cunetas será por medio de un geotextil de 270 g/m² y geomembrana HDPE de 1,5 mm de espesor texturada por un lado, las cuales serán ancladas mediante zanjas de anclaje de 0,30 m x 0,30 m. El ingeniero QA aprobará la utilización del geotextil como protección de la geomembrana en las cunetas.

Figura 44:

Sección tipo de cunetas de derivación – depósito de relaves R4



Rápidas

Se proyecta dos estructuras de descarga operacional de sección trapezoidal en el margen derecho e izquierdo del depósito. A continuación, En la figura 45 y Figura 46 se presenta la vista en planta de la ubicación de las estructuras de descarga margen derecha e izquierda en el depósito R4

Figura 45:

Descarga margen derecha – depósito de relaves R4

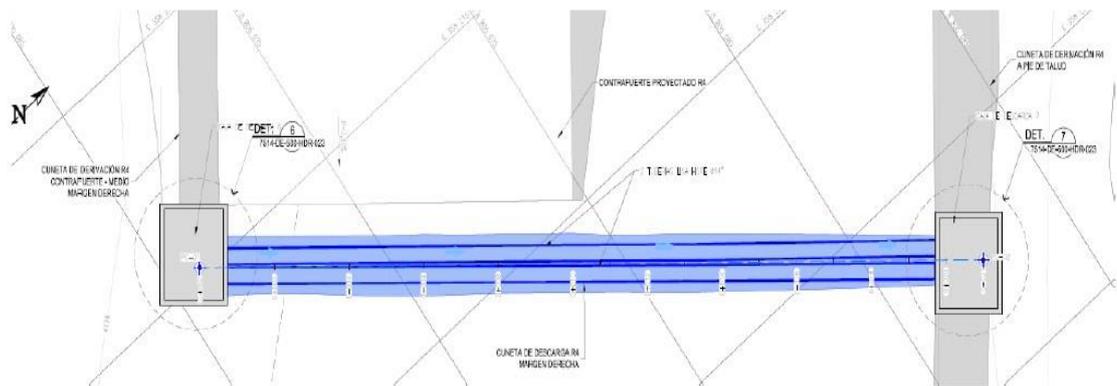
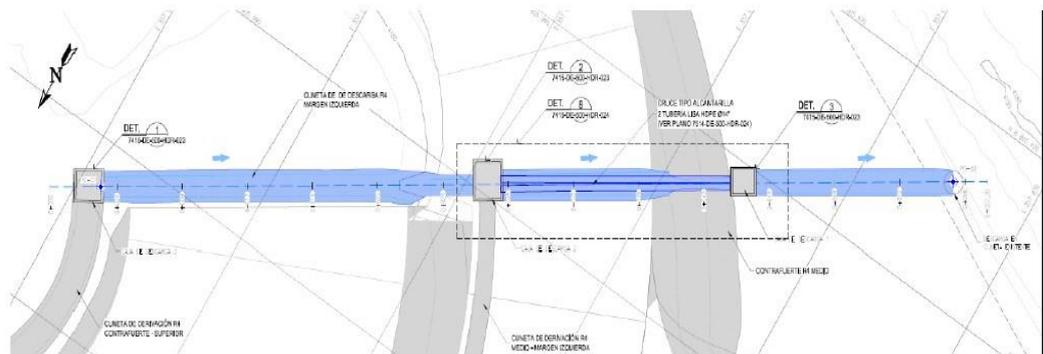


Figura 46:

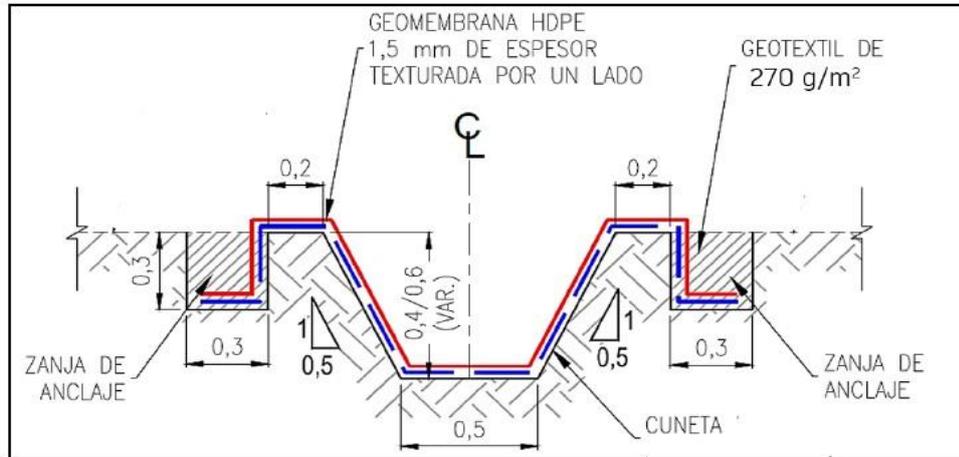
Descarga margen izquierda – depósito de relaves R4



Las cunetas de descarga tendrán ancho de base de 0,5 m, altura de 0,4 m mínimo, y taludes de 0,5H:1V. El revestimiento será por medio de un geotextil de 270 g/m² y geomembrana HDPE de 1,5 mm de espesor texturada por un lado, las cuales serán ancladas mediante zanjas de anclaje de 0,30 m x 0,30 m. El ingeniero QA aprobará la utilización del geotextil como protección de la

geomembrana en rápidas. A continuaci3n, la figura 47 presenta la secci3n típica de la cuneta de descarga en el dep3sito R4.

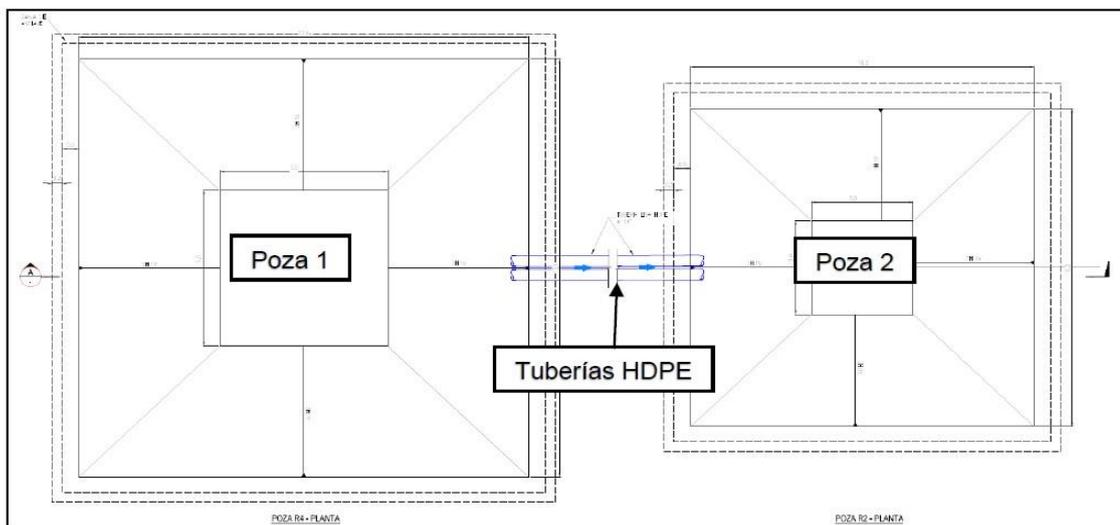
Figura 47:
Secci3n tipo de cunetas de descarga– dep3sito de relaves R4



Pozas

Para controlar las acumulaciones de agua por precipitaciones en el vaso del dep3sito de relaves R4 se ha proyectado colocar dos pozas de escorrentías, que están conectadas mediante dos tuberías HDPE lisa de 14" de diámetro (SDR 17). En la figura 48 se presenta la vista en planta de las pozas de captaci3n de escorrentía en el dep3sito R4

Figura 48:
Vista en planta de las pozas captaci3n de escorrentías – dep3sito de relaves R4



Las pozas serán revestidas con geomembrana HDPE de 1,5 mm de espesor texturada por un lado, que será colocada sobre geotextil tejido de 270 g/m² como protección a la fundación. El ingeniero QA aprobará la utilización del geotextil como protección de la geomembrana en las pozas. En la figura 49 y en la figura 50 se presenta la vista en planta de las pozas de captación de escorrentía 1 y 2, respectivamente, en el depósito R4.

Figura 49:

Vista en planta de las pozas captación de escorrentías 1 – depósito de relaves R4

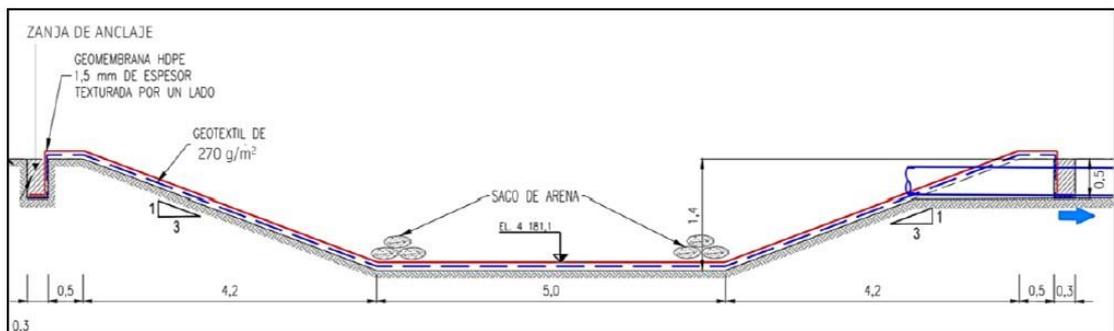
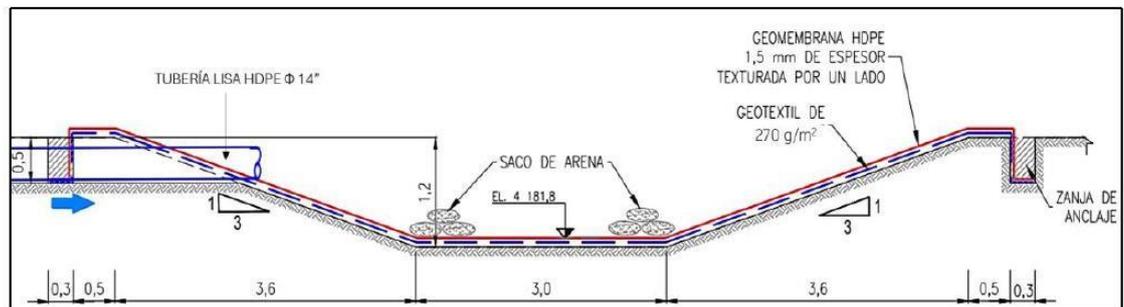


Figura 50:

Vista en planta de las pozas captación de escorrentías 2 – depósito de relaves R4



Instrumentación geotécnica

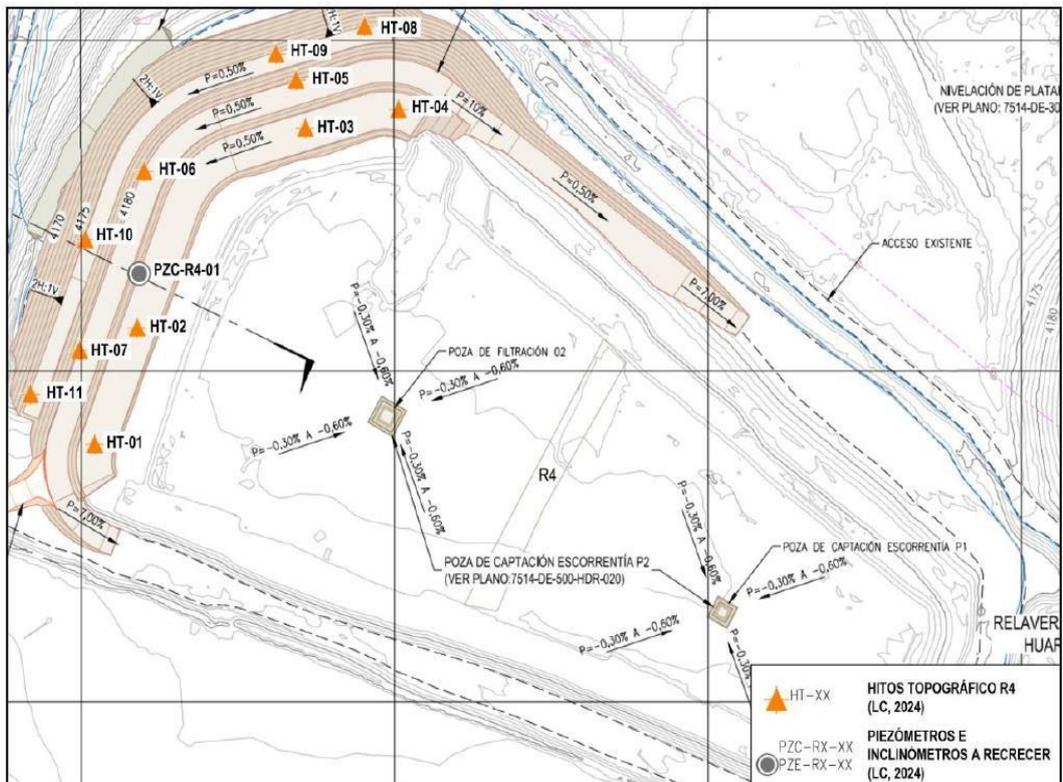
Para el monitoreo geotécnico del contrafuerte de estabilización del depósito R4 se requerirá la colocación de once (11) hitos topográficos, con códigos del HT-01, HT-02, HT-03, HT-04, HT-05, HT-06, HT-07, HT-08, HT-09, HT-10 y HT-11.

Asimismo, se ha considerado el recremento del piezómetro Casagrande PZC-R401. Los piezómetros serán protegido y adecuado a las condiciones de la obra y estará debidamente señalado.

En la figura 51 se muestra la ubicación en planta de la instrumentación geotécnica proyectada para las obras de estabilización del depósito R4.

Figura 51:

Vista en planta de la instrumentación geotécnica proyectada para las obras de estabilización del depósito R4 (LC, 2024)



Frecuencia de umbrales de monitoreo por tipo de instrumentación

Los niveles de alerta para los hitos topográficos en función al riesgo y velocidad de desplazamiento diario están definidos según el informe de estabilidad del EoR realizado por Lara Consulting (2022). A continuación, en la figura 15 se muestran los niveles de alerta para los hitos topográficos propuestos.

Figura 52:

Niveles de alerta en hitos topográficos propuestos del depósito de relaveras antiguas Huaraucaca (LC, 2023)

Condición	Riesgo	Velocidad de desplazamiento diario (cm/día)	Acción para Realizar
Normal	Bajo	< 0,5	El monitoreo se realiza normalmente según Manual de Operación.
Alerta	Medio	0,5 – 2,0	Inspección y monitoreo más frecuente (semanal).
Peligro	Alto	> 2,0	Retirar a personal y equipos del área. Actuar según manual de operación y el plan de contingencia de la instalación.

4.1.7. Plan de construcción

Actividades preliminares

Las actividades preliminares consideradas son posteriores a la asignación del contratista y las previas a las actividades de inicio de obra consisten en:

1. Afiliación de personal y equipamiento.
2. Implementación de oficinas y laboratorio de suelos.
3. Movilización de personal y equipamiento.

Estas actividades preliminares se estiman en 15 días.

Actividades de construcción

Las actividades de construcción consideradas son:

Accesos de construcción. Se utilizarán los accesos operacionales existentes en los depósitos de relaves Huaraucaca. Estos accesos se utilizarán durante la construcción y quedarán operativos para el posterior monitoreo de los depósitos de relaves R2 y R4. El material para la construcción de los accesos será proveniente de la cantera Sacrafamilia.

Preparación de rellenos. Se ha considerado que el material de relleno controlado 1 (tipo 4), relleno controlado 2 (tipo A) y relleno común (tipo 4) se traerán desde la cantera Sacrafamilia ubicada a 8,5km del área del proyecto. Por lo que, para la conformación de rellenos controlados se deberá preparar el material en obra con al menos quince días antes del inicio de las actividades de

conformación de los contrafuertes en R2 y R4. Para esta etapa se deberán desarrollar pruebas “Panel Test” para optimizar el espesor de capa en función a la granulometría de los materiales

Manejo de aguas. Se ha considerado mejorar el sistema de manejo de aguas de no contacto existente en los depósitos R2 y R4 mediante cunetas de derivación. El manejo de aguas del depósito de relaves R4, consiste en la acumulación de las lluvias en una poza en la cota 4 182 m s.n.m. y su posterior bombeo hacia la poza existente 2A, asimismo, las cunetas de derivación descargarán el flujo hacia una poza de concreto, ubicada al pie del contrafuerte de R4, luego el flujo es descargado hacia una poza existente auxiliar y su posterior bombeo hacia la poza existente 2A. El manejo de aguas del depósito de relaves R2, consiste en la construcción de cunetas perimetrales que derivan el flujo hacia una poza que se conecta a la descarga existente al pie del contrafuerte y su posterior descarga al río San Juan. Para estas actividades están previstas la ejecución de excavaciones manuales, la reparación de geomembrana de canales existente y el replanteo del trazo de canales según se indica en los planos de construcción.

Relleno del contrafuerte R2. La construcción del contrafuerte R2 se desarrollará desde la cota de fundación 4 167 m s.n.m., hasta la cota 4 174 m s.n.m., con material de relleno controlado 1 (tipo 4). Las últimas capas que se conformarán desde la cota 4 174 m s.n.m., hasta la cota 4 175 m s.n.m., se deberá utilizar relleno controlado 2 (tipo A). Estos rellenos controlados deberán ser compactadas al 95 % de la MDS del Proctor estándar y verificadas con los resultados de los ensayos de densidad in situ por reemplazo por agua, los espesores de las capas serán determinados en sitio por medio de las pruebas “Panel Test” y deberán ser aprobados por el Ingeniero QA.

Relleno del contrafuerte R4. El contrafuerte R4 está constituido por tres banquetas de estabilización a las cotas de 4 176,5 m s.n.m., 4 180 m s.n.m. y 4

182,5 m s.n.m. La construcción del contrafuerte R4 se desarrollará desde la cota de fundación 4 170 m s.n.m., hasta las cotas de 4 175,5 m.s.n.m., 4 179 m s.n.m. y 4 180,5 m s.n.m, con material de relleno controlado 1 (tipo 4). Las últimas capas que se conformarán en la banqueteta 1 desde la cota 4 175,5 m s.n.m., hasta la cota 4 176,5 m s.n.m., banqueteta 2 desde la cota 4 179 m s.n.m., hasta la cota 4 180 m s.n.m y banqueteta 3 desde la cota 4 180,5 m s.n.m., hasta la cota 4 182,5 m s.n.m., se deberán conformar con relleno controlado 2 (tipo A). Estos rellenos controlados deberán ser compactadas al 95 % de la MDS del Proctor estándar y verificadas con los resultados de los ensayos de densidad in situ por reemplazo por agua, hasta la cota 4 174 m s.n.m., luego las tres banquetetas desde el nivel 4 174 m s.n.m. hasta la cota 4 182,5 m s.n.m. deberán ser compactadas al 90% de la MDS del proctor estándar y verificadas con los resultados de los ensayos de densidad in situ por reemplazo por agua. Los espesores de las capas serán determinados en sitio por medio de las pruebas "Panel Test" y deberán ser aprobados por el Ingeniero QA.

Recrecimiento de instrumentación geotécnica. En el depósito R2 se ha considerado el recrecimiento del piezómetro existente de cuerda vibrante e inclinómetro PZE-R2-01 y el piezómetro Casagrande PCZ-R2-02, hasta la cota final del contrafuerte. Asimismo, en el contrafuerte del depósito R2 se ha considerado la instalación de tres (03) hitos topográficos HT-01, HT-02 y HT-03. Por otro lado, en el depósito R4 se ha considerado el recrecimiento del piezómetro Casagrande PCZ-R401, así como la instalación de once (11) hitos topográficos con códigos del HT-01, HT02, HT- 03, HT- 04, HT- 05, HT- 06, HT- 07, HT- 08, HT-09, HT-10 y HT-11. Los piezómetros serán protegidos y adecuados a las condiciones de la obra y estarán debidamente señalizados. Estos trabajos deberán ser realizados con una empresa especializada de instrumentación geotécnica.

Equipamiento mínimo requerido

El equipamiento mínimo requerido para la construcción de los contrafuertes R2 y R4 se estima en:

1. 10 volquetes de 20 m³ de capacidad (1 volquete de reten, así mismo la cantidad de equipos está en función de la distancia de transporte).
2. 1 excavadora CAT 330 o similar.
3. 1 camiones cisterna de 5 000 gl.
4. 2 rodillo liso de 10 t de peso estático.
5. 1 pisón compactador 5HP
6. 1 motoniveladora
7. 1 cargador frontal sobre llantas D8.
8. 1 retroexcavadora

Actividades de cierre de obra

Durante las etapas de paralización o culminación de trabajos establecido, se deberá procurar que la superficie de los contrafuertes de los depósitos R2 y R4 sean autosostenibles y queden protegidos ante la acción de las precipitaciones de lluvia y ante la acción eólica que pueda originar erosión en los taludes.

Las actividades de cierre consideradas son:

1. Entrega de obra.
2. Desinstalación de campamentos y depósitos.
3. Desmovilización de personal y campamento.
4. Entrega de dossier de calidad de la construcción.

Gestión de Construcción

La gerencia y supervisión de construcción estará a cargo de la "superintendencia de construcción de SMEB"

Figura 53:
Organigrama de la Gestión de Construcción



El Gerente de Construcción tiene la función de facilitador/coordinador de comunicaciones para el proyecto, iniciación de la pre-construcción y resolución de reuniones. Como coordinador de comunicaciones, el Gerente de Construcción promoverá el enlace entre todas las partes involucradas en el proyecto para permitir la fluidez en el proceso de comunicación.

La Supervisión de Construcción será el representante autorizado por SMEB, responsable de la supervisión y control de la construcción en campo de acuerdo con lo señalado en planos y especificaciones. El Gerente de Construcción y el Supervisor de la Construcción serán responsables de la resolución de todo problema de aseguramiento de calidad.

El Aseguramiento de Calidad de la Construcción estará a cargo del Gerente de CQA, quien es la persona responsable ante SMEB de las coordinaciones de las actividades de CQA para el proyecto. El Gerente CQA realizará en forma permanente las coordinaciones con SMEB y conocerá todas las actividades relativas a los trabajos de Aseguramiento a través del Representante de SMEB para la gestión oportuna de toda solicitud requerida por el Gerente de Construcción y/o SMEB. El Gerente CQA emitirá finalmente el Informe As Built o "Como Construido" de la Obra. El Gerente CQA será designado por SMEB.

4.1.8. Costos y presupuestos

Para la estimación de costos se ha considerado lo siguiente:

- La construcción será por una empresa contratista con experiencia en obras similares.
- La estructura de costos de capital (CAPEX) considera: Costos directos + Costos indirectos +20% por contingencias.
- Las cantidades mostradas son netas y se ha aplicado factor de incremento de 15% y 25% para las partidas con mayor incidencia e incertidumbre.
- Los precios unitarios de las partidas de movimiento de tierra y rellenos han sido determinadas para el presente estudio.
- El nivel de ingeniería desarrollado es a nivel de ingeniería de detalle, lo que ha permitido alcanzar un estimado de costos con una aproximación de $\pm 20\%$.

Los principales componentes del estudio que son: Obras preliminares, Estabilización la relavera R2, Manejo de aguas del depósito R2, estabilización para la relavera R4 y manejo de aguas de contacto del depósito de relaves R4 para la "Ingeniería de detalle para la estabilización de los depósitos R2 y R4".

Costo de Capital (CAPEX)

El costo de capital incluye los costos directos, costos indirectos y contingencia.

Costos Directos

Los costos directos incluyen los costos de limpieza, movilización del personal y del equipo, mano de obra, maquinaria, materiales de construcción para las distintas obras. Para la determinación del costo directo se consideró las cantidades y costos unitarios de las partidas de construcción.

La Tabla 16 muestra el resumen de los costos directos.

Tabla 15:

Resumen del Costo Directo – Depósitos de relaves R2 y R4

Descripción	Costo de Inversión (M-USD)
Obras Preliminares	0,08
Estabilización para la Relavera R2	0,32
Manejo de aguas depósito de relaves R2	0,10
Estabilización para la Relavera R4	1,11
Manejo de aguas de contacto del depósito de relaves R4	0,13
TOTAL	1,74

Costos Indirectos

Se ha considerado los siguientes costos indirectos:

- Gastos generales, 23% del total del costo directo.
- Utilidades, 10% del total del costo directo.
- Gerenciamiento de la Construcción y Aseguramiento de la Calidad de la Construcción (CQA)
- Los costos que no están considerados, si los hubiese, son los siguientes:
 - Compra de terrenos de terceros.
 - Construcción y habilitación de depósitos de material excedente.
 - Caminos de acceso al proyecto.
 - Regalías y licencias de los materiales de préstamo.
 - Costos financieros del propietario.
 - Obligaciones regulatorias de tipo ambiental, social y arqueológico.
 - Otros seguros y obligaciones del propietario.
 - Costo de depreciación del propietario.
 - Costos legales.
 - Otros impuestos y obligaciones, de ser aplicables.
 - Costos administrativos del propietario.

Costo Total

El Costo Total CAPEX de la Ingeniería de detalle para la estabilización de los depósitos R2 y R4 es de 2,76 M-USD\$ con una estimación de costos de $\pm 10\%$. El resumen del costo capital se presenta en la Tabla 17 y En la figura 52.

Tabla 16:

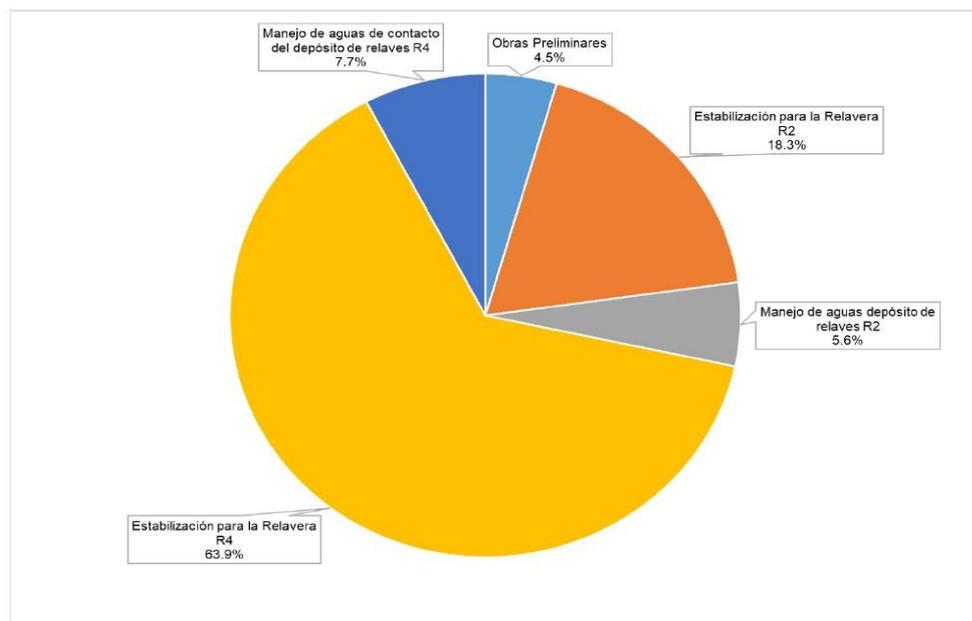
Depósitos de relaves R2 y R4 - Resumen del Costo de Capital (CAPEX)

Descripción	Costo de Inversión (M-USD\$)
Costo Directo (CD)	1,74
Costo Indirecto (CI)	0,77
Contingencia	0,25
Costo Total (CAPEX)	2,76

Estos costos son referenciales y los costos finales serán los propuestos por el contratista a cargo de la obra.

Figura 54:

Distribución en porcentaje del presupuesto para los depósitos de relaves R2 y R4



4.1.9. Cronograma de ejecución

Se estima que el tiempo de ejecución de obras para la “Ingeniería de detalle para la estabilización de los depósitos R2 y R4” es 180 días. El

cronograma de ejecución del proyecto (Explodrilling, 2021) (ZER, 2019) incluye las siguientes actividades:

- Obras preliminares, incluye movilización y desmovilización.
- Estabilización para la Relavera R2.
- Manejo de aguas depósito de relaves R2.
- Estabilización para la Relavera R4.
- Manejo de aguas de contacto del depósito de relaves R4.

Para lograr cumplir con el cronograma, se deberá considerar que para iniciar la obra se debe contar con lo siguiente:

- Licitación de construcción de todas las partidas.
- Movilización y desmovilización del personal y equipos.
- Campamentos instalados proporcionados por SMEB.
- Almacenes habilitados proporcionados por SMEB.
- Suministro de materiales.
- Se estima por lo menos un frente de trabajo para las excavaciones y rellenos respectivos.

Se considera trabajar en un turno principalmente en las partidas de corte, esto dependerá del planeamiento de SMEB.

El cronograma es referencial, el plan de ejecución a seguir y el cronograma final será el realizado por el contratista a cargo con aprobación de SMEB.

4.2. Discusión de resultados

La investigación llevada a cabo sobre ESTABILIZACION DE LOS DEPOSITOS DE RELAVES R2, R4 MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE CONTRAFUERTE Y MANEJO DE AGUA DE NO CONTACTO EN LA UNIDAD MINERA COLQUIJIRCA ha evaluado la estabilidad física de los depósitos de relaves antiguos Huaracaca según las recomendaciones de la "Guía ambiental

de cierre de minas” (MINEM, 1997); considerando un periodo de retorno de 475 años ($PGA=0,30g$), y precipitaciones de periodo de retorno de 100 años ($P =65$ mm). En esta investigación se ha determinado que los depósitos R2 y R4 requieren contrafuertes al pie de los depósitos para mejorar la estabilidad física de estos y la construcción de cunetas perimetrales para mejorar el sistema de captación de aguas y con ello, cumplir con la guía del MINEM (1997).

4.2.1. Criterios de diseño

Los criterios de diseño son las directrices que se deben seguir para realizar la Ingeniería de detalle para la estabilización de los depósitos R2 y R4.

Siendo estos lo siguiente:

1. La estabilización de las relaveras R2 y R4 de Huaraucaca debe considerar las normativas locales del MINEM (1997) y las buenas prácticas de ingeniería para este tipo de obra.
2. Instalaciones estables para condiciones sísmicas y precipitaciones de acuerdo con guía del MINEM (1997).
3. La instalación debe ser hidrológicamente estable, es decir debe: a) manejar las aguas de contacto y no contacto a través de infraestructuras separadas, y b) no impactar cuerpos de agua de no contacto.

4.2.2. Diseños geotécnicos

La figura 54, muestra la ubicación de las secciones críticas 1, 2 y 3 para el análisis de estabilidad de los depósitos R4 y R2 en condición actual y estabilizada.

Figura 55:

a) Sección 1 y Sección 2 de análisis del depósito de relaves R4 b) Sección 3 de análisis del depósito de relaves R2 – UM Colquijirca



Los resultados del análisis de estabilidad se presentan en la tabla 18 de los depósitos R4 y R2 para las secciones 1, 2 y 3.

Tabla 17:

Resultados del análisis de estabilidad de los depósitos de relaves R4 y R2

Sección	Condición	Circulo de Falla	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo estático falla local (Cs=0,15)
Sección 1 (Depósito R4)	Actual	Local	2,28	0,71
		Global	>2,28	0,75
	Estabilizada	Local	2,58	1,02
		Global	>2,58	1,00
Sección 2 (Depósito R4)	Actual	Local	2,85	0,87
	Estabilizada	Global	3,77	1,04
Sección 3 (Depósito R2)	Actual	Local	1,89	0,98
		Global	>1,89	0,95
	Estabilizada	Local	1,94	1,07
		Global	>1,94	1,01

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 18 para la condición de estabilización con los contrafuertes de los depósitos R4 y R2, los factores de seguridad obtenidos en condición estática y pseudo estática

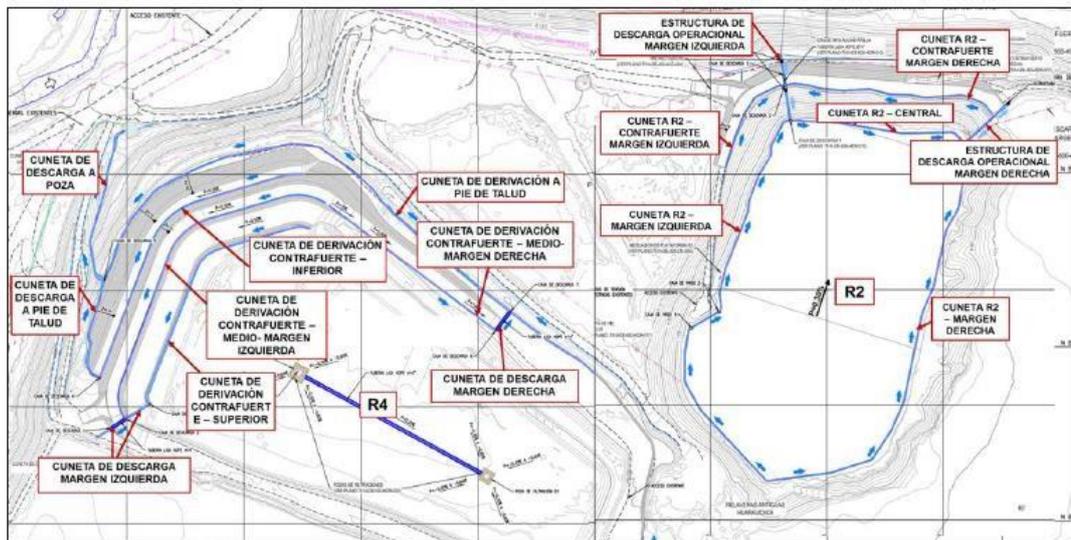
cumplen con los mínimos factores de seguridad requeridos (F.S. > 1.5 estático y F.S. > 1 pseudo estático), según la guía del MINEM (1997).

4.2.3. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico para las relaveras R2 y R4 consisten en un sistema de cunetas y descargas que deriven las posibles acumulaciones de agua en las plataformas y las descarguen hacia el río San Juan y la poza 2A, en el depósito R2 y R4, respectivamente. En la figura 55 se muestra el esquema de las estructuras hidráulicas consideradas como parte del diseño, y el direccionamiento del flujo sobre los depósitos de relaves, que para el depósito de relaves R2 descarga el río San Juan y el depósito R4 descargan hacia la poza 2A.

Figura 56:

Manejo de aguas en los depósitos de relaves R4 y R2



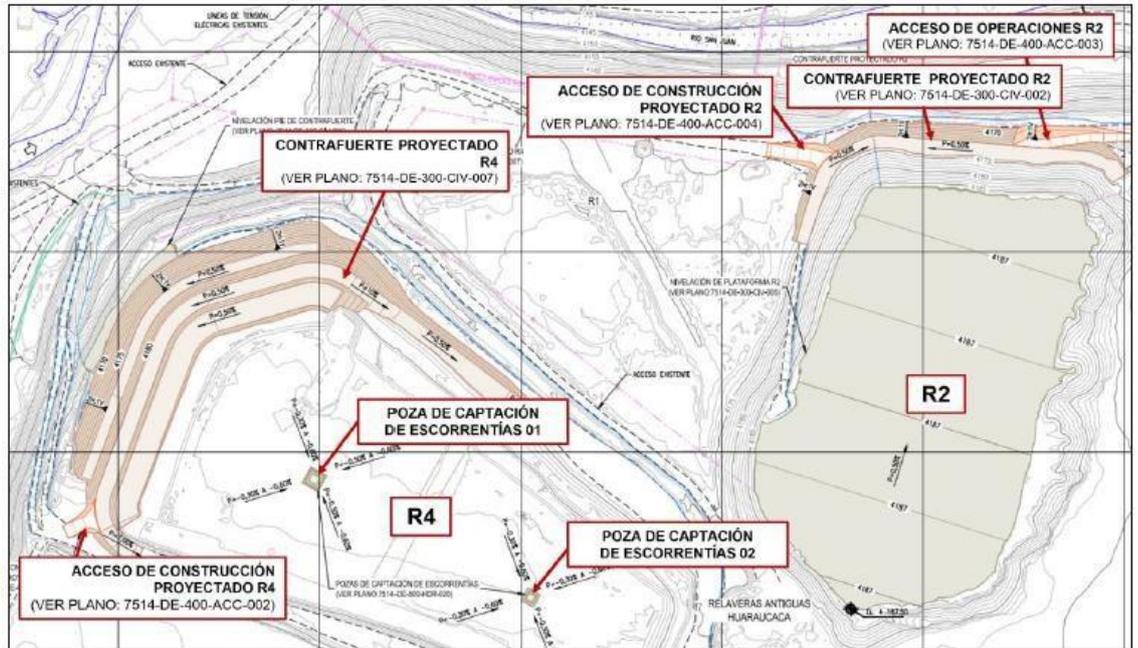
4.2.4. Diseño civil

Las obras de estabilización de los depósitos R2 y R4 han sido diseñadas tomando como referencia los criterios de diseño preparados por Lara Consulting, con datos proporcionados por SMEB al inicio del proyecto. El diseño de los depósitos R2 y R4 contempla la conformación de los accesos de construcción y operación, la conformación de los contrafuertes en R2 y R4 hasta

la cota 4 174 m s.n.m. y 4 182,5 m s.n.m., respectivamente, la construcción de cunetas de derivación y descarga, y la construcción de las pozas de captación de escorrentías en el vaso del depósito R4, (ver figura 56).

Figura 57:

Arreglo general de instalaciones proyectadas y existentes en los Depósitos R2 y R4 (LC,2024)



4.2.5. Estimación de costos y presupuestos

El costo de capital incluye los costos directos, costos indirectos y contingencia. Los costos directos han sido utilizados según la información proporcionada por SMEB.

Costos Directos

Los costos directos incluyen los costos del personal y del equipo, mano de obra, maquinaria, materiales de construcción para las distintas obras.

La tabla 19 muestra el resumen de los costos directos.

Tabla 18:**Resumen del Costo Directo – Depósito de Relaves R2 y R4**

Descripción	Costo de inversión (M-USD\$)
Obras Preliminares	0,08
Estabilización para la Relavera R2	0,32
Manejo de aguas depósito de relaves R2	0,10
Estabilización para la Relavera R4	1,11
Manejo de aguas de contacto del depósito de relaves R4	0,13
TOTAL	1,74

Costos Totales

El Costo total CAPEX del proyecto del Estabilización de los depósitos R2 y R4 es de 2,76 M-USD, con una estimación de costos de $\pm 10\%$. El resumen del costo capital se presenta en la tabla 20

Tabla 19:**Resumen del Costo de Capital (CAPEX) – Depósito de Relaves R2 y R4**

Descripción	Costo de Inversión (M-USD\$)
Costo Directo (CD)	1,74
Costo Indirecto (CI)	0,77
Contingencia	0,25
Costo Total (CAPEX)	2,76

4.2.6. Cronograma de ejecución

El tiempo estimado para la construcción de la estabilización de los depósitos R2 y R4 es de aproximadamente 6 meses, o equivalente a 180 días calendario. Los días laborables se consideran de lunes a domingo. El cronograma es referencial, el plan de ejecución a seguir y el cronograma final será realizado por el contratista a cargo con aprobación de SMEB.

CONCLUSION

1. Las consideraciones que se debe tener en cuenta en la estabilización de los depósitos de relaves R2, R4 son: Condiciones geotécnicas, Condiciones hidrológicas, Condiciones sísmicas, hidráulicas, Análisis de estabilidad, diseño civil, Manejo de aguas
2. Las condiciones para el diseño geotécnico considerando la condición de estabilización mediante la construcción de los contrafuertes de los depósitos R4 y R2 a las cotas 4 175 m s.n.m. y 4 182 m s.n.m., respectivamente. los factores de seguridad obtenidos en condición estática y pseudo estática cumplen con los mínimos factores de seguridad requeridos (F.S. > 1.5 estático y F.S. > 1 pseudo estático), según la guía del MINEM (1997).
3. Para el diseño de obras hidráulicas se plantea como parte de la Ingeniería de detalle para la estabilización de los depósitos de relave R2 y R4, etapa de operación, desarrollar un sistema de cunetas para cada depósito, que captarán y descargarán el flujo de escorrentía superficial hacia el Río San Juan en el caso del depósito R2 y hacia la poza 2A en el caso del depósito R4.
4. En el diseño civil Las obras de estabilización de los depósitos R2 y R4 han sido diseñadas contemplando la conformación de los accesos de construcción y operación, la conformación de los contrafuertes en R2 y R4 hasta la cota 4 174 m s.n.m. y 4 182,5 m s.n.m., respectivamente, la construcción de cunetas de derivación y descarga, y la construcción de las pozas de captación de escorrentías en el vaso del depósito R4.

RECOMENDACIONES

1. Las propiedades geotécnicas de los materiales de préstamo para la construcción de rellenos controlados (contrafuerte R2 y contrafuerte R4) deberán ser comprobadas y sustentadas por ensayos de laboratorio, como ensayos de clasificación SUCS, triaxiales en condiciones no drenadas (CU), no deberán ser heterogéneos y los ciclos de compactación deberán ser confirmados con pruebas "Panel Test".
2. Los volúmenes de materiales han sido estimados en gabinete, por lo que, deberá realizar pruebas de colocación de rellenos para verificar los factores de esponjamiento y compactación y revalorar los volúmenes necesarios para el desarrollo de la obra.
3. La modificación de las estructuras diseñadas deberá ser aprobadas previamente.

BIBLIOGRAFÍA

- AMPHOS. (2021). *Estudio hidrológico detallado del depósito de relaves Huachuacaja.*
- Asociación de Minería de Canadá. (2019). *Manejo de Depósitos de relaves.* Canadá.
- Baena, G. (2014). *Metodología de la investigación.* Grupo Editorial Patria.
- BAENA, G. (2017). Metodología de la investigación. En G. E. PATRIA (Ed.).
- BERNAL, C. (2010). *Metodología de la investigación* (Tercera edición ed.). (P. Educación, Ed.)
- BERNAL, C. (2010). *Metodología de la investigación, tercera edición.* Pearson Educación de Colombia Ltda.
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería.* DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS MINERALES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS, Universidad Politécnica de Madrid.
- DOMINGUEZ, L. (2021). *Elaboración del documento técnico para el desarrollo del plan de minado en el inicio de actividades de exploración y explotación en la Concesión Minera Manjar 15 2020 - Cajamarca, 2021.* [tesis de licenciamiento Universidad Continental] repositorio Institucional Universidad Continental, Cajamarca -Peru.
- Explodrilling. (2021). *Investigaciones geotécnicas del depósito de relaves Huaraucaca.*
- Granero y Ferrando, J. (s/f). *Como implantar un sistema de gestión ambiental según la norma ISO 14001:2004.*
- Hernández ; Fernández; Baptista, R. (2014). *Metodología de la investigación, sexta edición.* McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, R. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edición ed.). (M. e. S.A., Ed.)
- INFANTE, J. (2018). *PROPUESTA DE PLANEAMIENTO MINERO Y LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN CORTE Y RELLENO*

ASCENDENTE EN EL PROYECTO ESPERANZA DEL DISTRITO DE OROPESA REGIÓN APURÍMAC - 2018. [tesis de licenciamento Universidad Alas Peruanas] repositorio institucional Universidad Alas Peruanas, Cajamarca -Peru.

Lara Consulting. (2023). *Estudio Geotécnico Integral para la estabilización de los depósitos de relaves R1-R2-R4-R6-R7 de Huaraucaca.*

LLANOS, D. (2019). *SISTEMA DE INFORMACION DE ALERTAS DE ESTABILIDAD FISICA EN DIQUES DE RELAVE.* [tesis de licenciamento Universidad de Lima] repositorio institucional Universidad de Lima, Lima-Peru.

MINEM. (1997). *Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina – Ministerio de Energía y Minas.*

Ministerio de Energía y Minas (MEM). (1997). *Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina .*

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM). (2000). *Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros .*

Ministerio del ambiente. (2014). *Anuario de estadísticas ambientales 2014.*

Ministerio del ambiente. (2016). *Guía del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.*

PACHECO, B. (2021). [*"Análisis de estabilidad del dique en el depósito de relave de la miera Sansil primera etapa , año 2018"*]. [tesis de licenciamento Universidad Peruana los Andes] repositorio institucional Universidad Peruana los Andes, Huancayo - Peru.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO. (2018). *Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes.*

QUISPE, L. (2021). *“ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVE 1-2, EN UNA UNIDAD MINERA, HUANCVELICA, 2021”.*

[tesis de licenciamiento Universidad Privada del Norte] repositorio institucional Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Peru.

SANCHEZ, L. (2022). *EVALUACION DEL CICLO DE MINADO PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA AQUIA - MAGISTRAL DE HUARAZ S.A.C -2022.*

[tesis de licenciamiento Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo"] repositorio institucional Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz - Peru.

SUAREZ, M. (2019). *Diseño de dique medelando la estabilidad del talud con tratamiento de relave en la Unidad Minera Mahr Tunel N° 6 Volcan S.A.A. , Yauli - La Oroya , 2018.* [tesis de licenciamiento Universidad Continental] repositorio de la Universidad Continental, Huancayo Peru.

TASAYCO, E. (2020). *“EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO DEL RELAVE EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE LA MINERA AURIFERA 04 DE ENERO S.A. (MACDESA) – AREQUIPA 2020”.* [tesis de licenciamiento Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion] repositorio institucional Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion, Huacho - Peru.

TOMATEO, J. (2023). *“Evaluación de los criterios de diseño para garantizar la estabilidad física para el cierre del depósito de relave Huaybillo de la Unidad*

Minera el Cofre ”. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga] repositorio institucional Universidad nacional de San Cristobal de Huamanga, Ayacucho - Peru.

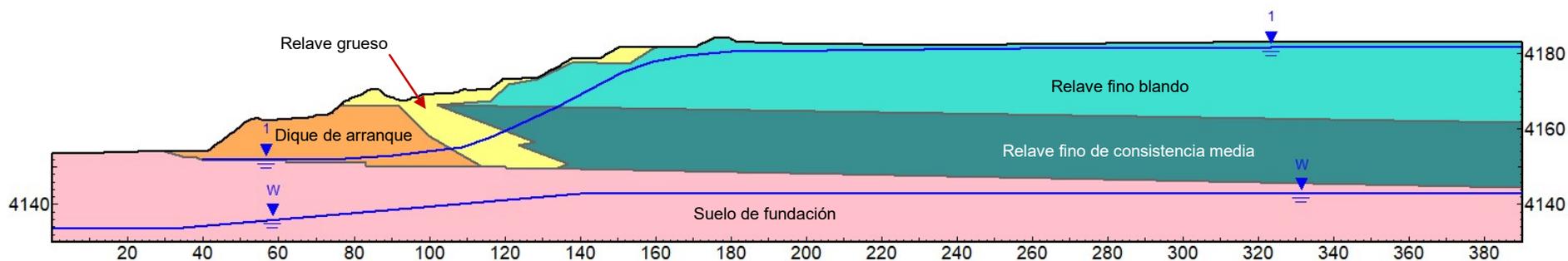
ZER . (2019). *Estudio de peligro sísmico para la Unidad Minera El Brocal – Rev.0 – ZER Geosystem Perú S.A.C.*

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

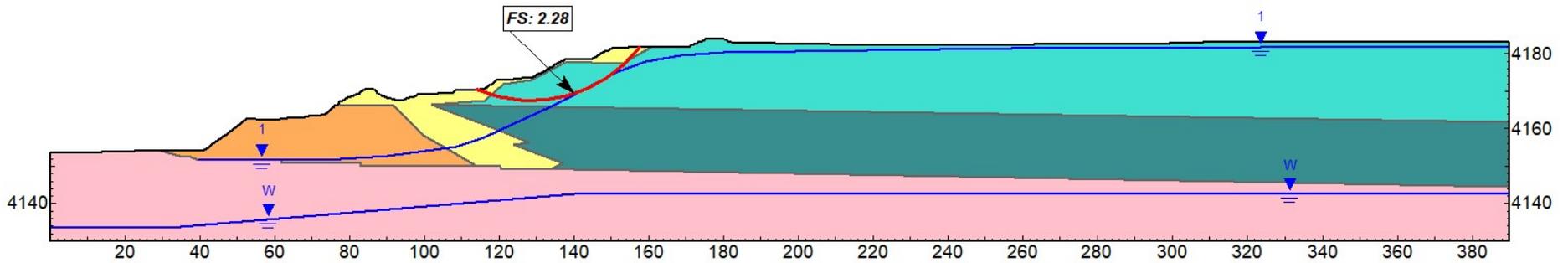
ANEXO A

Material Name	Color
Dique de arranque	Orange
Relave grueso	Yellow
Relave fino blando	Cyan
Relave fino de consistencia media	Dark Cyan
Suelo de fundación	Pink



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4					
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 - SECCIÓN 1 – CONDICIÓN ACTUAL					
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	REVISADO	APROBADO					
	E. Pariona	J. Anaya	M. Díaz	PROYECTO N°	FECHA	ESCALA	REVISIÓN	LÁMINA
	W51-2023-D02-7514	Marzo 2024	S/E	0	A-1			

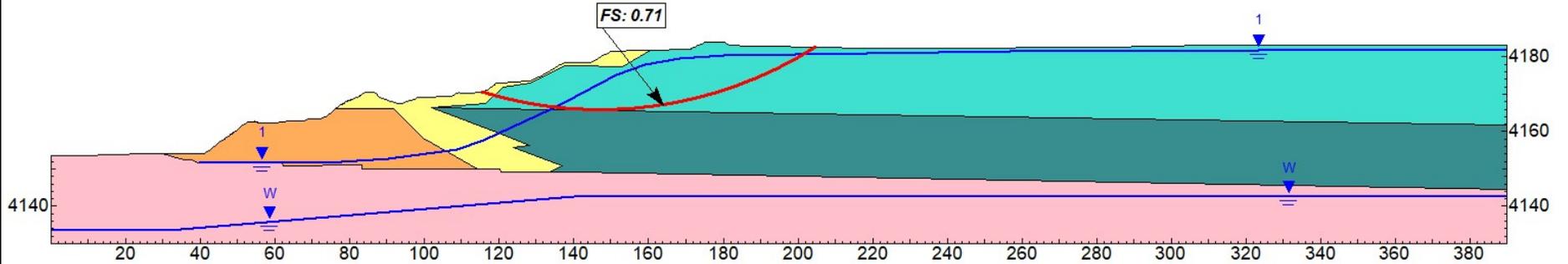
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface
Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None
Relave fino blando	Cyan	17	Mohr-Coulomb	17	20	Piezometric Line 1
Relave fino de consistencia media	Dark Cyan	18	Mohr-Coulomb	26	23	Piezometric Line 1
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 1 – ACTUAL - ANÁLISIS ESTÁTICO – LOCAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA



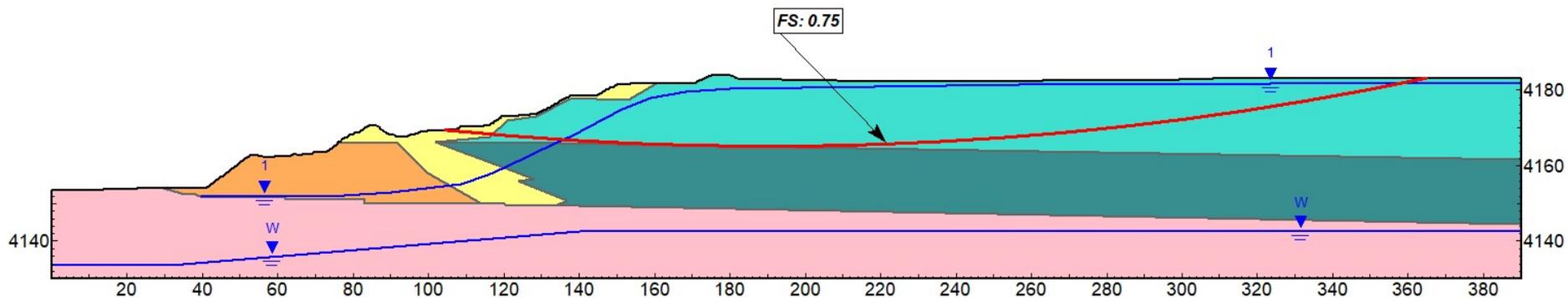
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table					
Relave fino blando (pseud)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.2	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseud)	Dark Cyan	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.296	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 1 – ACTUAL - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – LOCAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

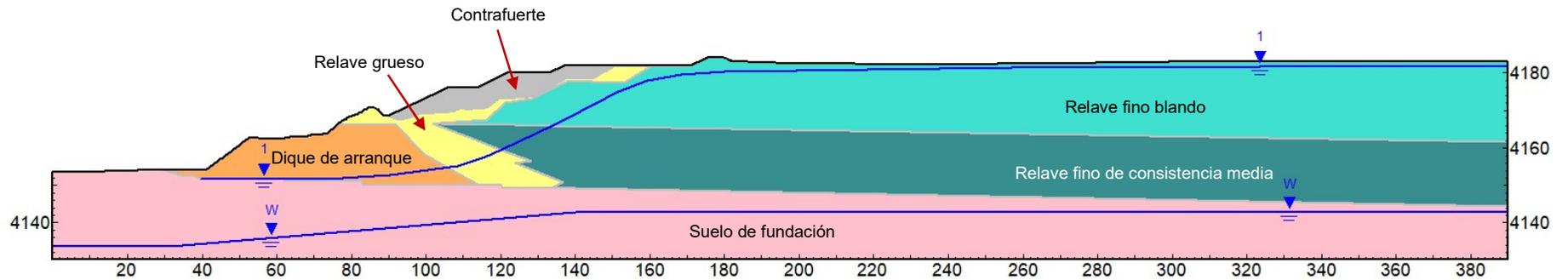


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	s	m	Stress History Type	Definition Method
Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table					
Relave fino blando (pseudo)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.2	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseudo)	Dark Cyan	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.296	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 1 – ACTUAL - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – GLOBAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

Material Name	Color
Dique de arranque	Orange
Relave grueso	Yellow
Relave fino blando	Cyan
Relave fino de consistencia media	Dark Cyan
Suelo de fundación	Pink
Contrafuerte	Grey



CLIENTE
SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

PROYECTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4

DOCUMENTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4

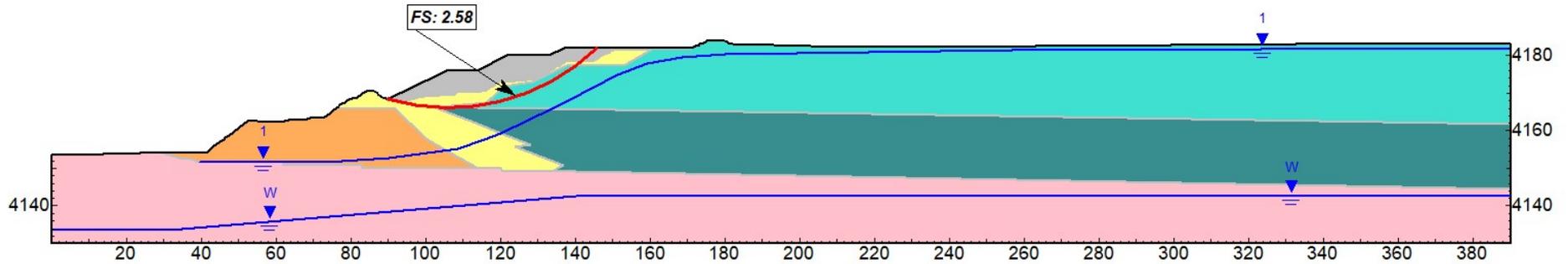
TÍTULO
DEPÓSITO DE RELAVES R4 - SECCIÓN 1 – CONDICIÓN ESTABILIZADA



Lara Consulting & Engineering S.A.C
Av. 28 de Julio 757 - Piso 9
Miraflores - Lima 18, Perú
Tlf: +51(1) 759-5192
www.laraconsulting.com.pe

ELABORADO E. Pariona		REVISADO J. Anaya		APROBADO M. Díaz	
PROYECTO N° W51-2023-D02-7514	FECHA Marzo 2024	ESCALA S/E	REVISIÓN 0	LÁMINA A-5	

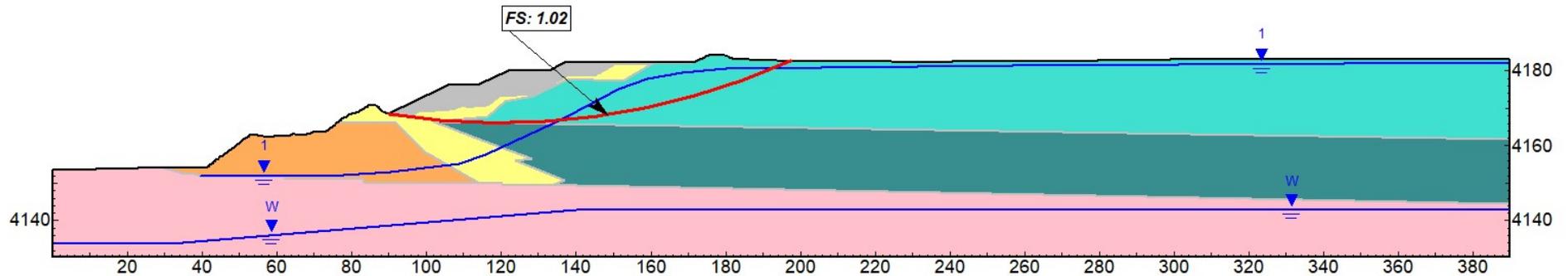
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface
Dique de arranque		21	Mohr-Coulomb	10	35	None
Relave grueso		20	Mohr-Coulomb	9	30	None
Relave fino blando		17	Mohr-Coulomb	17	20	Piezometric Line 1
Relave fino de consistencia media		18	Mohr-Coulomb	26	23	Piezometric Line 1
Suelo de fundación		21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table
Contrafuerte		21	Mohr-Coulomb	10	36	None



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.		DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4					
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4		TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 1 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS ESTÁTICO – LOCAL					
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA



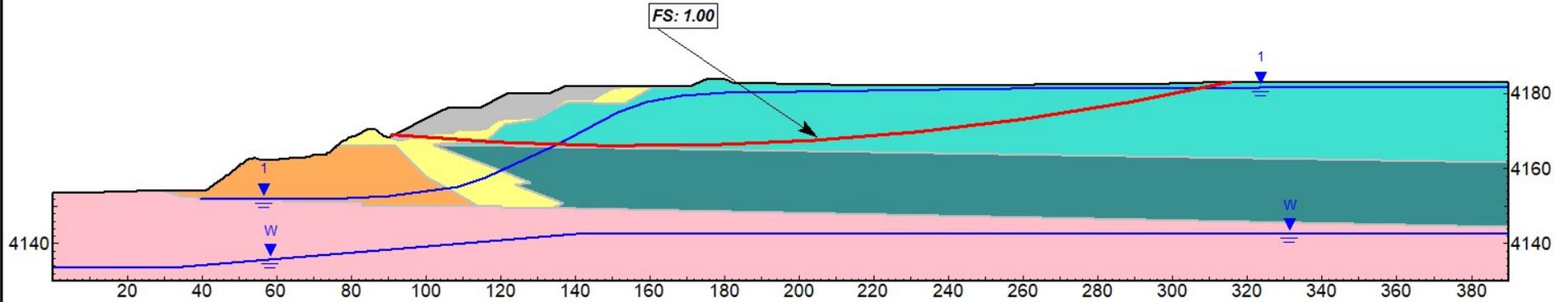
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table					
Contrafuerte	Grey	21	Mohr-Coulomb	10	36	None					
Relave fino blando (pseud)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.2	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseud)	Dark Cyan	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.296	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 1 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – LOCAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table					
Contrafuerte	Grey	21	Mohr-Coulomb	10	36	None					
Relave fino blando (pseud)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.2	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseud)	Dark Cyan	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.296	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



CLIENTE
SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

PROYECTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4

DOCUMENTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4

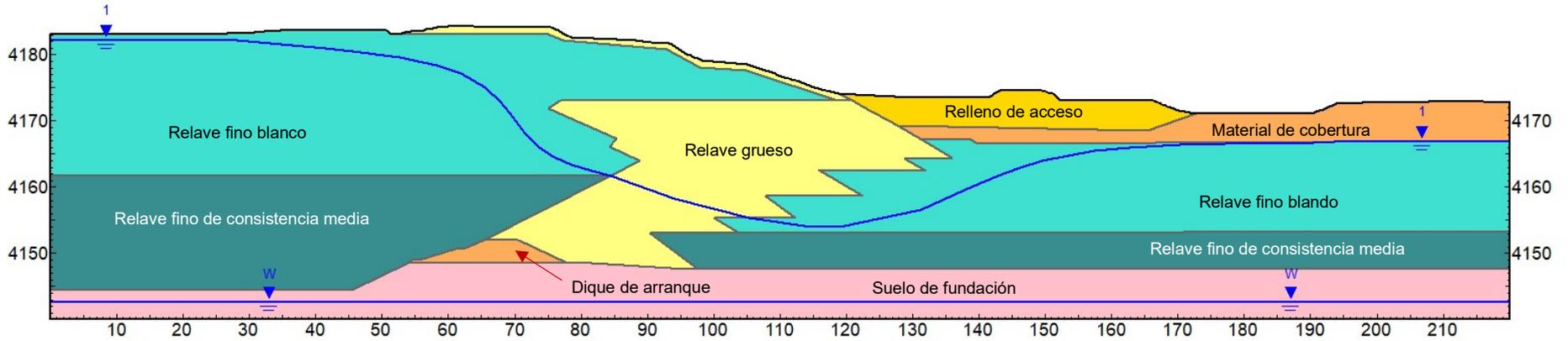
TÍTULO
DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 1 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – GLOBAL



Lara Consulting & Engineering S.A.C
Av. 28 de Julio 757 - Piso 9
Miraflores - Lima 18, Perú
Tlf: +51(1) 759-5192
www.laraconsulting.com.pe

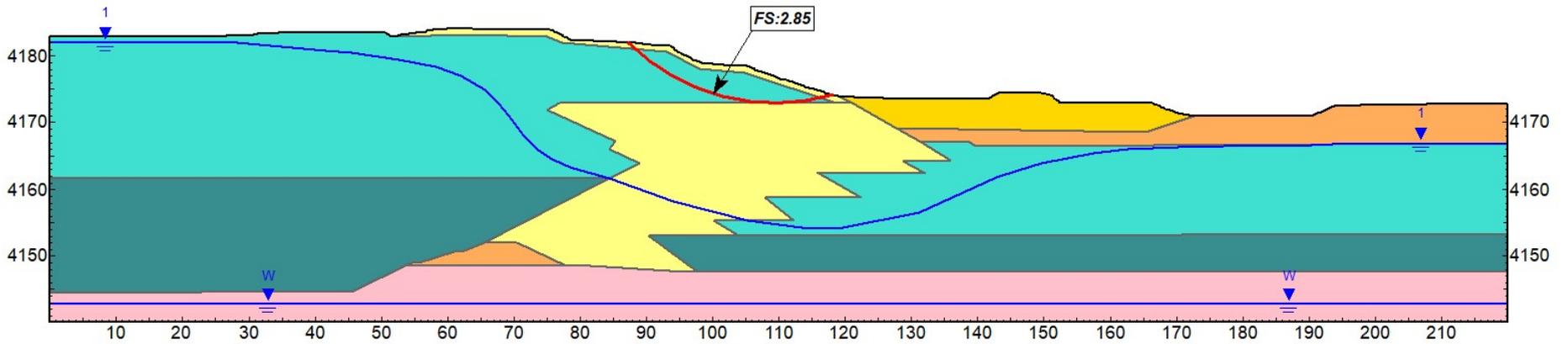
ELABORADO E. Pariona	REVISADO J. Anaya	APROBADO M. Díaz
PROYECTO N° W51-2023-D02-7514	FECHA Marzo 2024	ESCALA S/E
	REVISIÓN 0	LÁMINA A-8

Material Name	Color
Material de cobertura R1	Orange
Relleno de acceso	Yellow
Dique de arranque R4	Orange
Relave grueso R4	Yellow
Relave fino blando R4	Cyan
Relave fino de consistencia media R4	Dark Cyan
Relave fino blando R1	Cyan
Relave fino de consistencia media R1	Dark Cyan
Suelo de Fundación	Pink



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 - SECCIÓN 2 – CONDICIÓN ACTUAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

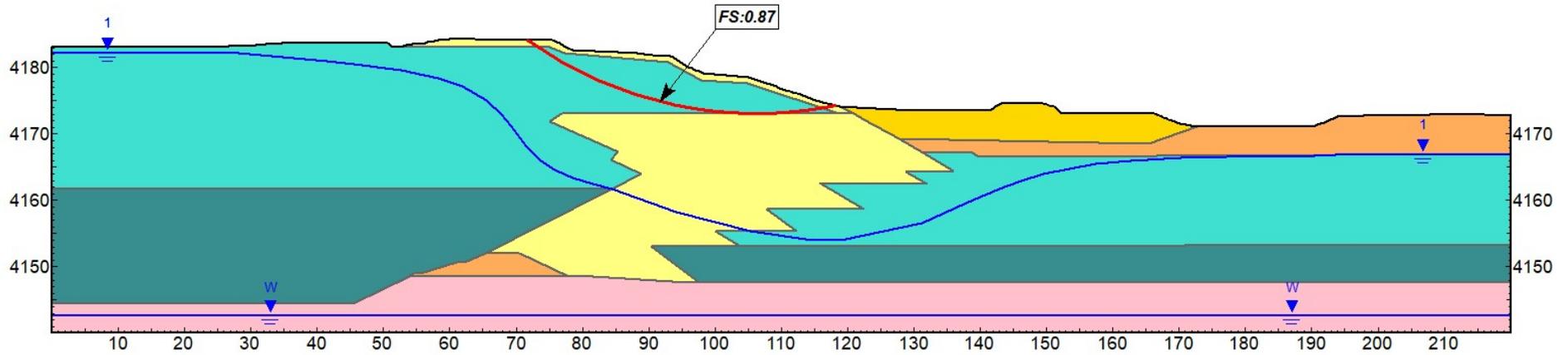
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface
Material de cobertura R1	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	34	None
Relleno de acceso	Yellow	21	Mohr-Coulomb	10	35	None
Dique de arranque R4	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None
Relave grueso R4	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None
Relave fino blando R4	Light Blue	17	Mohr-Coulomb	17	20	Piezometric Line 1
Relave fino de consistencia media R4	Dark Blue	18	Mohr-Coulomb	26	23	Piezometric Line 1
Relave fino blando R1	Light Blue	17	Mohr-Coulomb	20	22	Piezometric Line 1
Relave fino de consistencia media R1	Dark Blue	18	Mohr-Coulomb	24	26	Piezometric Line 1
Suelo de Fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.		DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4		
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4		TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 2 – ACTUAL - ANÁLISIS ESTÁTICO – LOCAL		
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E
			REVISIÓN	0	LÁMINA	A-10

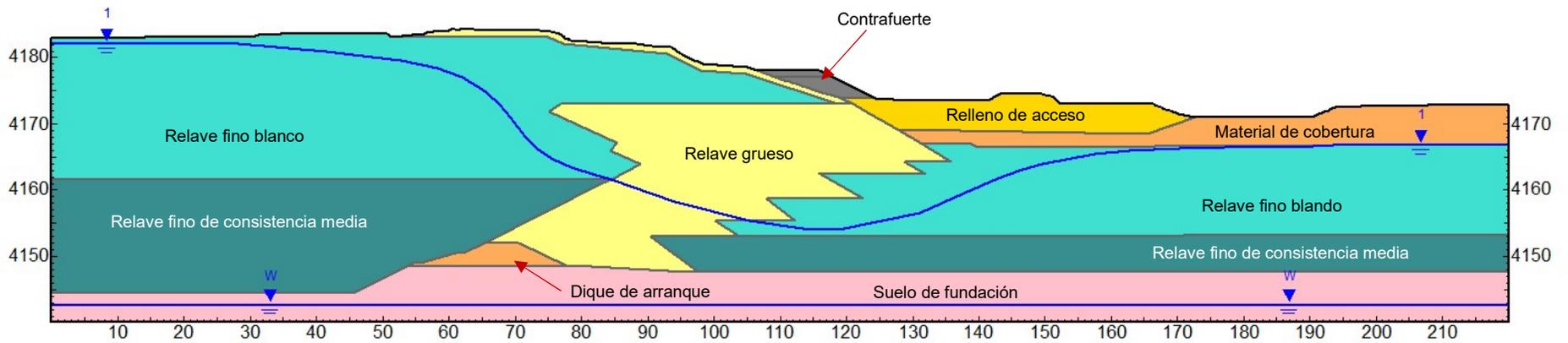


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Material de cobertura R1	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	34	None					
Relleno de acceso	Yellow	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Dique de arranque R4	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso R4	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None					
Suelo de Fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table					
Relave fino blando R1 (Pseudo)	Light Blue	20	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.209	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseudo) R1	Dark Blue	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.383	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino blando (pseudo) R4	Light Blue	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.2	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseudo) R4	Dark Blue	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	5	0.296	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



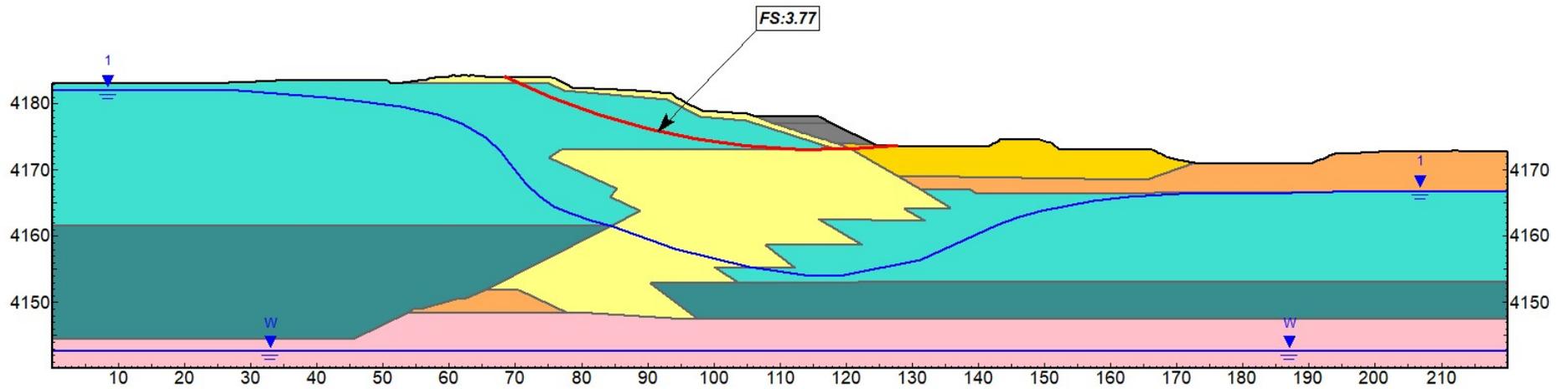
CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 2 – ACTUAL - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – LOCAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

Material Name	Color
Material de cobertura R1	
Relleno de acceso	
Dique de arranque R4	
Relave grueso R4	
Relave fino blando R4	
Relave fino de consistencia media R4	
Relave fino blando R1	
Relave fino de consistencia media R1	
Suelo de Fundación	
Contrafuerte	



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R4 - SECCIÓN 2 – CONDICIÓN ESTABILIZADA						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

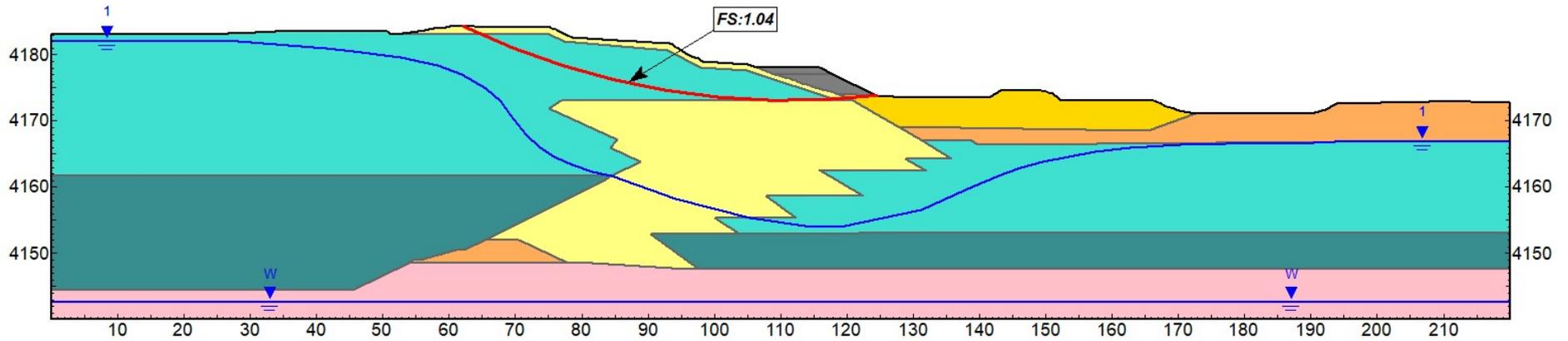
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	Hu Type
Material de cobertura R1	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	34	None	
Relleno de acceso	Yellow	21	Mohr-Coulomb	10	35	None	
Dique de arranque R4	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None	
Relave grueso R4	Light Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None	
Relave fino blando R4	Light Cyan	17	Mohr-Coulomb	17	20	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
Relave fino de consistencia media R4	Dark Cyan	18	Mohr-Coulomb	26	23	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
Relave fino blando R1	Light Cyan	17	Mohr-Coulomb	20	22	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
Relave fino de consistencia media R1	Dark Cyan	18	Mohr-Coulomb	24	26	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
Suelo de Fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table	Automatically Calculated
Contrafuerte	Grey	21	Mohr-Coulomb	10	36	Water Table	Custom



CLIENTE SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4			
PROYECTO INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 2 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS ESTÁTICO – GLOBAL			
 <p>LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe</p>	ELABORADO E. Pariona	REVISADO J. Anaya	APROBADO M. Díaz	
	PROYECTO N° W51-2023-D02-7514	FECHA Marzo 2024	ESCALA S/E	REVISIÓN 0



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	Ru Value	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Material de cobertura R1	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	34	None	0					
Relleno de acceso	Yellow	21	Mohr-Coulomb	10	35	None	0					
Dique de arranque R4	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None	0					
Relave grueso R4	Yellow	20	Mohr-Coulomb	9	30	None	0					
Suelo de Fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	39	Water Table						
Relave fino blando R1 (Pseudo)	Light Blue	20	SHANSEP			Piezometric Line 1		5	0.209	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseudo) R1	Dark Blue	18	SHANSEP			Piezometric Line 1		5	0.383	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino blando (pseudo) R4	Light Blue	17	SHANSEP			Piezometric Line 1		5	0.2	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseudo) R4	Dark Blue	18	SHANSEP			Piezometric Line 1		5	0.296	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Contrafuerte	Grey	21	Mohr-Coulomb	10	36	Water Table						



CLIENTE
SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

PROYECTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4

DOCUMENTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4

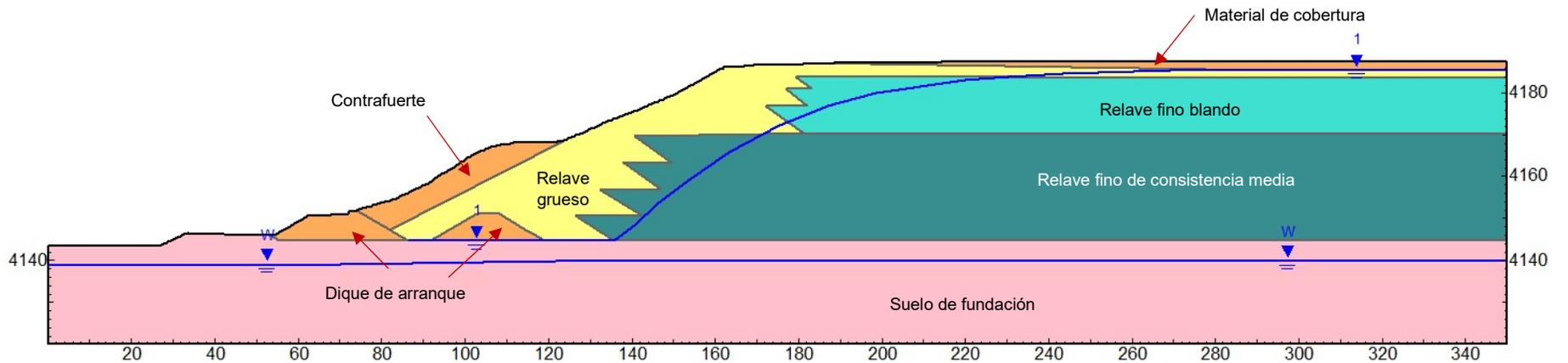
TÍTULO
DEPÓSITO DE RELAVES R4 – SECCIÓN 2 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – GLOBAL



Lara Consulting & Engineering S.A.C
Av. 28 de Julio 757 - Piso 9
Miraflores - Lima 18, Perú
Tlf: +51(1) 759-5192
www.laraconsulting.com.pe

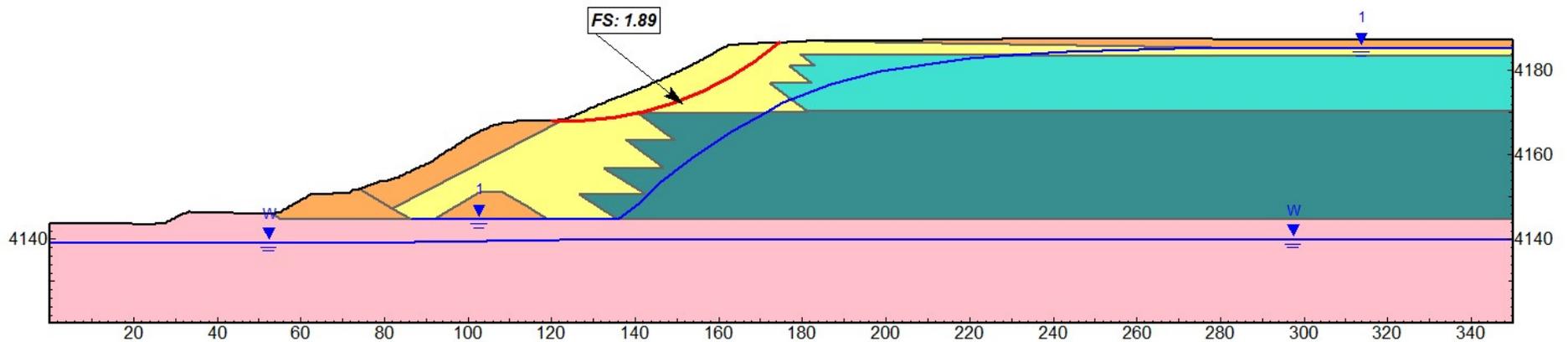
ELABORADO E. Pariona	REVISADO J. Anaya	APROBADO M. Díaz
PROYECTO N° W51-2023-D02-7514	FECHA Marzo 2024	ESCALA S/E
	REVISIÓN 0	LÁMINA A-14

Material Name	Color
Material de cobertura	
Contrafuerte/Dique de arranque	
Relave grueso	
Relave fino blando	
Relave fino de consistencia media	
Suelo de fundación	



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R2 - SECCIÓN 3 – CONDICIÓN ACTUAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

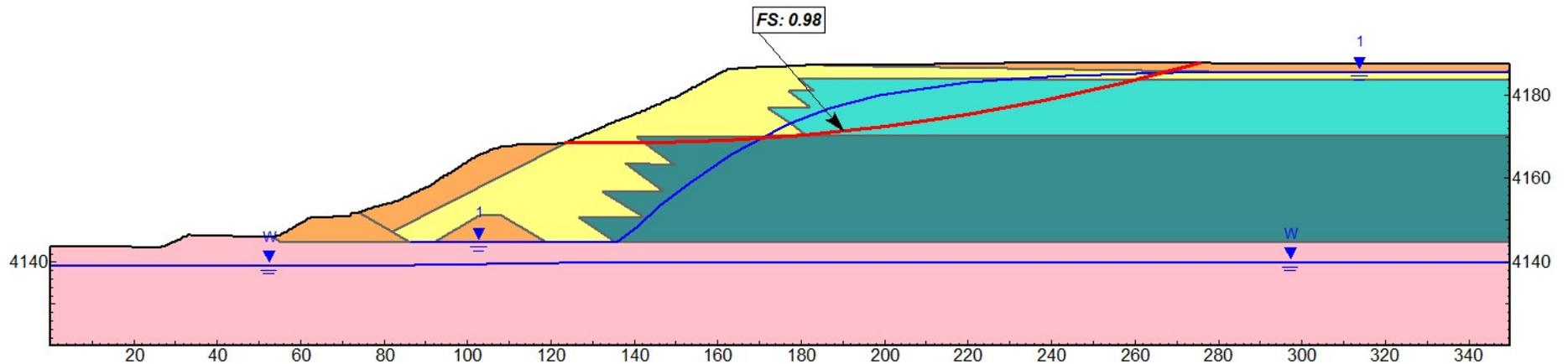
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface
Material de cobertura	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	32	Water Table
Contrafuerte/Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	5	32	None
Relave fino blando	Cyan	17	Mohr-Coulomb	18	21	Piezometric Line 1
Relave fino de consistencia media	Dark Cyan	18	Mohr-Coulomb	24	26	Piezometric Line 1
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	37	Water Table



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.		DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4					
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4		TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R2 – SECCIÓN 3 – ACTUAL - ANÁLISIS ESTÁTICO – LOCAL					
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA



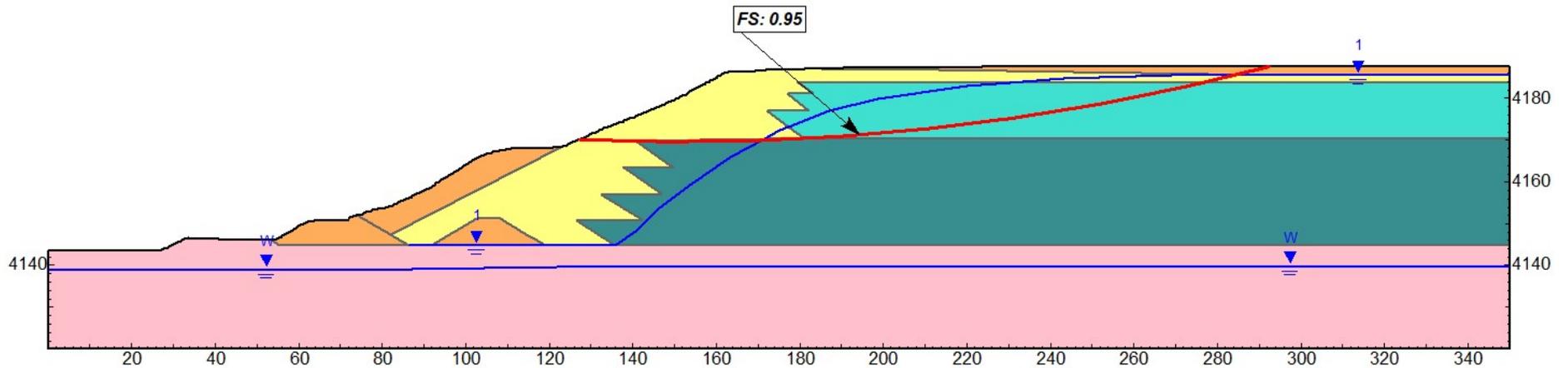
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Material de cobertura	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	32	None					
Contrafuerte/ Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	5	32	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	37	Water Table					
Relave fino blando (pseudo)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	0	0.192	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseudo)	Dark Cyan	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	15	0.268	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R2 – SECCIÓN 3 – ACTUAL - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – LOCAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

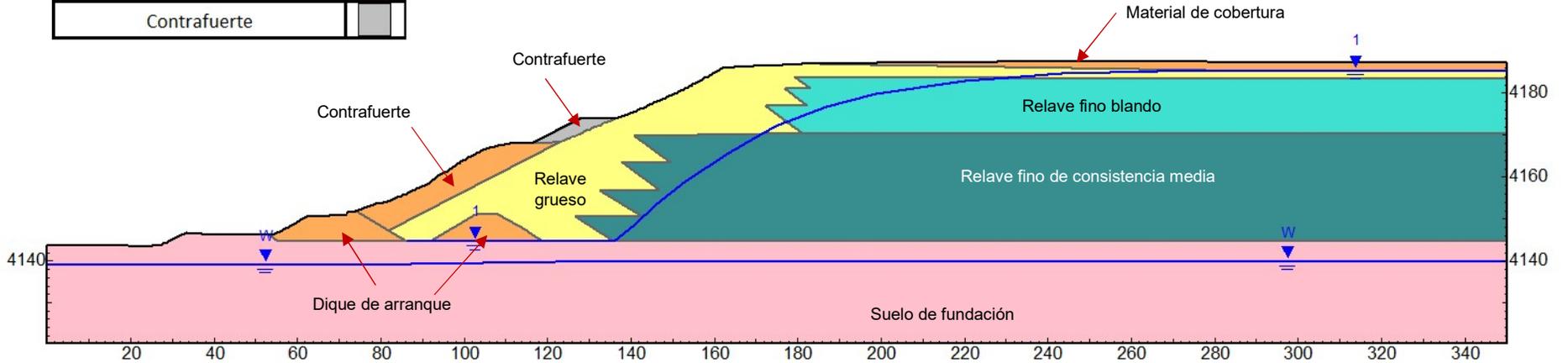


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Material de cobertura	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	32	None					
Contrafuerte/ Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	5	32	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	37	Water Table					
Relave fino blando (pseudo)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	0	0.192	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseudo)	Dark Green	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	15	0.268	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R2 – SECCIÓN 3 – ACTUAL - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – GLOBAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

Material Name	Color
Material de cobertura	Orange
Contrafuerte/Dique de arranque	Orange
Relave grueso	Yellow
Relave fino blando	Cyan
Relave fino de consistencia media	Dark Teal
Suelo de fundación	Pink
Contrafuerte	Grey



CLIENTE
SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

DOCUMENTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4

PROYECTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4

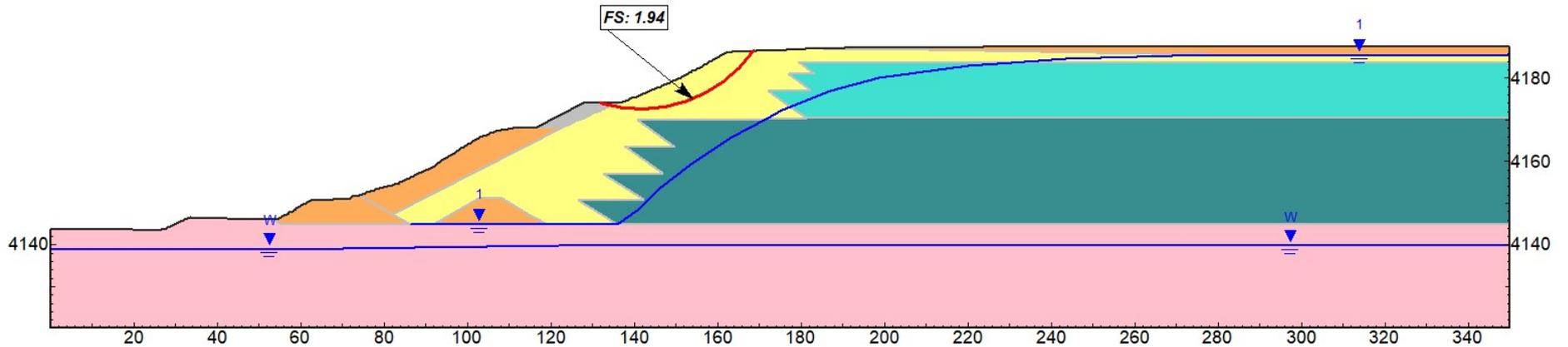
TÍTULO
DEPÓSITO DE RELAVES R2 - SECCIÓN 1 – CONDICIÓN ESTABILIZADA



Lara Consulting & Engineering S.A.C
Av. 28 de Julio 757 - Piso 9
Miraflores - Lima 18, Perú
Tlf: +51(1) 759-5192
www.laraconsulting.com.pe

ELABORADO E. Pariona	REVISADO J. Anaya	APROBADO M. Díaz
PROYECTO N° W51-2023-D02-7514	FECHA Marzo 2024	ESCALA S/E
	REVISIÓN 0	LÁMINA A-19

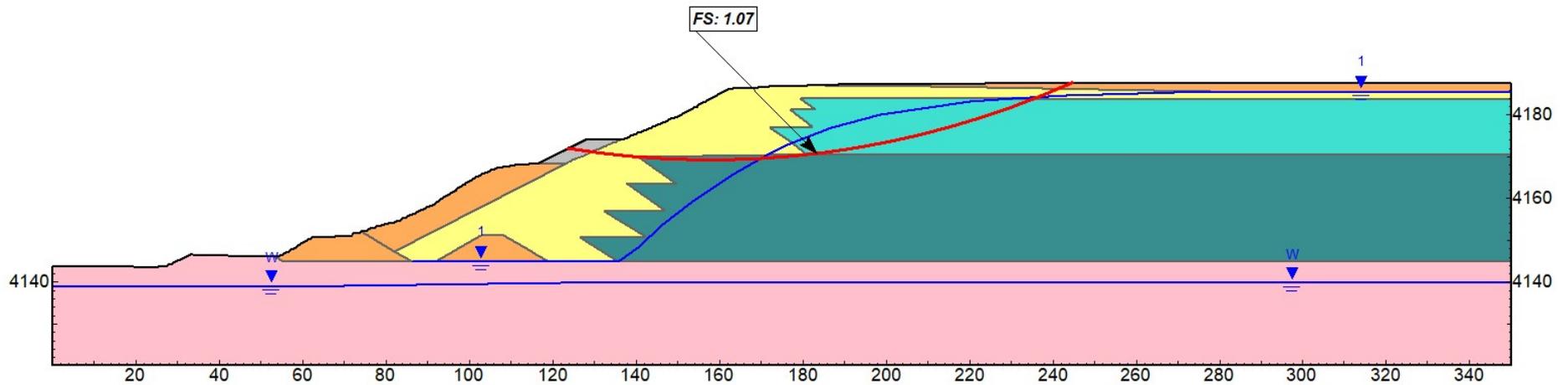
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface
Material de cobertura	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	32	None
Contrafuerte/Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	5	32	None
Relave fino blando	Cyan	17	Mohr-Coulomb	18	21	Piezometric Line 1
Relave fino de consistencia media	Dark Cyan	18	Mohr-Coulomb	24	26	Piezometric Line 1
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	37	Water Table
Contrafuerte	Grey	21	Mohr-Coulomb	10	36	None



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4					
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R2 – SECCIÓN 3 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS ESTÁTICO – LOCAL					
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	REVISADO	APROBADO					
	E. Pariona	J. Anaya	M. Díaz	PROYECTO N°	FECHA	ESCALA	REVISIÓN	LÁMINA
	W51-2023-D02-7514	Marzo 2024	S/E	0	A-20			



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Material de cobertura	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	32	None					
Contrafuerte/Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	5	32	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	37	Water Table					
Contrafuerte	Grey	21	Mohr-Coulomb	10	36	None					
Relave fino blando (pseud)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	0	0.192	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseud)	Dark Cyan	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	15	0.268	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]



CLIENTE
SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

PROYECTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4

DOCUMENTO
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4

TÍTULO
DEPÓSITO DE RELAVES R2 – SECCIÓN 3 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – LOCAL



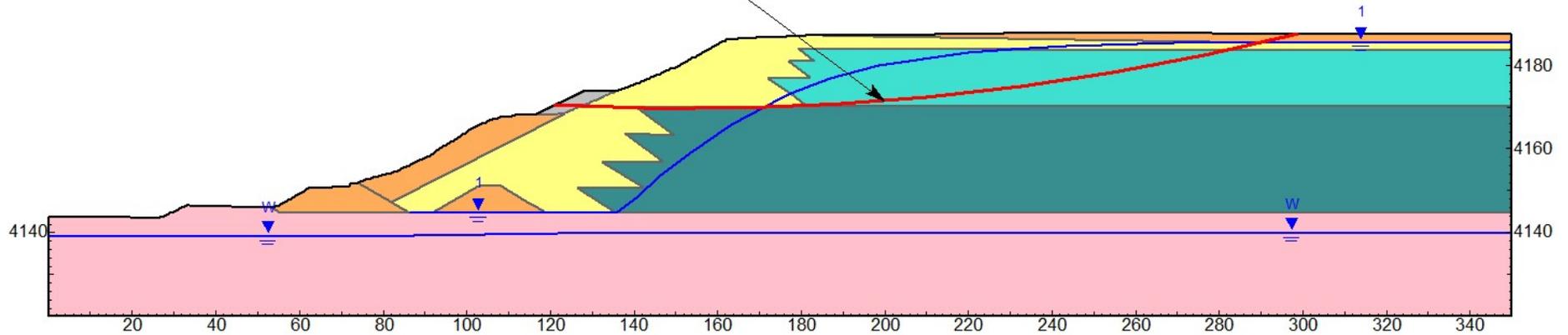
Lara Consulting & Engineering S.A.C
Av. 28 de Julio 757 - Piso 9
Miraflores - Lima 18, Perú
Tlf: +51(1) 759-5192
www.laraconsulting.com.pe

ELABORADO E. Pariona	REVISADO J. Anaya	APROBADO M. Díaz
PROYECTO N° W51-2023-D02-7514	FECHA Marzo 2024	ESCALA S/E
	REVISIÓN 0	LÁMINA A-21



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Water Surface	A (kPa)	S	m	Stress History Type	Definition Method
Material de cobertura	Orange	19	Mohr-Coulomb	0	32	None					
Contrafuerte/Dique de arranque	Orange	21	Mohr-Coulomb	10	35	None					
Relave grueso	Yellow	20	Mohr-Coulomb	5	32	None					
Suelo de fundación	Pink	21	Mohr-Coulomb	10	37	Water Table					
Contrafuerte	Grey	21	Mohr-Coulomb	10	36	None					
Relave fino blando (pseud)	Cyan	17	SHANSEP			Piezometric Line 1	0	0.192	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]
Relave fino de consistencia media (pseud)	Dark Cyan	18	SHANSEP			Piezometric Line 1	15	0.268	0.8	Overconsolidation Ratio	Constant [1]

FS: 1.01



CLIENTE	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	DOCUMENTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4						
PROYECTO	INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS R2 Y R4	TÍTULO	DEPÓSITO DE RELAVES R2 – SECCIÓN 3 - ESTABILIZADA - ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO – GLOBAL						
 LARA CONSULTING Lara Consulting & Engineering S.A.C Av. 28 de Julio 757 - Piso 9 Miraflores - Lima 18, Perú Tlf: +51(1) 759-5192 www.laraconsulting.com.pe	ELABORADO	E. Pariona	REVISADO	J. Anaya	APROBADO	M. Díaz			
	PROYECTO N°	W51-2023-D02-7514	FECHA	Marzo 2024	ESCALA	S/E	REVISIÓN	0	LÁMINA

ANEXO B

Tabla 1
Estimado de Costos de Capital (± 10%)
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Total CAPEX (US\$)	Comentario
I	COSTOS DIRECTOS							1,741,971	
1.0.0	Obras Preliminares							78,594	
1.1.0	Movilización de equipos	Glb	1.00	1.00	1.00	7,000.00	7,000.00		LC, 2023
1.2.0	Desmovilización de equipos	Glb	1.00	1.00	1.00	7,000.00	7,000.00		LC, 2023
1.3.0	Topografía - Trazo, replanteo y seguimiento durante la construcción	mes	6.00	1.00	6.00	7,385.00	44,310.00		LC, 2023
1.4.0	Control de polvo: Riego de vías de accesos no asfaltadas	mes	6.00	1.00	6.00	3,047.40	18,284.40		LC, 2023
1.5.0	Colocación de señalización vial	Glb	1.00	1.00	1.00	2,000.00	2,000.00		LC, 2023
2.0.0	Estabilización para la Relavera R2							318,668	
2.1.0	Accesos							36,929	
2.1.1	Acceso de operación							24,028	
2.1.1.1	Transporte material de relleno común (dp > 1 km)	m ³ -km	13,260.00	1.30	17,238.00	0.48	8,274.24		LC, 2023
2.1.1.2	Conformación de acceso con relleno común (incluye 1 km de transporte)	m ³	1,768.00	1.00	1,768.00	8.84	15,630.05		LC, 2023
2.1.1.3	Conformación de berma de seguridad (incluye 1 km de transporte)	m ³	43.00	1.00	43.00	2.87	123.32		LC, 2023
2.1.2	Acceso a contrafuerte R2							12,901	
2.1.2.1	Transporte material de relleno (dp > 1 km)	m ³ -km	7,080.00	1.30	9,204.00	0.48	4,417.92		LC, 2023
2.1.2.2	Conformación de acceso con relleno común (incluye 1 km de transporte)	m ³	944.00	1.00	944.00	8.84	8,345.46		LC, 2023
2.1.2.3	Conformación de berma de seguridad (incluye 1 km de transporte)	m ³	48.00	1.00	48.00	2.87	137.66		LC, 2023
2.2.0	Contrafuerte R2							138,297	
2.2.1	Limpieza y desbroce de terreno natural	m ²	7,741.36	1.10	8,515.50	0.87	7,432.88		LC, 2023
2.2.2	Transporte material de relleno controlado (dp > 1 km)	m ³ -km	97,252.50	1.30	126,428.25	0.48	60,685.56		LC, 2023
2.2.3	Conformación y compactación de contrafuerte con material de relleno controlado (incluye 1 km de transporte)	m ³	12,967.00	1.00	12,967.00	4.94	64,055.66		LC, 2023
2.2.4	Perfilado de taludes	m ²	7,596.33	1.10	8,355.96	0.68	5,695.42		LC, 2023
2.2.5	Conformación de berma de seguridad (incluye 1 km de transporte)	m ³	149.00	1.00	149.00	2.87	427.33		LC, 2023
2.3.0	Nivelación de la plataforma R2							131,947	
2.3.1	Perfilado del vaso (incluye 1 km de transporte)	m ³	10,144.00	1.00	10,144.00	5.91	59,955.24		LC, 2023
2.3.2	Relleno con material propio	m ³	5,893.00	1.00	5,893.00	8.84	52,097.22		LC, 2023
2.3.3	Transporte de material excedente a botadero (dp > 1 km)	m ³ -km	31,882.50	1.30	41,447.25	0.48	19,894.68		LC, 2023
2.4.0	Instrumentación							11,495	
2.4.1	Suministro e instalación de hitos topográficos	und	3.00	1.10	3.30	150.00	495.00		LC, 2023
2.4.2	Recrecimiento de piezómetros	glb	1.00	1.10	1.10	10,000.00	11,000.00		LC, 2023
3.0.0	Manejo de aguas depósito de relaves R2							97,168	
3.1.0	Cunetas							83,320	
3.1.1	Retiro de geomembrana existente	m ²	5,973.00	1.10	6,570.30	1.37	8,982.26	8,982	LC, 2023
3.1.2	Cuneta - margen derecha							22,403	
3.1.2.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	69.12	1.00	69.12	4.46	307.99		LC, 2023
3.1.2.2	Excavación para cuneta en suelo natural	m ³	157.00	1.00	157.00	4.46	699.56		LC, 2023
3.1.2.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	1,320.96	1.10	1,453.06	4.18	6,079.79		LC, 2023
3.1.2.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	1,320.96	1.10	1,453.06	10.22	14,853.96		LC, 2023
3.1.2.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	69.12	1.00	69.12	6.68	461.50		LC, 2023
3.1.3	Cuneta - margen central							8,968	
3.1.3.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	27.54	1.00	27.54	4.46	122.71		LC, 2023
3.1.3.2	Excavación para cuneta en suelo natural	m ³	72.00	1.00	72.00	4.46	320.82		LC, 2023
3.1.3.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	526.32	1.10	578.95	4.18	2,422.41		LC, 2023
3.1.3.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	526.32	1.10	578.95	10.22	5,918.37		LC, 2023
3.1.3.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	27.54	1.00	27.54	6.68	183.88		LC, 2023
3.1.4	Cuneta - margen izquierda							26,805	
3.1.4.1	Excavación de zanjas de anclajes (incluye 1 km de transporte)	m ³	66.42	1.00	66.42	4.46	295.95		LC, 2023
3.1.4.2	Excavación para cuneta en suelo natural	m ³	154.00	1.00	154.00	4.46	686.19		LC, 2023
3.1.4.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	1,269.36	1.10	1,396.30	4.18	5,842.29		LC, 2023
3.1.4.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	1,269.36	1.10	1,396.30	10.22	14,273.72		LC, 2023
3.1.4.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	66.42	1.00	66.42	6.68	443.47		LC, 2023
3.1.4.6	Instalación de tubería HDPE 14" sólida	m	60.00	1.10	66.00	79.75	5,263.42		LC, 2023
3.1.5	Cuneta - contrafuerte margen derecha							10,733	

Tabla 1
Estimado de Costos de Capital (± 10%)
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Total CAPEX (US\$)	Comentario
3.1.5.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	33.44	1.00	33.44	4.46	149.02		LC, 2023
3.1.5.2	Excavación para cuneta en suelo natural	m ³	52.00	1.00	52.00	4.46	231.70		LC, 2023
3.1.5.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	639.15	1.10	703.07	4.18	2,941.73		LC, 2023
3.1.5.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	639.15	1.10	703.07	10.22	7,187.15		LC, 2023
3.1.5.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	33.44	1.00	33.44	6.68	223.30		LC, 2023
3.1.6	Cuneta - contrafuerte margen izquierda							5,429	
3.1.6.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	16.92	1.00	16.92	4.46	75.39		LC, 2023
3.1.6.2	Excavación para cuneta en suelo natural	m ³	26.00	1.00	26.00	4.46	115.85		LC, 2023
3.1.6.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	323.36	1.10	355.70	4.18	1,488.28		LC, 2023
3.1.6.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	323.36	1.10	355.70	10.22	3,636.12		LC, 2023
3.1.6.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	16.92	1.00	16.92	6.68	112.97		LC, 2023
3.2.0	Rápidas							6,866	
3.2.1	Descarga - Margen derecha							3,026	
3.2.1.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	9.00	1.00	9.00	4.46	40.10		LC, 2023
3.2.1.2	Excavación para rápida en suelo natural	m ³	45.00	1.00	45.00	4.46	200.51		LC, 2023
3.2.1.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	172.00	1.10	189.20	4.18	791.64		LC, 2023
3.2.1.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	172.00	1.10	189.20	10.22	1,934.11		LC, 2023
3.2.1.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	9.00	1.00	9.00	6.68	60.09		LC, 2023
3.2.2	Descarga - Margen izquierda							3,840	
3.2.2.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	8.28	1.00	8.28	4.46	36.89		LC, 2023
3.2.2.2	Excavación para rápida en suelo natural	m ³	42.00	1.00	42.00	4.46	187.14		LC, 2023
3.2.2.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	158.24	1.10	174.06	4.18	728.31		LC, 2023
3.2.2.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	158.24	1.10	174.06	10.22	1,779.38		LC, 2023
3.2.2.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	8.28	1.00	8.28	6.68	55.28		LC, 2023
3.2.2.6	Instalación de tubería HDPE 14" sólida	m	12.00	1.10	13.20	79.75	1,052.68		LC, 2023
3.3.0	Cajas							6,982	
3.3.1	Caja de paso 1							1,091	
3.3.1.1	Excavación en suelo natural	m ³	2.70	1.00	2.70	4.46	12.03		LC, 2023
3.3.1.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	2.25	1.10	2.48	20.00	49.49		LC, 2023
3.3.1.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	12.00	1.10	13.20	37.68	497.39		LC, 2023
3.3.1.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.45	1.00	0.45	27.71	12.47		LC, 2023
3.3.1.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo f _y = 4200 kg/cm ²	kg	65.94	1.10	72.53	3.49	253.07		LC, 2023
3.3.1.6	Suministro y colocación de concreto f _c =210 Kg/cm ²	m ³	0.87	1.10	0.96	278.57	266.59		LC, 2023
3.3.2	Caja de paso 2							1,091	
3.3.2.1	Excavación en suelo natural	m ³	2.70	1.00	2.70	4.46	12.03		LC, 2023
3.3.2.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	2.25	1.10	2.48	20.00	49.49		LC, 2023
3.3.2.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	12.00	1.10	13.20	37.68	497.39		LC, 2023
3.3.2.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.45	1.00	0.45	27.71	12.47		LC, 2023
3.3.2.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo f _y = 4200 kg/cm ²	kg	65.94	1.10	72.53	3.49	253.07		LC, 2023
3.3.2.6	Suministro y colocación de concreto f _c =210 Kg/cm ²	m ³	0.87	1.10	0.96	278.57	266.59		LC, 2023
3.3.3	Caja de descarga 1							1,452	
3.3.3.1	Excavación en suelo natural	m ³	4.80	1.00	4.80	8.49	40.75		LC, 2023
3.3.3.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	4.00	1.10	4.40	20.00	87.99		LC, 2023
3.3.3.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	14.64	1.10	16.10	37.68	606.81		LC, 2023
3.3.3.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.80	1.00	0.80	27.71	22.17		LC, 2023
3.3.3.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo f _y = 4200 kg/cm ²	kg	77.15	1.10	84.86	3.49	296.09		LC, 2023
3.3.3.6	Suministro y colocación de concreto f _c =210 Kg/cm ²	m ³	1.30	1.10	1.43	278.57	398.35		LC, 2023
3.3.4	Caja de descarga 2							1,075	
3.3.4.1	Excavación en suelo natural	m ³	2.88	1.00	2.88	8.49	24.45		LC, 2023
3.3.4.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	2.40	1.10	2.64	20.00	52.79		LC, 2023

Tabla 1
Estimado de Costos de Capital (± 10%)
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Total CAPEX (US\$)	Comentario
3.3.4.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	13.20	1.10	14.52	37.68	547.13		LC, 2023
3.3.4.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.65	1.00	0.65	27.71	18.01		LC, 2023
3.3.4.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	63.33	1.10	69.66	3.49	243.03		LC, 2023
3.3.4.6	Suministro y colocación de concreto fc=210 Kg/cm ²	m ³	0.62	1.10	0.68	278.57	189.98		LC, 2023
3.3.5	Caja de descarga 3							1,065	
3.3.5.1	Excavación en suelo natural	m ³	2.88	1.00	2.88	8.49	24.45		LC, 2023
3.3.5.2	Suministro y colocación de solado fc= 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	2.40	1.10	2.64	20.00	52.79		LC, 2023
3.3.5.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	13.20	1.10	14.52	37.68	547.13		LC, 2023
3.3.5.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.29	1.00	0.29	27.71	8.04		LC, 2023
3.3.5.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	63.33	1.10	69.66	3.49	243.03		LC, 2023
3.3.5.6	Suministro y colocación de concreto fc=210 Kg/cm ²	m ³	0.62	1.10	0.68	278.57	189.98		LC, 2023
3.3.6	Caja de descarga 4							1,207	
3.3.6.1	Excavación en suelo natural	m ³	3.89	1.00	3.89	8.49	33.01		LC, 2023
3.3.6.2	Suministro y colocación de solado fc= 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	3.24	1.10	3.56	20.00	71.27		LC, 2023
3.3.6.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	18.96	1.10	20.86	37.68	785.87		LC, 2023
3.3.6.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.29	1.00	0.29	27.71	8.04		LC, 2023
3.3.6.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	68.37	1.10	75.21	3.49	262.39		LC, 2023
3.3.6.6	Suministro y colocación de concreto fc=210 Kg/cm ²	m ³	0.15	1.10	0.17	278.57	45.96		LC, 2023
4.0.0	Estabilización para la Relavera R4							1,113,025	
4.1.0	Nivelación de berma existente							11,649	
4.1.1	Perfilado de superficie	m ³	1,100.00	1.00	1,100.00	5.91	6,501.46		LC, 2023
4.1.2	Transporte de material excedente a botadero (dp > 1 km)	m ³ -km	8,250.00	1.30	10,725.00	0.48	5,148.00		LC, 2023
4.2.0	Nivelación de plataforma							36,225	
4.2.1	Poza 01								
4.2.1.1	Excavación en suelo natural	m ³	126.00	1.10	138.60	4.46	617.57		LC, 2023
4.2.1.2	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	5.29	1.10	5.82	4.46	25.94		LC, 2023
4.2.1.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m ²	m ²	138.32	1.10	152.15	4.18	636.62		LC, 2023
4.2.1.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	138.32	1.10	152.15	10.22	1,555.38		LC, 2023
4.2.1.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	5.29	1.00	5.29	6.68	35.33		LC, 2023
4.2.2	Poza 02								
4.2.2.1	Excavación en suelo natural	m ³	66.00	1.10	72.60	4.46	323.49		LC, 2023
4.2.2.2	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	4.14	1.10	4.55	4.46	20.29		LC, 2023
4.2.2.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m ²	m ²	87.56	1.10	96.32	4.18	403.00		LC, 2023
4.2.2.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	87.56	1.10	96.32	10.22	984.60		LC, 2023
4.2.2.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	4.14	1.00	4.14	6.68	27.64		LC, 2023
4.2.2.6	Instalación de tubería HDPE 14" sólida	m	347.00	1.10	381.70	79.75	30,440.12		LC, 2023
4.2.2.7	Soldadura	und	70.00	1.10	77.00	15.00	1,155.00		LC, 2023

Tabla 1
Estimado de Costos de Capital (± 10%)
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Total CAPEX (US\$)	Comentario
4.3.0	Accesos							4,867	
4.3.1	Transporte material de relleno común (dp > 1 km)	m ³ -km	2,655.00	1.30	3,451.50	0.48	1,656.72		LC, 2023
4.3.2	Conformación de acceso con relleno común (incluye 1 km de transporte)	m ³	354.00	1.00	354.00	8.84	3,129.55		LC, 2023
4.3.3	Conformación de berma de seguridad (incluye 1 km de transporte)	m ³	28.00	1.00	28.00	2.87	80.30		LC, 2023
4.4.0	Contrafuerte R4							1,053,484	
4.4.1	Limpieza y desbroce de terreno natural	m ²	25,011.17	1.10	27,512.29	0.87	24,014.52		LC, 2023
4.4.2	Transporte material de relleno controlado (dp > 1 km)	m ³ -km	705,817.50	1.30	917,562.75	0.48	440,430.12		LC, 2023
4.4.3	Conformación y compactación de contrafuerte con material de relleno controlado (incluye 1 km de transporte)	m ³	94,109.00	1.00	94,109.00	6.07	571,162.86		LC, 2023
4.4.4	Perfilado de taludes de contrafuerte (incluye 1 km de transporte)	m ²	25,061.45	1.00	25,061.45	0.68	17,081.88		LC, 2023
4.4.5	Conformación de berma de seguridad (incluye 1 km de transporte)	m ³	277.00	1.00	277.00	2.87	794.42		LC, 2023
4.5	Instrumentación							6,800	
4.5.1	Suministro e instalación de hitos topográficos	und	12.00	1.00	12.00	150.00	1,800.00		LC, 2023
4.5.2	Recacimiento de piezómetros	glb	1.00	1.00	1.00	5,000.00	5,000.00		LC, 2023
5.0.0	Manejo de aguas de contacto del depósito de relaves R4							134,517	
5.1.0	Cunetas							102,365	
5.1.1	Retiro de geomembrana existente	m ²	1,030.00	1.10	1,133.00	1.37	1,548.92	1,549	LC, 2023
5.1.2	Cuneta - contrafuerte inferior							15,881	
5.1.2.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	48.96	1.00	48.96	4.46	218.16		LC, 2023
5.1.2.2	Excavación en suelo natural para cuneta	m ³	114.00	1.00	114.00	4.46	507.96		LC, 2023
5.1.2.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	935.68	1.10	1,029.25	4.18	4,306.52		LC, 2023
5.1.2.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	935.68	1.10	1,029.25	10.22	10,521.55		LC, 2023
5.1.2.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	48.96	1.00	48.96	6.68	326.90		LC, 2023
5.1.3	Cuneta - contrafuerte superior							14,170	
5.1.3.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	41.58	1.00	41.58	4.46	185.27		LC, 2023
5.1.3.2	Excavación en suelo natural para cuneta	m ³	250.00	1.00	250.00	4.46	1,113.95		LC, 2023
5.1.3.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	794.64	1.10	874.10	4.18	3,657.37		LC, 2023
5.1.3.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	794.64	1.10	874.10	10.22	8,935.58		LC, 2023
5.1.3.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	41.58	1.00	41.58	6.68	277.62		LC, 2023
5.1.4	Cuneta - contrafuerte medio - margen izquierdo							17,596	
5.1.4.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	54.18	1.00	54.18	4.46	241.42		LC, 2023
5.1.4.2	Excavación en suelo natural para cuneta	m ³	131.00	1.00	131.00	4.46	583.71		LC, 2023
5.1.4.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	1,035.44	1.10	1,138.98	4.18	4,765.67		LC, 2023
5.1.4.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	1,035.44	1.10	1,138.98	10.22	11,643.34		LC, 2023
5.1.4.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	54.18	1.00	54.18	6.68	361.75		LC, 2023
5.1.5	Cuneta - contrafuerte medio - margen derecho							10,363	
5.1.5.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	32.04	1.00	32.04	4.46	142.76		LC, 2023
5.1.5.2	Excavación en suelo natural para cuneta	m ³	68.00	1.00	68.00	4.46	302.99		LC, 2023
5.1.5.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	612.32	1.10	673.55	4.18	2,818.23		LC, 2023
5.1.5.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	612.32	1.10	673.55	10.22	6,885.43		LC, 2023
5.1.5.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	32.04	1.00	32.04	6.68	213.92		LC, 2023
5.1.6	Cuneta - pie de talud							42,806	
5.1.6.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	129.60	1.00	129.60	4.46	577.47		LC, 2023
5.1.6.2	Excavación en suelo natural para cuneta	m ³	474.00	1.00	474.00	4.46	2,112.05		LC, 2023
5.1.6.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	2,476.80	1.10	2,724.48	4.18	11,399.60		LC, 2023
5.1.6.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	2,476.80	1.10	2,724.48	10.22	27,851.17		LC, 2023
5.1.6.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	129.60	1.00	129.60	6.68	865.31		LC, 2023

Tabla 1
Estimado de Costos de Capital (± 10%)
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Total CAPEX (US\$)	Comentario
5.2.0	Rápidas							23,340	
5.2.1	Descarga - Margen izquierda							4,718	
5.2.1.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	6.48	1.00	6.48	4.46	28.87		LC, 2023
5.2.1.2	Excavación en suelo natural para rápida	m ³	51.00	1.00	51.00	4.46	227.25		LC, 2023
5.2.1.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	123.84	1.10	136.22	4.18	569.98		LC, 2023
5.2.1.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	123.84	1.10	136.22	10.22	1,392.56		LC, 2023
5.2.1.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	6.48	1.00	6.48	6.68	43.27		LC, 2023
5.2.1.6	Instalación de tubería HDPE 14" sólida	m	28.00	1.10	30.80	79.75	2,456.26		LC, 2023
5.2.2	Descarga - Margen derecha							4,578	
5.2.2.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	3.78	1.00	3.78	4.46	16.84		LC, 2023
5.2.2.2	Excavación en suelo natural para rápida	m ³	13.00	1.00	13.00	4.46	57.93		LC, 2023
5.2.2.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	72.24	1.10	79.46	4.18	332.49		LC, 2023
5.2.2.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	72.24	1.10	79.46	10.22	812.33		LC, 2023
5.2.2.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	3.78	1.00	3.78	6.68	25.24		LC, 2023
5.2.2.6	Instalación de tubería HDPE 14" sólida	m	38.00	1.10	41.80	79.75	3,333.50		LC, 2023
5.2.3	Descarga - Pie de talud							5,525	
5.2.3.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	16.56	1.00	16.56	4.46	73.79		LC, 2023
5.2.3.2	Excavación en suelo natural para rápida	m ³	73.00	1.00	73.00	4.46	325.27		LC, 2023
5.2.3.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	316.48	1.10	348.13	4.18	1,456.62		LC, 2023
5.2.3.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	316.48	1.10	348.13	10.22	3,558.76		LC, 2023
5.2.3.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	16.56	1.00	16.56	6.68	110.57		LC, 2023
5.2.4	Descarga - Poza							8,519	
5.2.4.1	Excavación de zanjas de anclajes	m ³	25.20	1.00	25.20	4.46	112.29		LC, 2023
5.2.4.2	Excavación en suelo natural para rápida	m ³	136.00	1.00	136.00	4.46	605.99		LC, 2023
5.2.4.3	Suministro e instalación de geotextil no tejido de 270 g/m2	m ²	481.60	1.10	529.76	4.18	2,216.59		LC, 2023
5.2.4.4	Suministro e instalación de geomembrana HDPE texturada por un lado 1,5 mm	m ²	481.60	1.10	529.76	10.22	5,415.50		LC, 2023
5.2.4.5	Relleno de zanja de anclaje	m ³	25.20	1.00	25.20	6.68	168.26		LC, 2023
5.3.0	Cajas de descarga							8,812	
5.3.1	Caja de descarga 1							1,041	
5.3.1.1	Excavación en suelo natural	m ³	3.89	1.00	3.89	8.49	33.01		LC, 2023
5.3.1.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	3.24	1.10	3.56	20.00	71.27		LC, 2023
5.3.1.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	14.64	1.10	16.10	37.68	606.81		LC, 2023
5.3.1.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.65	1.00	0.65	27.71	18.01		LC, 2023
5.3.1.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo f _y = 4200 kg/cm ²	kg	68.37	1.10	75.21	3.49	262.39		LC, 2023
5.3.1.6	Suministro y colocación de concreto f _c =210 Kg/cm ²	m ³	0.16	1.10	0.18	278.57	49.03		LC, 2023
5.3.2	Caja de descarga 2							1,114	
5.3.2.1	Excavación en suelo natural	m ³	4.75	1.00	4.75	8.49	40.34		LC, 2023
5.3.2.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	3.96	1.10	4.36	20.00	87.11		LC, 2023
5.3.2.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	14.64	1.10	16.10	37.68	606.81		LC, 2023
5.3.2.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.79	1.00	0.79	27.71	21.89		LC, 2023
5.3.2.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo f _y = 4200 kg/cm ²	kg	77.15	1.10	84.86	3.49	296.09		LC, 2023
5.3.2.6	Suministro y colocación de concreto f _c =210 Kg/cm ²	m ³	0.20	1.10	0.22	278.57	61.29		LC, 2023
5.3.3	Caja de descarga 3							1,186	
5.3.3.1	Excavación en suelo natural	m ³	4.75	1.00	4.75	8.49	40.34		LC, 2023
5.3.3.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	3.96	1.10	4.36	20.00	87.11		LC, 2023
5.3.3.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	16.40	1.10	18.04	37.68	679.76		LC, 2023
5.3.3.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.79	1.00	0.79	27.71	21.89		LC, 2023
5.3.3.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo f _y = 4200 kg/cm ²	kg	77.15	1.10	84.86	3.49	296.09		LC, 2023
5.3.3.6	Suministro y colocación de concreto f _c =210 Kg/cm ²	m ³	0.20	1.10	0.22	278.57	61.29		LC, 2023
5.3.4	Caja de descarga 4							1,041	
5.3.4.1	Excavación en suelo natural	m ³	3.89	1.00	3.89	8.49	33.01		LC, 2023
5.3.4.2	Suministro y colocación de solado f _c = 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	3.24	1.10	3.56	20.00	71.27		LC, 2023
5.3.4.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	14.64	1.10	16.10	37.68	606.81		LC, 2023

Tabla 1
Estimado de Costos de Capital (± 10%)
INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES R2 Y R4
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Total CAPEX (US\$)	Comentario
5.3.4.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.65	1.00	0.65	27.71	18.01		LC, 2023
5.3.4.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	68.37	1.10	75.21	3.49	262.39		LC, 2023
5.3.4.6	Suministro y colocación de concreto fc=210 Kg/cm ²	m ³	0.16	1.10	0.18	278.57	49.03		LC, 2023
5.3.5	Caja de descarga 5							1,586	
5.3.5.1	Excavación en suelo natural	m ³	7.50	1.00	7.50	8.49	63.67		LC, 2023
5.3.5.2	Suministro y colocación de solado fc= 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	6.25	1.10	6.88	20.00	137.48		LC, 2023
5.3.5.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	21.20	1.10	23.32	37.68	878.72		LC, 2023
5.3.5.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	1.25	1.00	1.25	27.71	34.64		LC, 2023
5.3.5.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	98.07	1.10	107.88	3.49	376.38		LC, 2023
5.3.5.6	Suministro y colocación de concreto fc=210 Kg/cm ²	m ³	0.31	1.10	0.34	278.57	94.99		LC, 2023
5.3.6	Caja de descarga 6							1,422	
5.3.6.1	Excavación en suelo natural	m ³	4.75	1.00	4.75	8.49	40.34		LC, 2023
5.3.6.2	Suministro y colocación de solado fc= 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	3.96	1.10	4.36	20.00	87.11		LC, 2023
5.3.6.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	16.40	1.10	18.04	37.68	679.76		LC, 2023
5.3.6.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.79	1.00	0.79	27.71	21.89		LC, 2023
5.3.6.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	77.15	1.10	84.86	3.49	296.09		LC, 2023
5.3.6.6	Suministro y colocación de concreto fc=210 Kg/cm ²	m ³	0.97	1.10	1.07	278.57	297.23		LC, 2023
5.3.7	Caja de descarga 7							1,422	
5.3.7.1	Excavación en suelo natural	m ³	4.75	1.00	4.75	8.49	40.34		LC, 2023
5.3.7.2	Suministro y colocación de solado fc= 100 kg/cm ² (e=5 cm)	m ²	3.96	1.10	4.36	20.00	87.11		LC, 2023
5.3.7.3	Suministro y colocación de encofrado y desencofrado	m ²	16.40	1.10	18.04	37.68	679.76		LC, 2023
5.3.7.4	Suministro y colocación de piedra cementada (incluye 1 km de transporte)	m ³	0.79	1.00	0.79	27.71	21.89		LC, 2023
5.3.7.5	Suministro, habilitación, armado y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	77.15	1.10	84.86	3.49	296.09		LC, 2023
5.3.7.6	Suministro y colocación de concreto fc=210 Kg/cm ²	m ³	0.97	1.10	1.07	278.57	297.23		LC, 2023
COSTO DIRECTO (US\$)								1,741,971	
II	COSTOS INDIRECTOS (US\$)								766,100.44
1.0.0	Aseguramiento de la Calidad								191,250
1.1.0	Aseguramiento de la Calidad de Construcción - Supervisión QA	Glb						191,250.00	
2.0.0	Gastos Generales								400,653
2.1.0	Gastos fijos y gastos variables (23% CD)	Glb						400,653.34	
3.0.0	Utilidad								174,197
3.1.0	Utilidad (10%)	10%						174,197.10	
COSTO INDIRECTO (US\$)								766,100	
III	COSTO DIRECTO + INDIRECTO								2,508,071
Contingencia (% del costo directo + indirecto)			10.0%					250,807	
IV	COSTO TOTAL CAPEX (US\$)								2,758,879
	Datos de Ingreso Datos enlazados Notas: Los costos no incluyen IGV								

Matriz de Consistencia

Título “CONSIDERACIONES PARA UN PLAN DE MINADO PARA UN AÑO EN COMPAÑÍA MINERA NEXA RESOURCES EL PORVENIR”.				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema general ¿Qué consideraciones se debe tener en cuenta en la elaboración del plan de minado para el próximo año en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir?</p> <p>Problemas específicos Problema específico a ¿Qué actualizaciones de los parámetros se realizarán en el área de geología, geomecánica, método de minado, para el próximo año en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir?</p> <p>Problema específico b ¿Qué actualizaciones de los parámetros se realizarán en el área de operaciones mineras, servicios auxiliares, programa de producción, avances y de la seguridad, para el próximo año en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir?</p>	<p>Objetivo general Determinar las consideraciones que se debe tener en cuenta en la elaboración del plan de minado para el próximo año en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir.</p> <p>Objetivos específicos Objetivo específico a Determinar las actualizaciones de los parámetros que se realizarán en el área de geología, geomecánica, método de minado, para el próximo año en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir.</p> <p>Objetivo específico b. Determinar las actualizaciones de los parámetros que se realizarán en el área de operaciones mineras, servicios auxiliares, programa de producción, avances y de la seguridad, para el próximo año en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir.</p>	<p>Hipótesis General Las consideraciones que se debe tener en cuenta en la elaboración del plan de minado para el próximo año deben concordar con el DS 024 – 2016 – EM, en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir.</p> <p>Hipótesis específicas Hipótesis específica a Las actualizaciones de los parámetros que se realizarán en el área de geología, geomecánica, método de minado, para el próximo año deben concordar con el DS 024 – 2016 – EM. en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir.</p> <p>Hipótesis específica b Las actualizaciones de los parámetros que se realizarán en el área de operaciones mineras, servicios auxiliares, programa de producción, avances y de la seguridad, para el próximo año deben concordar con el DS 024 – 2016 – EM, en la Empresa Nexa Resources S.A. (Nexa Resources), Unidad El Porvenir.</p>	<p>Variables para la hipótesis general - Plan de minado. -DS 024 – 2016 – EM</p> <p>Variables para la hipótesis específicas Variables para la hipótesis específica a -Parámetros geología, geomecánica, método de minado -DS 024 – 2016 – EM</p> <p>Variables para la hipótesis específica b -Parámetros operaciones mineras, servicios auxiliares, programa de producción, avances y de la seguridad -DS 024 – 2016 – EM</p>	<p>-Tipo de I. aplicativo. -Nivel de I. Descriptivo, analítico Diseño de I.es no experimental muestra La muestra está compuesta por el área de geología, geomecánica, mina, servicios auxiliares, seguridad.</p>

PANEL FOTOGRÁFICO





