

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Evaluación geotécnica en la construcción de recrecimiento de
diques R4 y R5, en la presa de relaves Huachuacaja**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Ederson Eddie HIDALGO SOLIS

Asesor:

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO

Cerro de Pasco – Perú - 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Evaluación geotécnica en la construcción de recrecimiento de
diques R4 y R5, en la presa de relaves Huachuacaja**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Arturo Luis LAZO PAGÁN
PRESIDENTE

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO

Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios por guiarme e iluminarme

A mis padres Leoncio y Ive por brindarme

su apoyo incondicional

A mis docentes universitarios quienes compartieron

Sus experiencias para mi formación profesional.

Ederson Eddie

AGRADECIMIENTO

A mi alma máter, a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a los catedráticos de la Escuela de Ingeniería Geológica, por sus enseñanzas impartidas durante mi formación profesional.

De igual manera mi gran profundo y eterno agradecimiento a mi familia, que constituyen la fuerza y el estímulo para seguir adelante en la culminación de este trabajo.

Al equipo de trabajo, compañeros de SMEB por sus consejos y orientaciones en la adquisición de datos, quienes de forma desinteresada estuvieron presente cada instante

RESUMEN

Sociedad Minera El Brocal S.A.A. (SMEB), pertenecientes al grupo Buenaventura necesita construir los recrecimientos de los diques R4 y R5 a la cota 4214 del depósito de relaves Huachuacaja, con el objetivo de atender el requerimiento operacional de mina subterránea y el incremento de producción de planta de colector las aguas de lluvia y evitar que estas ingresen al depósito de relaves y para contención del depósito de relaves Huachuacaja del área circundante.

Las características geotécnicas encontradas en la zona de trabajo, nos permiten recomendar la construcción por recrecimiento de los diques R4 y R5, que permitirán la continuidad de la explotación de la minera. Los resultados de los ensayos de suelos en su mayoría están compuestos de un suelo granular, a profundidades mayores de 3 m, se tienen un suelo residual con resistencias de mayores a 40 golpes de DPL , los criterios de diseño, logueo de calicatas, ensayos geofísicos en algunas zonas existe rechazo lo que nos permite deducir que el material que servirá como base para el dique tiene una consistencia media a alta, asimismo el análisis sísmico y el cálculo de factor de seguridad nos permite determinar que la estabilidad del dique a la sismicidad es alta.

Palabras Claves: Caracterización geotécnica, estabilidad, dique de relaves, mecánica de suelos.

ABSTRACT

El Brocal Mining Society S.A.A. (SMEB), belonging to the Buenaventura group, needs to build the extensions of the R4 and R5 dams at level 4214 of the Huachuacaja tailings deposit, with the aim of meeting the operational requirement of the underground mine and the increase in production of the water collection plant. of rain and prevent them from entering the tailings deposit and for containment of the Huachuacaja tailings deposit from the surrounding area.

The geotechnical characteristics found in the work area allow us to recommend the construction of dikes R4 and R5 by regrowth, which will allow the continuity of the mining operation. The results of the soil tests are mostly composed of a granular soil, at depths greater than 3 m, there is a residual soil with resistances greater than 40 DPL blows, the design criteria, pit logging, geophysical tests in some areas there is rejection which allows us to deduce that the material that will serve as the base for the dam has a medium to high consistency, likewise the seismic analysis and the calculation of the safety factor allow us to determine that the stability of the dam to seismicity is high.

Keywords: Geotechnical characterization, dam stability, tailings dam.

INTRODUCCIÓN

La Investigación desarrollada nos muestra una secuencia clásica realizada en una prospección geotécnica para ver la factibilidad del proyecto para su ejecución. Por lo tanto la estructura de la investigación se encuentra desarrollada de la siguiente manera: El Capítulo I, en la que identificación y planteamiento de problema de investigación, el Capítulo II, es el marco teórico donde se muestra un resumen de cómo se utiliza la geotecnia y geología en determinar o encontrar la posibilidad de la construcción de los diques R-4 y R-5, el Capítulo III, la metodología, el tipo de investigación y técnicas de investigación está diseñado para entender como es el proceso de la investigación y el Capítulo IV, es el resultado de la investigación, donde se generaliza los datos de ubicación del proyecto, geología, análisis sísmico, factores de diseño, condiciones actuales de los diques, exploraciones con sondajes, exploración mediante calicatas ,ensayos geofísicos, ensayos de laboratorio, análisis de la estabilidad para posteriormente enfocarnos en la caracterización geotécnicas que se encuentran en la zona. Finalmente; interpretación de resultados, conclusiones, recomendaciones.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1	IDENTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
	1.3.1 Problema general.....	2
	1.3.2 Problemas específicos.....	2
1.4	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	2
	1.4.1 Objetivo general.....	2
	1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.6	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES DE ESTUDIO	4
	2.1.1 Antecedentes locales.....	4
	2.1.2 Antecedentes nacionales.....	5
	2.1.3 Antecedentes internacionales	6
2.2	BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICOS	7
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	29
2.4	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	32
	2.4.1 Hipótesis general	32

2.4.2	Hipótesis específicas	32
2.5	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	32
2.5.1	Variable independiente.....	32
2.5.2	Variable dependiente.....	32
2.6	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	32

CAPITULO III

MÉTODOLÓGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	34
3.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.3	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	35
3.4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	35
3.5.1	Población.....	35
3.5.2	Muestra.....	36
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS	36
3.6.1	Técnicas	36
3.6.2	Instrumentos.....	36
3.7	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	36
3.8	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	36
3.9	ORIENTACIÓN ÉTICA, FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA.....	36

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	37
4.1.1	Ubicación y accesibilidad.....	37
4.2.	PRESENTACIÓN ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	38
4.2.1	Geología	38
4.2.2	Análisis sísmico	41
4.2.3	Factores de diseño	43
4.2.4	Condición actual de los diques R4 Y R5	44
4.2.5	Investigaciones geotécnicas de campo.....	47
4.2.6	Exploración con sondajes	47
4.2.7	Exploración geotécnica mediante calicatas.....	51
4.2.8	Ensayos DPL.....	52

4.2.9	Ensayos geofísicos	54
4.2.10	Ensayos de laboratorio	58
4.2.11	Ensayos especiales en suelo	60
4.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	60
4.3.1.	Caracterización geotécnica de los materiales de los diques r4 y r5 y del terreno fundación.....	60
4.3.2.	Discusión del análisis geotécnico de los diques R4 Y R5.....	64
4.3.3.	Parámetros sísmicos	65
4.3.4.	Análisis de infiltración	66
4.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
4.4.1.	Análisis de estabilidad	67

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Presa De Retención Para La Disposición De Relaves Vick S. G. (1990).....	8
Figura 2 Muestra El Proceso De Construcción Una Presa De Relave Con El Método Aguas Arriba. Vick S. G. (1990)	10
Figura 3 Factores Importantes Que Influyen En La Ubicación Del Nivel Freático Son La Permeabilidad De La Fundación. Vick S. G. (1990).	11
Figura 4 Muestra El Proceso De Construcción Una Presa De Relave Con El Método Aguas Abajo. Vick S. G. (1990).....	12
Figura 5 Muestra La Curva Volumen Del Depósito Versus Elevación Superficial Del Depósito. Vick S. G. (1990).....	13
Figura 6 Muestra La Curva Volumen Del Depósito Versus Tiempo En Años Vick S. G. (1990)	14
Figura 7 <i>Muestra La Curva Volumen Del Depósito Versus Elevación De Corona.</i> Vick S. G. (1990)	14
Figura 8 Muestra La Curva Volumen De Relleno Versus Tiempo En Años. Vick S. G. (1990)	14
Figura 9 Muestra El Proceso De Construcción Una Presa De Relave Con El Método Línea Central.	16
Figura 10 Muestra La Comparación De Alternativas De Presas De Relaves. (Vick S. G. (1990)	18
Figura 11 Superficie De Falla Circular En Un Talud (Knight, Z. (2015).....	26
Figura 12 Superficies De Falla Potenciales De Un Talud (Knight,Z. 2015).....	27
Figura 13 Falla Por Desplazamiento Traslacional (Knight,Z. 2015).....	27

Figura 14 Superficie De Falla Compuesta (Knight,Z. 2015)	28
Figura 15 Falla Por Tubificación (Goodarzi, Ziaei, & Shui, 2013)	29
Figura 16 Ubicación De La U.M. Colquijirca Y Los Diques R4 Y R5 Del Depósito De Relaves Huachuacaja (Google: 2022).....	37
Figura 17 Geología General De Los Diques R4 Y R5	38
Figura 20 Comparación De Espectros De Peligro Uniforme.....	43
Figura 21 Eje Proyectado Del Dique R4.....	45
Figura 22 Eje Proyectado Del Dique R5.....	45
Figura 23 Sondajes Diamantinos R4.....	50
Figura 24 Sondajes Diamantinos R5.....	50
Figura 24 Resultados De Los Ensayos Masw Ejecutados En El Dique R4 Y R5 (Lara Consulting 2019).....	57
Figura 25 Vista En Planta De Los Diques R4 Y R5 (Google Earth, 2022)	64
Figura 26 Ubicación De Las Secciones Seleccionadas Para El Análisis De Estabilidad Física Del Dique R4 Secciones A- Y B- Google Earth,.....	68
Figura 27 <i>Sección Transversal De Los Diques Para Construcción</i>	69
Figura 28 Sección En El Software Slide 8.0	70
Figura 29.1 Bishop Simplificado En Condiciones Estáticas.....	70
Figura 29.2 Janbu Simplificado En Condiciones Estáticas	71
Figura 29.3 Janbu Corregido En Condiciones Estáticas.....	71
Figura 29.4 Spencer En Condiciones Estáticas	72
Figura 30.1 Bishop Simplificado En Condiciones Seudo-Estáticas	72
Figura 30.2 Janbu Simplificado En Condiciones Seudo-Estáticas.....	72

Figura 30.3 Janbu Corregido En Condiciones Seudo-Estáticas	73
Figura 30.4 Spencer En Condiciones Seudo-Estáticas	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Muestra La Comparación De Las Características De Los Tipos De Presas De Relaves Según De Depósito De Agua Vick S. G. (1990).....	19
Tabla 2 Muestra La Comparación De Las Características De Los Tipos De Presas De Relaves. Según El Costo Vick S. G. (1990)	19
Tabla 3 Ubicación De Las Coordenadas Del Proyecto.....	41
Tabla 4 Resultados De Análisis Peligro Sísmico Probabilístico - Suelo Tipo B (Asce 7-16)	42
Tabla 5 <i>Resultados De Análisis Peligro Sísmico Determinístico - Suelo Tipo B (Asce 7-16)</i>	42
Tabla 6 (Rev. 0) Resumen De Calicatas (Campaña Lara Consulting).....	46
Tabla 7 Resumen De Sondajes	49
Tabla 8 Resumen De Calicatas Interpretación R4.....	51
Tabla 9 Resumen De Calicatas Interpretación R5.....	52
Tabla 10 Resumen De Ensayos De Penetración Dinámica Ligera (Dlp)	53
Tabla 11.2 Resumen De La Ubicación De Los Ensayos Mam, M Asw Y Masw- 2d (Dique R4)	56
Tabla 12 <i>Resumen De Ensayos Estándar En Calicatas Y Dpl</i>	59
Tabla 13 Resumen Ensayos Especiales	60
Tabla 14 Conductividad Hidráulica De Los Materiales Que Conforman Los Diques R4 Y R5.....	67
Tabla 15 Rcm Geoconstants (Geotechnics Academy México 2020).....	70
Tabla 16 Resumen Del Factor De Seguridad.....	73

Tabla 17 Cantidad De Material Se Debe Usar Para La Construcción De Los Diques. **75**

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 Identificación y planteamiento del problema

La construcción de presas de relave tiene que cumplir con ciertas características geotécnicas para lograr la estabilidad requerida para que pueda brindar seguridad a las instalaciones construidas y las que se encuentren al entorno.

Asimismo, cuando se presente un incremento de la producción de relave y es necesario aumentar la capacidad de almacenamiento de la presa o dique, se tiene que realizar una evaluación geotécnica para determinar si es posible construir el recrecimiento de los diques.

La empresa minera de la unidad minera de Colquijirca, requiere construir por recrecimiento de los diques denominados R4 y R5, de la presa de relaves Huachuacaja, por lo tanto, es necesario realizar una evaluación geotécnica para determinar la posibilidad de construir los diques mencionados.

La estabilidad de los diques y de las presas de relave, están influenciados por: la resistencia de los suelos, rocas, la infiltración y los aspectos sísmicos, que deben cumplir requisitos geotécnicos para lograr la seguridad de los mismos.

Uno de los problemas que se requiere es garantizar un lugar de almacenamiento del material del relave y que la empresa minera pueda continuar sin interrupciones su producción minera.

1.2 Delimitación de la investigación

Como es un proyecto realizado en una empresa minera, su aplicación es en la zona de estudio, y además serviría como consulta en temas similares.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿En qué grado la evaluación geotécnica de los diques R4 y R5, permitirá su construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja?

1.3.2 Problemas específicos

- a. ¿De qué manera influyen las características geotécnicas de los diques R4 y R5, influyen en su construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja?
- b. ¿Cómo las características geológicas de los diques R4 y R5, influyen en su construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja?

1.4 Formulación de objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las características geotécnicamente de los diques R4 y R5, para la construcción del recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Determinar las características geotécnicas de los diques R4 y R5 para construcción del recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.
- b) Determinar las características geológicas de los diques R4 y R5 para construcción del recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.

1.5 Justificación de la investigación

Se justifica la realización de la evaluación geotécnica, porque se requiere la construcción del recrecimiento de los diques R4 y R5, porque la empresa minera ha incrementado la producción del relave y es necesario aumentar el volumen de almacenamiento de la presa, para garantizar que la empresa minera continúe con sus operaciones de producción.

1.6 Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se tiene son: El uso del software es de carácter privado, asimismo los datos de laboratorio son datos carácter privados solamente para uso en la zona de estudio.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

2.1.1 Antecedentes locales

Cristobal (2018) “Construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para el control de contaminación ambiental en la compañía minera Chungar S.A.C.”, nos da pautas de cómo se debe construir el recrecimiento de una presa de relaves, en el marco de controlar el impacto ambiental en la zona del proyecto, ensayos en laboratorios de mecánicas de suelos, mecánicas de rocas y suelos.

Mendieta (2018) “Estudio de ingeniería a nivel detallado para el crecimiento de la presa de relaves “El Porvenir” de Compañía Minera Milpo S.A.A de San Francisco de Asís de Yarusyacan, Pasco”, Implica el recrecimiento del dique principal del depósito de relaves mediante el método de línea central y aguas abajo, cuyo relleno es de relaves con la “fracción gruesa”, desde el nivel de dique cuya cota es 4,043 msnm, el cual fue construido con material de relleno de tierra y desmonte rocoso con determinadas especificaciones físicas y propiedades químicas. Según la información de campo, el desarrollo de los ensayos de laboratorio interpretación y los resultados de pruebas geofísica, se

realizaron análisis de infiltración y análisis de estabilidad de taludes, en condiciones estáticas y con sismo para establecer la altura máxima de crecimiento, garantizando la estabilidad integral del dique principal. El estudio supuso 2,5H:1V en la parte superior de relaves gruesos del talud de la presa aguas arriba, que tuvo que compactarse con un rodillo vibratorio plano hasta lograr un grado de compactación de al menos 85%. máxima densidad seca por prueba estándar de Proctor.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Breña (2019) “Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba, Cajamarca, Perú” Su objetivo principal es proporcionar información a los profesionales en la planificación, diseño y ejecución de obras de estabilización de taludes inestables para prevenir o mitigar pérdidas humanas, económicas y deterioro ambiental por deslizamientos de los taludes de las carreteras. para ello permite analizar los aspectos generales, análisis detallado de estabilidad, aplicación práctica, características y aspectos críticos de problemas de estabilidad de taludes, caracterización geotécnica de los materiales, diseño y construcción de muros claveteados, métodos de estabilización de taludes, procedimientos de investigación y diseño de taludes.

Chapilliquen (2017) “Caracterización Geotécnica del suelo y roca para el diseño de pozas sedimentadoras en la zona de Ciénega Norte – Tantauatay, Cajamarca” , plantea como objetivo principal La implementación del cartografiado geológico y geotécnico, perforaciones diamantinas, excavaciones de calicatas, ejecución de ensayos de SPT, ensayos de permeabilidad en su interior, ensayos LDPT, ensayos geofísicos que comprendieron la ejecución de ensayos de Refracción Sísmica y IP; muestreo de los materiales para ser ensayados.

2.1.3 Antecedentes internacionales

Siddique et al. (2015) "Slope mass rating and kinematic analysis of slopes along the national highway-58 near Jonk, Rishikesh, India": El objetivo es realizar un mapeo de pendientes y un análisis cinemático en la Carretera Nacional 58 en Jokki, Rishikesh, India. La evaluación de la calidad del macizo rocoso requiere una evaluación cualitativa y cuantitativa de los taludes. Este estudio se enfoca en la caracterización de macizos rocosos utilizando Rock Mass Rating (RMR), Slope Mass Rating (SMR) y Landslide Susceptibility Score (LSS), que indican que las laderas tienen una susceptibilidad baja a moderada a deslizamientos de tierra. Los valores de RMR varían entre 9 y 58, lo que significa que el macizo rocoso es de buena calidad. El valor de SMR del área de estudio está entre 66 y 70, lo que indica que pueden existir algunas fallas que requieren mantenimiento ocasional.

Sobarzo et al. (2011) "Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina Concepción, Chile ". En primer lugar, se elabora una descripción geológica de la roca sedimentaria perteneciente a la Formación Quiriquina utilizando mapas e información geológica existente. Luego, se presentan los resultados de ensayos de corte directo realizados en laboratorio, los cuales permiten determinar los valores de los parámetros de resistencia de las areniscas pertenecientes a la Formación Quiriquina. Finalmente, se analiza la estabilidad de taludes en areniscas mediante métodos de equilibrio límite. Los casos de lesiones de aviación y de cuña se analizan utilizando valores de parámetros obtenidos en pruebas de laboratorio. La conclusión es que, además de la importancia de determinar adecuadamente el valor de cohesión y el ángulo de fricción en condiciones residuales y saturadas, también es importante la determinación inicial de las posibles superficies de falla.

Monir (2011) "Stability Analysis of Anchored Rock Slopes against Plane Failure Subjected to Surcharge and Seismic Loads". El objetivo de este trabajo es investigar el análisis de estabilidad de taludes

rocosos considerando el anclaje del daño plano bajo carga sísmica. Entre las conclusiones se encuentra que el factor de seguridad del talud de roca aumenta a medida que aumenta tanto el ángulo de resistencia al corte como la cohesión del material de la junta. La tasa de crecimiento del factor de seguridad es mayor cuando aumenta el ángulo de fuerza cortante, mientras que permanece constante cuando aumenta la cohesión potencial. Cabe señalar que, para el análisis de estabilidad de taludes de rocas, es importante considerar valores realistas de todos los parámetros basados en las condiciones reales del campo.

Kafle et al. (2010) "Slope Mass Rating in Middle Mountain of Nepal: A Case Study on Landslide at Rabi Vdc Opi Village, Kavre". El objetivo de la investigación fue realizar el análisis de estabilidad de taludes de la villa Rabi Opi, tomaron datos de campo y muestras para análisis de laboratorio. El valor calculado de SMR es 34, lo que indica que se encuentra en la clase IV (malo), inestable en falla planar y puede producirse grandes cuñas y se debe tomar medidas correctivas en el talud.

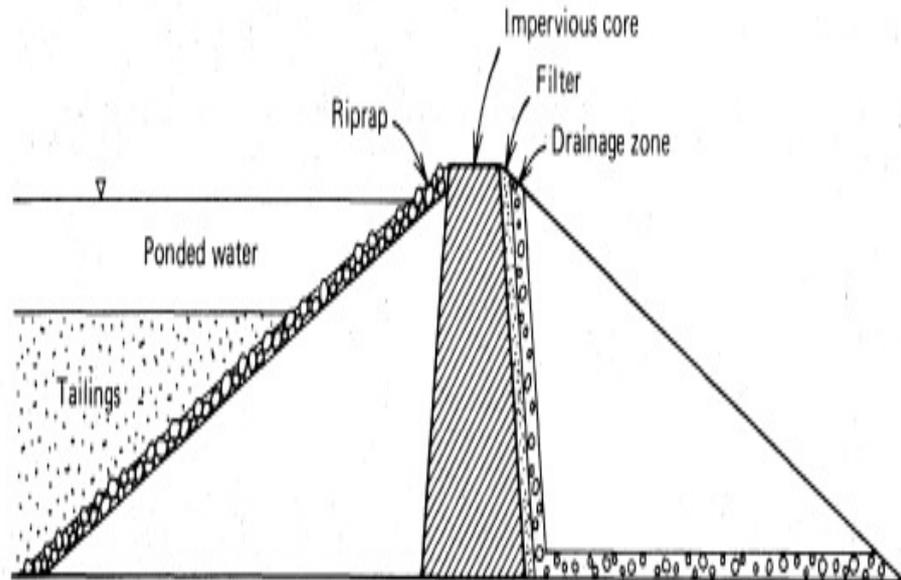
2.2 Bases teóricas – científicos

Presas de relave

Para que continúe el desarrollo minero es necesario construir grandes depósitos para almacenar materiales que provienen de la extracción de los minerales, denominados relaves (tailing). En el método convencional de almacenamiento, estos materiales son embalsados y confinados mediante una presa construida con la fracción gruesa del material, la cual clasifica como arena fina. La construcción de estas presas de relaves es común en el sector por su bajo costo si se compara con otras construidas con otro tipo de material. Un problema de trascendencia e interés dentro del campo de la ingeniería sísmica ha sido el relativo a los proyectos de depósitos de relaves, los cuales son construidos buscando acumular el mayor volumen de material de desecho en la menor área

posible, por lo que se construyen tan altos como su estabilidad y las regulaciones ambientales lo permitan. Debido a sus magnitudes y características estos depósitos almacenan gran cantidad de energía potencial, que, al ser liberados, podrían traer consecuencias catastróficas en sus alrededores. Vick S. G. (1990).

Figura 1 Presa De Retención Para La Disposición De Relaves Vick S. G. (1990)



Tipos de presas de relave

Según Vick S.G. (1990), para almacenar los residuos de los relaves que en realidad son la disposición superficial de los mismos se tienen presas de varios tipos, asimismo se almacena el agua residual del proceso de concentración del mineral. Existen dos tipos de estructuras de retención: Presas de tierra y/o enrocamiento y presas de relaves.

Estas presas de tierra y/o enrocamiento se les construye utilizando las directrices de una presa para almacenar agua, las presas que se construyen de este modo sus taludes de aguas arriba tienen la dificultad que de no adaptarse cuando pueda ocurrir el vaciado rápido. Su construcción se realiza antes de empezar a realizar la deposición de los relaves para lograr su altura final. Para construir una presa de relave, esta se realiza por etapas a medida que se vaya almacenando los relaves hasta cuando se logre el almacenamiento máximo de relaves. Inicialmente se construye el dique con material de préstamo, con una

altura necesaria para acumular un volumen de relave para un período de dos o tres años, permitir asimismo la acumulación adicional de flujos de agua. Para realizar la construcción de la elevación de la presa utilizando diversos tipos de materiales donde están incluidos suelos de préstamos, material estéril extraído de una excavación, residuos de relaves y arenas finas, depositadas en forma hidráulica y ciclocenada.

La elevación del crecimiento de la presa puede dividirse en tres tipos: el tipo que se construye Aguas Arriba, el de construcción Aguas Abajo y las que se construyen en la Línea Central. Estos tipos se encuentran con referencia al rumbo en que se moviliza la parte más alta de la presa, con referencia al inicio del dique de arranque para que crezca su altura, Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019).

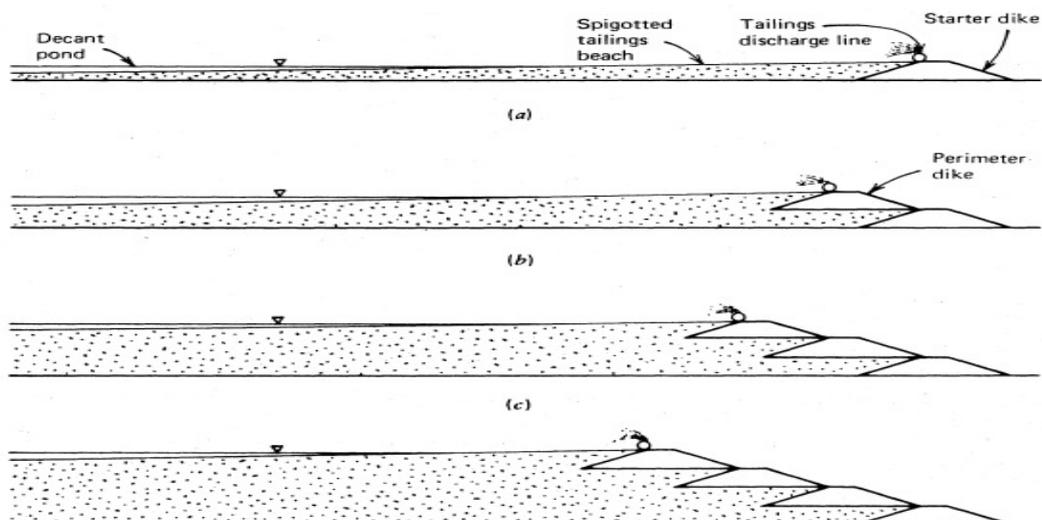
Presa de relave aguas arriba

Para construir por este método se debe utilizar una parte del material relaves, que debe ser excavado en su parte más baja para que se utilice en construir las capas que se depositara unas sobre otras, que es el dique de arranque.

Posterior a esta construcción se descargan los relaves en forma periférica desde la parte superior formando una capa como se puede ver en la figura 03-(a). La capa construida será la base para construir el siguiente dique como se puede apreciar en la figura 02-(b). Este tipo de construcción es repetitivo hasta alcanzar la altura requerida de la presa. De esta manera se forman capas de relaves que forman diques delimitados de una resistencia adecuada para soportar a los diques del perímetro. La cantidad de arena debe ser no menor de 40 - 60% del total de material de relave que se descarga. Cuando el material está compuesto por un material de roca blanda o de arcillas tipo fosfatos, residuos de carbón fino; material fino de Bauxita roja o e potasio, además pueden ser material no se pueden construir presas de aguas arriba.

El bajo costo económico y su construcción simple son las mejores ventajas de este método. Para construir los diques perimétricos es indispensable volúmenes pequeños de relleno puestos en forma mecánica, pudiendo ser la construcción de diques de gran altura, pero de menor costo. Las arenas que se encuentran en los relaves Con frecuencia las arenas de relaves de las capas son materiales que se usan en la construcción de diques perimétricos, colocados luego ser excavados. El método Aguas Arriba se encuentra limitado por que es necesario realizar un control del nivel freático, verificar la capacidad de almacenar agua y la posible licuefacción de las arenas. El nivel freático es un factor sumamente crítico para determinar la estabilidad de un relleno. Vick S. G. (1990). Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Figura 2 Muestra El Proceso De Construcción Una Presa De Relave Con El Método Aguas Arriba. Vick S. G. (1990)

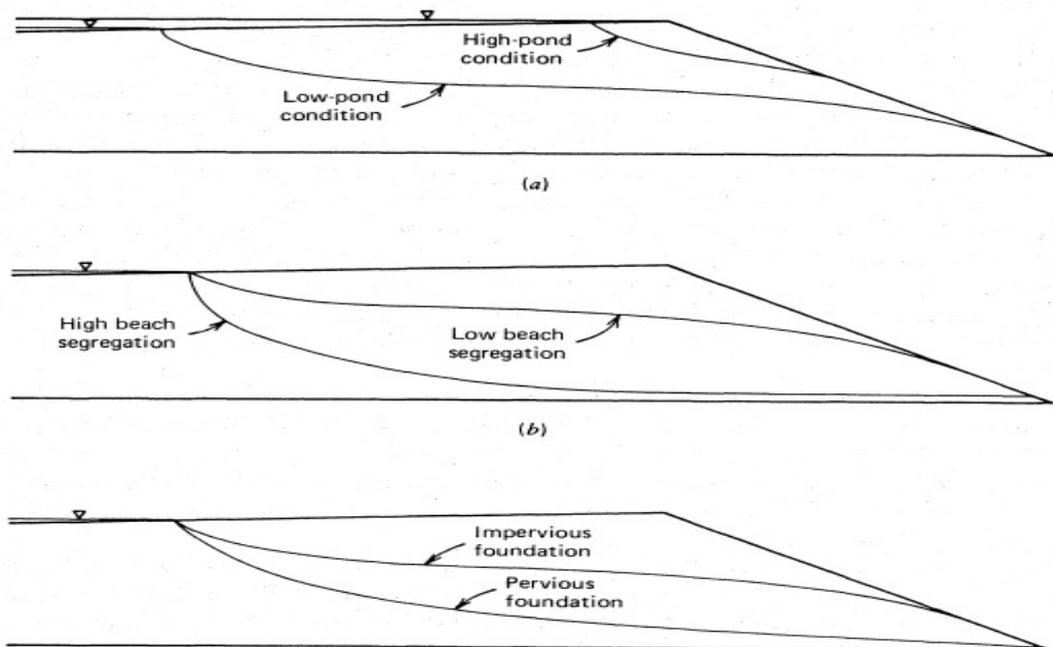


En la figura 03 se puede apreciar que el nivel freático está influenciado por la permeabilidad del material que se encuentra en la fundación del dique, asimismo la separación de los tamaños de las partículas que conforman el relleno con la permeabilidad lateral del di

De la misma manera hay una relación del nivel del agua filtrada con la parte más alta de la presa. En la figura 03-(a), el nivel del agua filtrada se ubica

encima del nivel de relaves de material grueso, conduciendo a que la presa presente una inestabilidad por el nivel freático elevado en la cara de la presa. En algunos casos se puede presentar que el agua se eleve arriba de la corona y produzca el quiebre de la presa. Entonces las fallas en las presas de aguas arriba, se producen por la distancia de separación necesaria entre el nivel de agua almacenada filtrada y la corona de la presa. Este factor se puede controlar ubicando el agua filtrada más atrás de la cresta de la presa, haciendo la descarga de los relaves mediante grifos y decantación de los mismos. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Figura 3 factores importantes que influyen en la ubicación del nivel freático son la permeabilidad de la fundación. Vick S. G. (1990).



La licuefacción se puede presentar en este método cuando los materiales presentan menor densidad relativa y se encuentran muy saturados, que pueden acarrear problemas desastrosos.

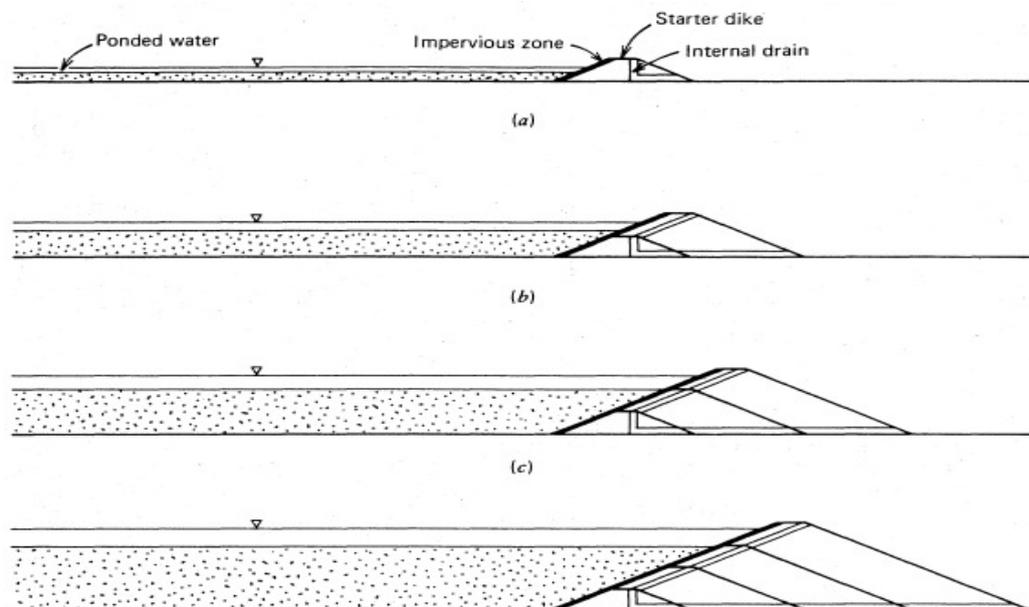
Asimismo, este método no es muy apropiado en zonas con regular actividad sísmica. También existe el riesgo de falla, cuando se produce un rápido

creciente de la presa por que produce una elevación en la presión de poros. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Presa de relave aguas abajo

Para la construcción de una presa Aguas Abajo, se inicia por una presa de arranque donde los relaves son almacenados, figura 04-(a). En las figuras 04-(b), (c), (d); se observan los periodos de crecimiento en una presa aguas abajo que se construye al colocar en el talud una capa de relleno. En la construcción se puede emplear drenajes internos, capas cuasi impermeables para controlar el nivel freático. La presa construida por este método almacena grandes volúmenes de agua en forma directa contra el talud de la presa. Además, colocando un sistema de descarga del perímetro que forma una capa ancha de relave, permite un buen control del nivel freático sin colocar elementos estructurales de impermeabilidad y drenaje. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Figura 4 Muestra El Proceso De Construcción Una Presa De Relave Con El Método Aguas Abajo. Vick S. G. (1990)



Para controlar el nivel freático manteniéndolo en un nivel bajo en el relleno puede utilizarse la compactación del relleno, además este tipo de construcción es

resistente a la licuefacción del relleno y se puede emplear en zonas de sismicidad media.

La presa aguas abajo tienen la desventaja que por tener gran almacenamiento del relleno es muy alto el costo de su construcción. Asimismo, otro inconveniente sería la disposición de relleno para realizar la construcción de muchos crecimientos de la presa. Es necesario que los materiales a emplearse en su construcción como desmontes de mina o arenas de relaves se encuentren disponibles para construir el cuerpo de la presa, pero puede darse el caso que la construcción de la altura de presa se da en forma sucesiva necesitando el material en forma constante, por lo que se requiere un planeamiento para que se asegure que el material de relleno se encuentre disponible cuando se necesite en la construcción del mismo. En los gráficos 01, 02, 03, y 04. Se realizan un análisis para determinar el planeamiento del material requerido en la construcción de la presa aguas abajo. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Figura 5 Muestra la curva volumen del depósito versus elevación superficial del depósito. Vick S. G. (1990)

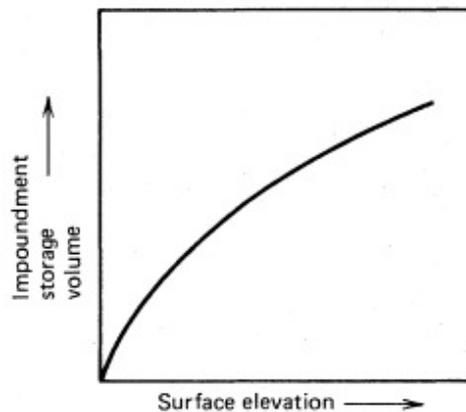


Figura 6 Muestra la curva volumen del depósito versus tiempo en años Vick S. G. (1990)

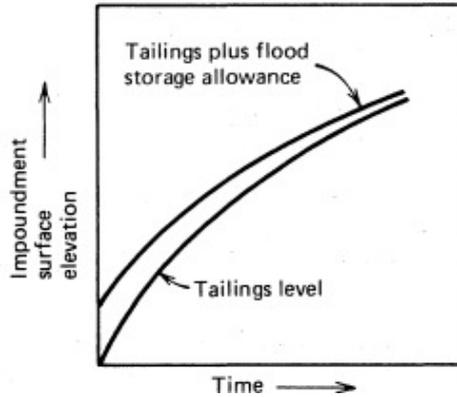


Figura 7 Muestra la curva volumen del depósito versus elevación de corona. Vick S. G. (1990)

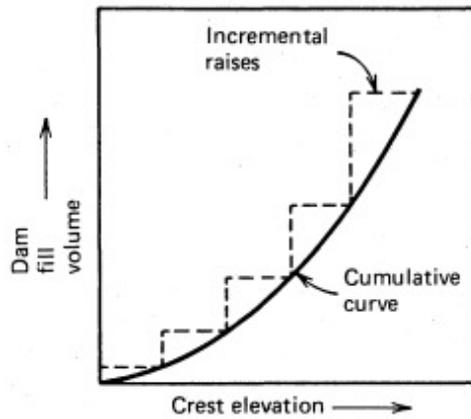
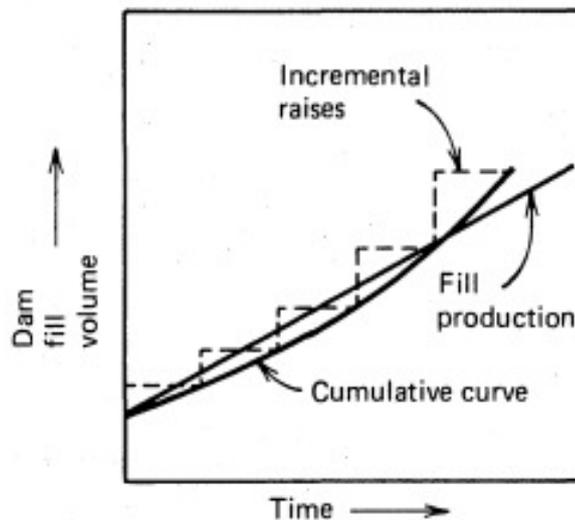


Figura 8 Muestra la curva volumen de relleno versus tiempo en años. Vick S. G. (1990)



En la figura 05, se observa que la curva volumen de la presa con la elevación superficial del mismo está en relación con la topografía. La curva segunda que se observa en la figura 06; es una relación de la elevación de la

superficie de la presa en el tiempo. Para almacenar la filtración de aguas por lluvias extraordinarias es necesario incrementar la altura de la presa como se parecía en la curva superior del gráfico 06. Vick S. G. (1990). Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

El figura 07, se observa el crecimiento de la corona en función al volumen de relleno de la presa, esta se puede determinar utilizando la sección transversal de la presa relacionándolo con la topografía a lo largo del eje de la presa. Para construir con el método de presas aguas abajo para incrementar la altura de manera constante requerimos volúmenes de material de relleno. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

En el figura 08, se observa el volumen del material de relleno requerido por la presa en relación del tiempo, como consecuencia de los figura 06 y 07. El Laboratorio metalúrgico proporciona la curva de producción de relaves, la acumulativa se calcula para cada caso, ploteando los valores de las curvas del figura 02 y 03. Construyendo un dique de arranque inicial más alto, con materiales de préstamo de suelos naturales, cambiando la curva hacia arriba de producir relleno en el figura 08, puede resolver construir con la producción del relave suficiente en los primeros años, e insuficiente para elevar alturas más altas de la presa.

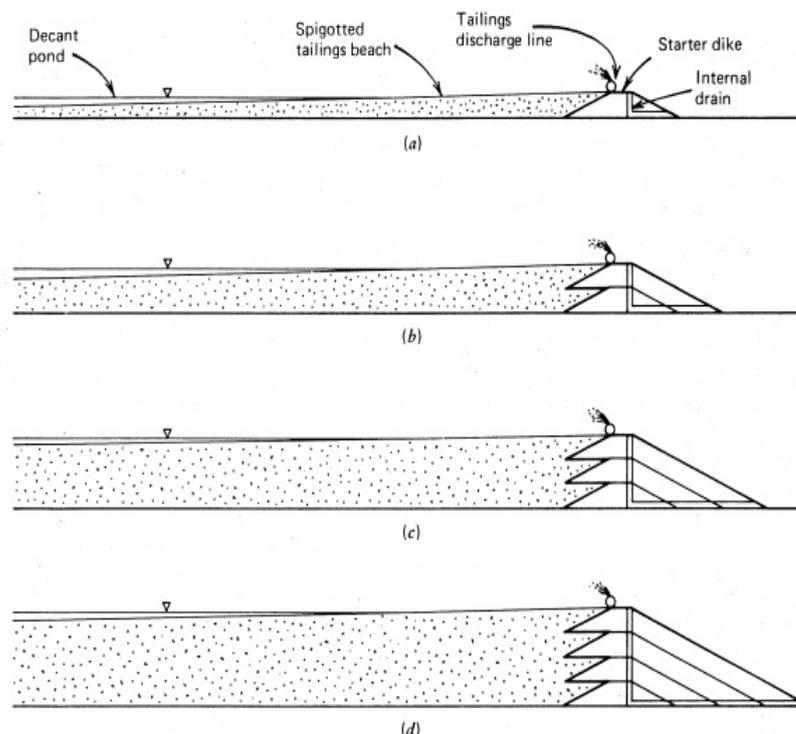
Construir una presa de aguas abajo construida con arena compactada y ciclo nada, es más segura en zonas con actividad sísmica. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Presa de relave de la línea central

Construir por este método de la línea central se puede decir que es el intermedio entre los métodos aguas arriba y aguas abajo en muchos factores. Su construcción logra ventajas de los dos métodos y disminuye sus desventajas. La construcción de la presa de la línea central, se inicia con un dique de arranque, que con su cresta distribuye el material del relave en todo el perimetral logrando

el almacenaje del depósito. Los levantamientos posteriores se construyen al colocar el relleno encima de la capa y en el talud aguas abajo construidas anteriormente. Los levantamientos de las presas de líneas de centro coincidirán a medida que el relleno de la presa progresa. Asimismo, se pueden colocar los controles del nivel freático como drenajes internos dentro del relleno de la presa, entonces no afectará la estabilidad de la presa. Para lograr una playa de arena de capacidad razonable es necesario el "espigoteado" a lo largo del perímetro, para que soporte el relleno que se colocará encima, en la construcción de la elevación. Con respecto al ancho de la playa esta no es necesario que sea grande, es suficiente un material que tiene una pequeña porción de arena para que pueda depositarse en pequeña playa cerca al punto de descarga. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Figura 9 Muestra El Proceso De Construcción Una Presa De Relave Con El Método línea central.



El método de construcción de línea central no se puede usar como presa permanente para grandes profundidades de agua, que lo diferencia de las presas aguas abajo, para que no altere la estabilidad de la presa se diseñarán lugares

cuasi impermeables internas y de drenes. Se permite la influencia del agua al momento del levantamiento y en forma temporal durante el flujo de lluvias extraordinarias. Este método de la línea central posee una aceptable resistencia sísmica, porque en su construcción el cuerpo principal del relleno de la presa se encuentra compactado y por lo tanto está controlado la saturación por drenaje interno. Puede ocurrir una falla limitada que puede comprometer el relleno que se encuentra aguas arriba por efecto de la licuefacción en la playa de relaves. Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019).

La estabilidad de la presa no será afectada mientras las partes central y aguas abajo de la presa se encuentren sin perturbación y el agua no se almacena en forma directa contra la presa. Para que se obtenga una altura de presa adecuada el volumen de relleno es la intermedia entre los métodos aguas arriba y aguas abajo, por lo tanto, los costos son intermedios. Cuando se utiliza desechos de mina o arenas de relaves cicloneadas, la relación entre lo que se requiera de relleno y los índices de producción de relleno se pueden convertir en un problema. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Selección de presas de relaves

Para solucionar el problema de almacenar de relaves, es necesario realizar un análisis del método donde se debe tener en cuenta la como se encuentra la zona, el flujo de relaves y la producción de material de desecho de mina. Es necesario comprar diferentes tipos de terraplenes sobre todo teniendo en cuenta el costo. ES bueno considerar que el costo del terraplén debe ser proporcional al volumen total del relleno, en la figura 06 se realiza varias comparaciones de terraplenes. Cuando las alturas de los rellenos son iguales y para configuraciones mostradas, el método aguas abajo o el tipo de presas de retención de agua es necesario de aproximadamente tres veces más relleno que una presa con el método aguas arriba de altura igual. La controversia entre los volúmenes de relleno para los tipos de presas es más grande con el incremento

de la altura. El costo de relleno de presa es un factor que afecta significativamente en muchos casos, en forma singular en presas altas cuando se producen grandes volúmenes de relaves. Pero, los costos de rellenos de presas al costo total de la colocación de los relaves, varía grandemente. Muchas veces, los costos para extraer la parte superior del suelo de las áreas del depósito, el revestimiento del depósito, o el mejoramiento o restauración puede exceder lejos el valor de los costos del relleno de la presa. La selección de tipos de presas de relaves que han sido de mayor eficacia han sido los seleccionados por antecedente anteriores, observaciones empíricas que por análisis racionales de cada método. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Figura 10 Muestra La Comparación De Alternativas De Presas De Relaves. (Vick S. G. (1990)

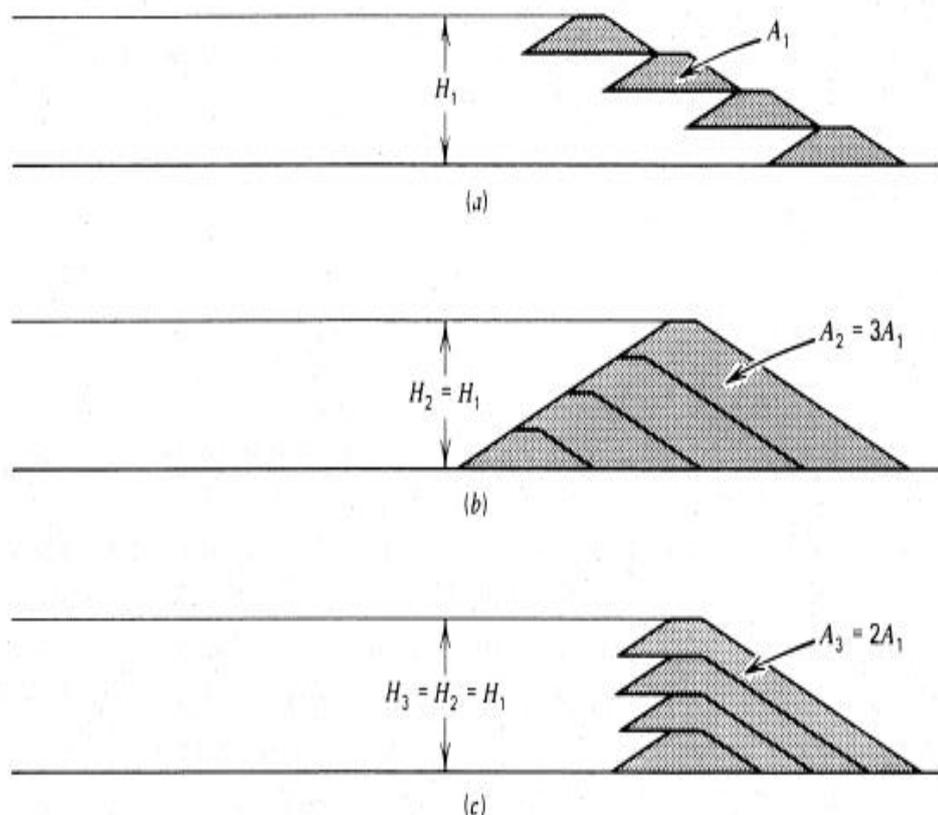


Tabla 1 Muestra la comparación de las características de los tipos de presas de relaves según de depósito de agua Vick S. G. (1990)

TIPO DE PRESA	REQUERIMIENTOS RELAVES	REQUERIMIENTOS DESCARGA	ADECUADO DEPOSITO AGUA
Materiales Convencionales (Tierra)	Adecuado para cualquier tipo de relaves	Adecuado para cualquier descarga	Bueno
Aguas Arriba	Del total del relave al menos 40% - 60% es arena. La densidad pulpa es baja para lograr una segregación de los gramos por tamaños.	Descarga periférica y una necesaria playa bien controlada	No adecuado para deposito de agua significativa
Aguas Abajo	Adecuado para cualquier tipo de relaves	Varia de acuerdo a detalles de diseño.	Bueno
Linea Central	Arenas o limos de baja plasticidad	Descarga periférica	No recomendable como depósito

Nota. Aspectos físicos con forma de recrecer

Tabla 2 Muestra La Comparación De Las Características De Los Tipos De Presas De Relaves. Según el costo Vick S. G. (1990)

TIPO DE PRESA	RESISTENCIA SISMICA	RESTRICCIÓN CRECIMIENTO	REQUERIMIENTO RELLENO PRESA	COSTO RELATIVO
Materiales Convencionales (Tierra)	Bueno.	Presa completa construida inicialmente.	Suelo natural préstamo	Alto
Aguas Arriba	Pobre en áreas de alta sismicidad.	Mayormente deseable entre 5 - 10 m/año. Es peligroso para mayor de 15 m/año.	Suelo natural arena de relaves o desechos de mina	Bajo
Aguas Abajo	Bueno.	NINGUNO	Arena de relaves o desechos de mina si la producción es suficiente o suelo natural.	Alto
Linea Central	Aceptable.	Restricciones de altura para levantamientos individuales.	Arenas de relaves o desechos de mina si la producción es suficiente o suelo natural.	Moderado

Nota. Aspectos físicos con forma de recrecer y estimación de costos

Estudios geotécnicos

Se debe realizar los siguientes estudios:

Investigación de la zona de cimentación

Los estudios que se realizan son similares a los de una presa clásica. Se requieren realizar un estudio geológico y de mecánica de suelos donde involucran toma de datos superficiales, reconocimiento de la calidad de los suelos y del macizo rocos donde se efectuarán la cimentación, asimismo es necesario conocer la permeabilidad, densidad, compresibilidad y resistencia al corte. Los estudios geológicos es la elaboración de un mapa geotécnico de los suelos y rocas superficiales, se realizan cortes transversales en la zona, asimismo se estudian imágenes satelitales del área, también se debe realizar un análisis del riesgo sísmico de la zona. Debe determinarse el reconocimiento de estabilidad de taludes que pueden producirse en la zona. Se debe estudiar la influencia de las fallas que se encuentran en la zona asimismo se debe determinar zonas de rocas de baja resistencia y las que tienen alta permeabilidad. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Perforaciones o sondeos.

Se realizan perforaciones con recuperación de testigos para que se realicen ensayos que sirven para determinar los factores mecánicos de las rocas y suelos que servirán de cimentación. La planificación se realiza en base a la geología de la zona. Se debe planificar la cantidad, ubicación, tipo y profundidad de las perforaciones que dependerá, del tipo y altura de la presa de relaves. Se realizan insitu los ensayos de la resistencia de los suelos y dureza de la roca, asimismo se determina los niveles freáticos del agua subterránea. Las muestras de las perforaciones deben ser inalteradas de suelos y rocas. Muchas veces es necesario realizar trincheras o calicatas a cielo abierto. Muchas veces es necesario realizar estudios geofísicos, tipo sísmicos, que nos dan información

indirecta del perfil estratigráfico del terreno de la cimentación. Estos estudios nos proporcionan datos del comportamiento del nivel freático subterráneo de las distintas zonas propuestas, que nos proporciona datos para seleccionar y cuantificar el material que se encuentra alrededor de la zona de para utilizarlo como material de construcción de la presa inicial. Una de las ventajas de la prospección geofísica es su costo bajo relativo. Para determinar la permeabilidad se puede utilizar las perforaciones utilizando el método Lúgeon para caracterizar los suelos y rocas. Asimismo, se pueden utilizar piezómetros colocados en las perforaciones en ciertas zonas en los terraplenes, con el propósito de obtener datos de las perturbaciones del nivel de agua. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Las muestras de suelos para ensayos

Los materiales a emplear en la construcción de una presa de desechos mineros incluyen, además de los materiales de procesos de la planta minera, materiales del lugar tales como suelos y rocas que servirán para la construcción. Será necesario además conocer las características de los suelos y rocas de apoyo de las presas. Para ello se deben sacar muestras, realizar ensayos granulométricos y clasificar los materiales según el sistema de Clasificación Unificado de Suelos. Se extraerán muestras no disturbadas a fin de obtener datos de la capacidad in-situ de los materiales correspondientes a las cargas actuales y humedad del terreno. Las muestras a extraer se separarán para dos fines: un pequeño grupo para la clasificación textural y otro grupo para determinar las características físicas con contenidos de humedad simulados. El número de muestras no disturbadas serán las necesarias para determinar las propiedades físicas de los suelos involucrados. Las determinaciones incluyen usualmente el análisis mecánico, efectuado por medio de tamices, el ensayo con hidrómetro, la determinación de la gravedad específica y de los límites de Atterberg. Los límites

de Atterberg son ensayos de plasticidad que ponen de manifiesto la presencia y cantidad de material coloidal en arcillas. Los ensayos de compresión triaxial o corte directo de muestras no disturbadas o remodeladas permiten obtener los datos respecto a la resistencia al corte, consolidación y permeabilidad. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Los dos tipos de ensayos in-situ, realizados con perforaciones, son el de penetración, que nos da la capacidad del suelo a la penetración o capacidad soporte, y el de permeabilidad, que permite obtener datos respecto a las características de filtración de los suelos de apoyo. El ensayo de penetración es una medida de la energía requerida para deslizar por penetración una punta normalizada en un suelo o roca. El método de ensayo es un procedimiento empírico que se utiliza para estimar las características del soporte de los suelos, basados en la experiencia de suelos semejantes. Los ensayos de permeabilidad son también muy usados por los diseñadores de presas para conocer las características de los suelos o las rocas de apoyo. En el estudio de suelos se emplea el ensayo de carga hidráulica constante en una perforación, llenando con agua el hueco de la perforación, manteniendo siempre el mismo nivel por medio del agregado del líquido que sea necesario. A medida que va bajando el nivel se toman lecturas del volumen incorporado por la unidad de tiempo para mantener constante el nivel de agua en la perforación. Para la determinación de la permeabilidad en las rocas se emplea el ensayo tipo Lúgeon que se realiza en perforaciones hechas con barrenos, colocando tapones de una cierta longitud en los extremos de los segmentos a investigar e inyectando agua a presión y midiendo la cantidad de líquido que es absorbida en un determinado tiempo. Este ensayo es especialmente útil para investigar rocas con fallas o diaclasas y proyectar los tratamientos (inyecciones) a realizar, especialmente cuando son necesarias cortinas de impermeabilización o para fijar posibles pérdidas a verificarse en obra. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Las pruebas de laboratorio.

Para determinar las características mecánicas de los suelos y rocas de cimentación que soportará la presa de relaves, Así también de los materiales que se encuentran en los alrededores como materiales de préstamos, para ser empleados en construir las presas iniciales. Los tipos de estudio será determinado por el especialista en geotecnia, como también extraer muestras y realizar los ensayos necesarios. En muestras no alteradas se realizarán los siguientes estudios:

- Clasificación visual
- Límites de Atterberg
- Análisis granulométrico de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- Ensayos de Compresión triaxial, para determinar la resistencia al corte de los suelos y rocas de cimentación
- Humedad natural, para muestras saturadas.
- Ensayos de consolidación y permeabilidad.

Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Evaluación de los materiales de préstamo

Es necesario que Los materiales de préstamo deberían ser ensayados, porque serán utilizados en construir los diques iniciales o bermas. En estos casos se deben realizar en suelos compactados a diversas densidades:

- Clasificación textural o por tamaños de los granos.
- Límites de Atterberg,
- Ensayo de compactación
- Compresión triaxial
- Consolidación
- Permeabilidad

Los materiales tipo relave también deben ser ensayados

- Clasificación visual
- Límites Atterberg
- Análisis mecánico de clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos,
- Gravedad específica o peso específico
- Análisis químico, etc.

De la misma manera se deben realizar los ensayos similares realizados en los materiales de cimentación o de los materiales de préstamo. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Análisis de sismicidad

Es necesario diseñar las presas de relaves para que resistan una actividad sísmica que pueda efectuarse en la zona. Los sismos influyen en la base de la presa, para eso se deben realizar análisis sismo tectónicos estáticos y dinámicos. Asimismo, se deben considerar los efectos por sismicidad inducida por el almacenaje de la presa. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Evaluación impactos ambientales

Actualmente se tiene que estudiar el tratamiento a la contaminación producida por el transporte de las partículas finas por el aire, como también el tratamiento a la contaminación del agua. Asimismo, es necesario realizar un control de las filtraciones naturales del agua, porque es un tema muy crítico, dado que se han incrementado la construcción de presas de relaves o desechos mineros e industriales realizadas por empresas que ejecutan explotación de yacimientos de minerales o industrializan materiales que tienen importantes cantidades de deshecho contaminante.

Actualmente los gobiernos regionales y municipales realizan inspecciones de control de impacto ambiental. Los usos que se puede dar al agua filtrada de los relaves pueden ser:

- Fuente para generar energía eléctrica.
- Lagos artificiales para fines turísticos.
- Se puede utilizar para generar una planta de agua

El agua filtrada puede ser devueltos al cauce natural de los ríos y de drenaje que se encuentran en la zona de la presa de relave.

Es necesario realizar un control y monitoreo vertical y horizontal de la filtración de las aguas en la ubicación de las presas de relaves.

Una mayor inversión del proyecto es neutralizar los fluidos que se generan en el proceso de concentrar los minerales. Si al hacer el análisis de encontrar la zona adecuada, no se ubica la que reúne las condiciones básicas, es necesario realizar en el área donde se ubicará la presa de relaves la impermeabilización necesaria. Para evitar posibles filtraciones en las instalaciones es necesario realizar la impermeabilización de la base de la presa de relaves, porque puede realizarse la combinación de fluidos sin contaminación con otro que si es contaminante produciendo efectos adversos. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

En el diseño de las presas de relave, se deben realizar los procesos de control que deben activarse para prevenir el polvo y los elementos químicos que pueden contaminar las aguas subterráneas. La prevención de contaminantes en el proyecto debe ser considerados en todas las etapas de construcción de las presas de relaves. Vick S. G. (1990) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

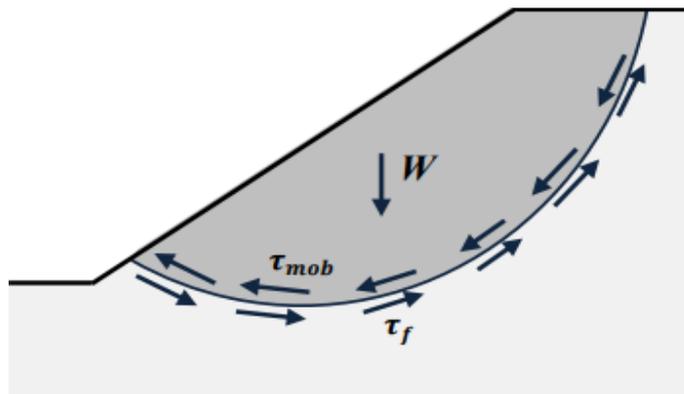
Fallas en el talud de las presas de relave

Según Knight Z. (2015), pueden distinguirse las siguientes formas de falla en un talud.

Falla con deslizamiento en superficie rotacional

Para encontrar el factor de seguridad adecuado se analiza en una superficie de falla de forma de un arco de círculo. Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

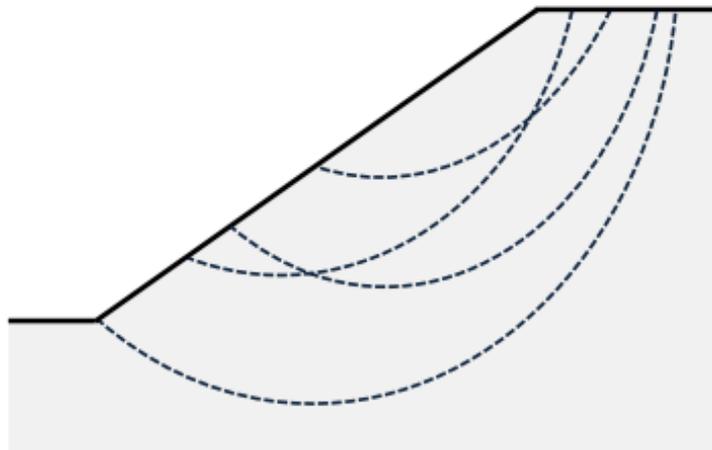
Figura 11 Superficie de falla circular en un talud (Knight, Z. (2015)



Donde: W = Peso de la masa de falla τ_{mob} = Resistencia al corte que permite el movimiento de la masa de falla τ_f = Resistencia a que no se produzca la falla. El deslizamiento por falla ocurre cuando la resistencia al corte en la superficie de falla, es igual o mayor que la resistencia al corte; La falla ocurrirá para un factor de seguridad menor que 1. Knight Z. (2015) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Si continuamos analizando podemos deducir de la figura anterior que existe un número infinito de posibles superficies de falla:

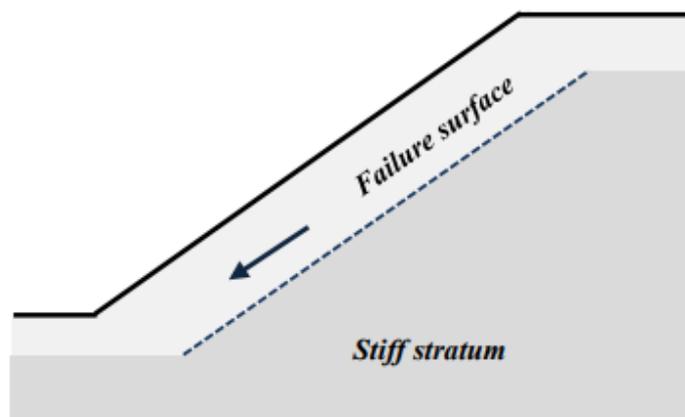
Figura 12 Superficies de falla potenciales de un talud (Knight,Z. 2015)



Falla con deslizamiento traslacional

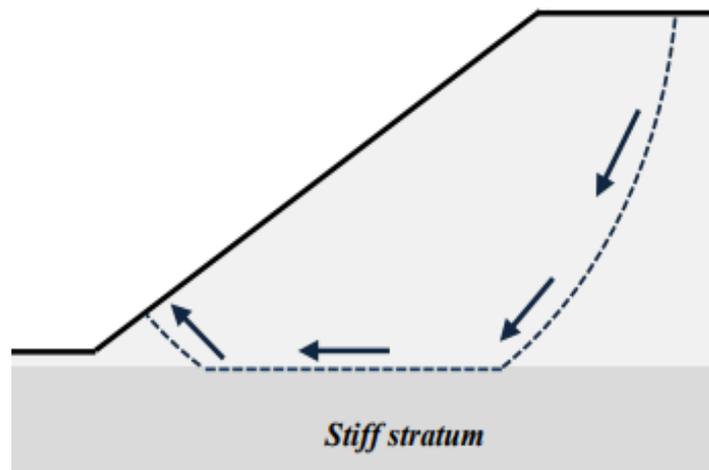
El desplazamiento traslacional es similar al desplazamiento rotacional, con la diferencia de que la superficie de falla es una línea recta en vez de curvilínea. Cuando el suelo débil que se encuentra encima de un suelo de mayor resistencia, se desliza cuesta abajo ocurriendo el deslizamiento o falla. Knight Z. (2015) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Figura 13 Falla por desplazamiento traslacional (Knight,Z. 2015)



La combinación entre una falla rotacional y una falla traslacional (llamada también falla compuesta) ocurre cuando la superficie de falla es circular, pero es interceptado por un estrato rígido causando una superficie de falla recta a lo largo de la interfaz entre los estratos. Knight Z. (2015) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Figura 14 Superficie de falla compuesta (Knight,Z. 2015)



Falla posible en la cimentación

Cuando se generan planos de baja resistencia entre la cimentación de la presa y su terraplén se producen discontinuidades donde se producen deslizamientos, compuestas o traslacionales. Estas pueden producirse en presas que se construyeron aguas arriba, donde, falla puede producirse en la cimentación porque los terraplenes anteriores se utilizan como cimentación para colocar compactar el dique. Knight Z. (2015) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Falla por desbordamiento

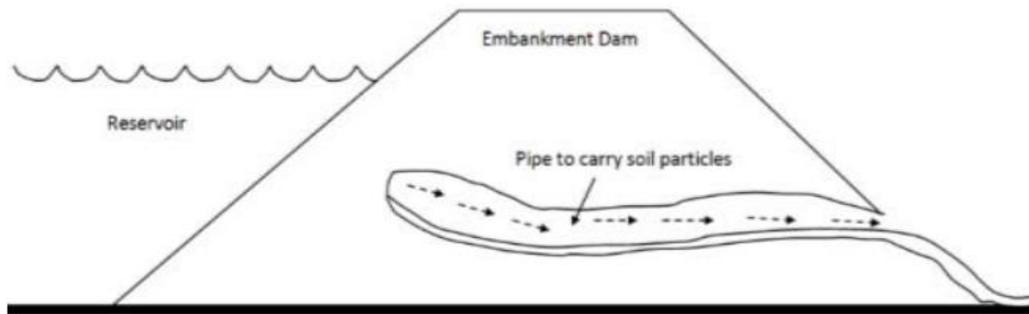
Cuando ocurre por lluvias extraordinarias, por inundaciones o mal procedimiento de almacenar los relaves el nivel de agua aumenta excesivamente, se produce un desborde, entonces puede romperse la pared del dique aguas arriba y se produce una erosión de la pendiente que puede ocasionar una falla de la presa de relaves. Para que no ocurra es necesario efectuar el drenaje del agua superficial y las aguas de escorrentía, los cálculos de los mismos nos ayudan a realizar el diseño adecuada de la presa de relave. Knight Z. (2015) Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

Falla por tubificación

La tubificación ocurrirá cuando la presión de agua por filtración de una zona de baja presión en la cimentación de la presa fluya hacia la zona de

cimentación provocando una erosión interna en la cimentación de la presa haciendo que las partículas del suelo se remuevan y provocan una falla por tubificación. Knight Z. (2015) Quispe T. D. & Zúñiga E. A. (2019)

Figura 15 Falla por tubificación (Goodarzi, Ziaei, & Shui, 2013)



Falla por licuefacción

Cuando las partículas del suelo que se encuentran en suspensión en las presas se convierten en viscosas producto de un movimiento sísmico o por movimientos de maquinarias, entonces estas partículas no consolidadas pueden hacer fallar a la presa por licuefacción. Knight Z. (2015). Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)

2.3 Definición de términos básicos

- ✓ **Estudio geotécnico:** Un conjunto de procedimientos para la generación y análisis de datos sobre las características del terreno, cuyo propósito es optimizar las condiciones del sitio y el diseño de sus cimientos y estructuras de soporte, o evaluar las condiciones generales de estabilidad de taludes y taludes y en el diseño. obras similares de estabilización y conservación.
- ✓ **Estabilidad:** El estado y condición de una estructura o masa de material cuando puede soportar esfuerzos aplicados a largo plazo sin deformación o movimiento apreciable que no se recupera o se recupera cuando se retira la carga.
- ✓ **Suelo:** Un término general para todos los materiales por encima del macizo rocoso que se pueden excavar con métodos y herramientas manuales

convencionales. Para distinguirlo de suelo o suelo cultivable, es apropiado utilizar el término regolito como sinónimo preferido de suelo. La descomposición física y química de las rocas produce sedimentos u otras acumulaciones de partículas no sólidas que pueden o no contener materia orgánica. El material con baja resistencia al corte se encuentra en suelos rocosos. El significado geotécnico de este término debe distinguirse del significado del suelo como medio de crecimiento natural para las plantas terrestres, para lo cual se recomienda el término solum.

- ✓ **Estrato:** cuerpo tabular o capa de roca sedimentaria que puede distinguirse visualmente de otros lechos independientemente de su litología o composición. Este término se suele utilizar para capas de más de 1 cm de espesor. Estrictamente hablando, el término no debe usarse para horizontes de suelo.
- ✓ **Factores de seguridad:** El punto de partida para el diseño es que las tensiones resultantes de la estructura o edificio sean inferiores a las tensiones admisibles del suelo durante el mantenimiento o la carga de trabajo. El diseño geotécnico utiliza un factor de seguridad global que tiene en cuenta o agrupa todas las incertidumbres asociadas al proceso de diseño, independientemente de que se aplique a la resistencia de los geomateriales o al efecto de las cargas.
- ✓ **Muestreo:** Seleccionar una o más muestras representativas de la calidad o características medias de la población; Un método de seleccionar muestras de una población para estudiar alguna parte de ella.
- ✓ **Talud:** Es un plano inclinado de suelo o roca, que presenta un buzamiento con respecto a un plano horizontal.
- ✓ **Falla de un talud:** Es el desplazamiento del material que se encuentra en el talud, produciendo un relativo movimiento hacia abajo e inclinado de toda la masa que participa del mismo

- ✓ **Deformaciones:** En el caso más general, el movimiento de un medio deformable se puede dividir en traslación y rotación (movimientos de cuerpo rígido) y deformación, que representa el movimiento relativo de los puntos materiales del sólido.
- ✓ **Sondeo:** Perforación realizada en el suelo por rotación e hincado, para lograr el perfil estratigráfico de los suelos o rocas.
- ✓ **Perforación Diamantina:** Es un sondeo que por medio de la rotación y percusión logra perforar el suelo o roca para conocer las características físicas del suelo que se encuentra debajo de la superficie.
- ✓ **Movimiento de Tierra:** La actividad que involucra el uso de suelos naturales, suelos de préstamo o material de roca para cuyo movimiento se utiliza mano de obra, equipo y herramientas. Las actividades de movimientos de tierra involucran cortes y rellenos de material hasta llegar a los niveles determinados en el Proyecto.
- ✓ **Clasificación de suelos AASHTO:** Clasificación de suelos; en función de su plasticidad y características granulométricas. Todos los suelos se clasifican en 8 grupos principales, indicados por los símbolos A-1, A-2, A-3, etc. Los tres primeros grupos corresponden a suelos gruesos; los grupos A-4 y A-5 corresponden principalmente a suelos limosos; los grupos A-6 y A-7 corresponden a suelos arcillosos; el grupo A-8 corresponde a suelo altamente orgánico. (Normas AASHTO M1 5 y ASTM D3282)
- ✓ **ASTM:** Acrónimo de American Society for Testing and Materials. Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales.
- ✓ **Calicata:** Término general que describe un estudio o una excavación exploratoria, generalmente superficial.

2.4 Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

La evaluación geotécnica de los diques R4 y R5, si permitirá la construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.

2.4.2 Hipótesis específicas

- a) ¿Las características geotécnicas de los diques R4 y R5, si influyen en la construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja?
- b) ¿Las características geológicas de los diques R4 y R5, si influyen en la construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja?

2.5 Identificación de variables

2.5.1 Variable independiente

Evaluación geotécnica de los diques R4 y R5

2.5.2 Variable dependiente

Construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.

2.6 Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADOR
Independiente: Evaluación geotécnica de los diques R4 y R5	Serie de características físicas y mecánicas que permiten un análisis de estabilidad.	Clasificación suelos Clasificación de rocas
Dependiente: Construcción de recrecimiento en la	Proceso de construcción por recrecimiento.	Estabilidad de los diques

presa de relaves Huachuacaja.		
----------------------------------	--	--

CAPITULO III

MÉTODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

El proyecto de investigación presenta las características de una investigación de tipo descriptivo y aplicativo.

Es descriptivo porque se realiza la descripción de las características geológicas y geotécnicas de los suelos y rocas para realizar un análisis de las propiedades mecánicas de los suelos y rocas.

Es aplicada por que se realiza con datos de campo y los resultados son para resolver un problema que se presenta en la zona investigada, para determinar la construcción del dique mencionado.

En base a lo formulado por Hernández y otros, (2014, p.92) donde especifica que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

Asimismo, utilizamos la definición de Lozada donde nos explica que “La investigación Aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma

práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo”. (Lozada, 2014, p. 35).

3.2 Nivel de investigación

El nivel es descriptivo suele ser la mejor forma de obtener información que muestre las relaciones y describa el mundo tal como es. Este tipo de investigación generalmente se realiza antes de realizar un experimento para obtener una comprensión clara de lo que debe manipularse y lo que debe incluirse en el experimento.

3.3 Métodos de investigación

El método a utilizarse para este proyecto es el método de Analítico - Sintético, que se constituye primero en la descomposición de un todo en sus elementos para examinarlas en forma individual (características geológicas y geotécnicas), cada una por separado y luego se les integra para determinar una solución global.

3.4 Diseño de la investigación

Se evalúa los principios geológicos y geotécnicos como una sola variable, con un grado de control mínimo, porque son datos de campo condicionados a muchos factores que muchas veces no son tomados en cuenta al momento de la evaluación, pero nos permite realizar un análisis para solucionar el problema de conocer las condiciones en que se encuentra el material estudiado para determinar la estabilidad de la presa. Con lo expuesto podemos establecer que estamos realizando una investigación de diseño pre-experimental.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

La población está representada por: La represa de disposición de Relaves Huachuacaja área de diques.

3.5.2 Muestra

La muestra está representada por los diques R4 y R5 que serán analizados para la estabilización.

3.6 Técnicas e instrumentos de la recolección de datos

3.6.1 Técnicas

- Se realiza un mapeo geotécnico de la zona investigada.
- Muestreos de suelos y rocas
- Ensayos de suelos y rocas

3.6.2 Instrumentos

- Mapas geotécnicos
- Resultados de los ensayos.

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se utilizarán la técnica clásica de mapeo geotécnico, asimismo el muestreo de suelos o rocas según sea el caso con los cuales se procesarán los datos en pasa de muestreo.

3.8 Tratamiento estadístico

En la investigación utilizamos la estadística descriptiva, sobre todo para conocer la media de los contenidos químicos de los materiales que se almacenarán.

3.9 Orientación ética, filosófica y epistémica

La investigación se realizará tratando de no realizar ninguna actividad que cause impacto negativo al ambiente donde se encuentra la zona del proyecto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo

4.1.1 Ubicación y accesibilidad

La U.M. Colquijirca dedicada a la explotación superficial de minerales de Plomo-Zinc-Cobre, se ubica a 300 km del NE de Lima, distrito de Colquijirca, provincia y departamento de Pasco, y a 20 km al SO de la ciudad de Cerro de Pasco a una altura promedio de 4 200 a 4 400 m s.n.m.

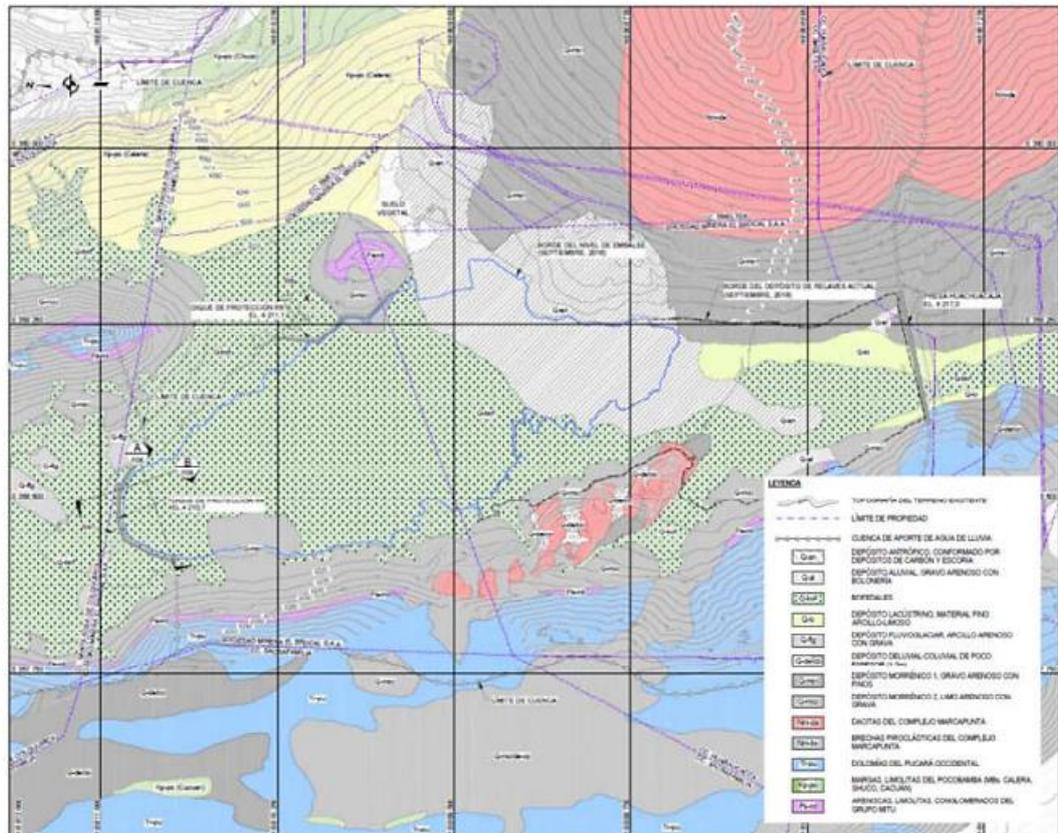
Figura 16 Ubicación de la U.M. Colquijirca y los Diques R4 y R5 del depósito de relaves Huachuacaja (Google: 2022)



4.2. Presentación análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Geología

Figura 17 Geología general de los diques R4 y R5



El sector Norte y NE del depósito de relaves Huachuacaja, tiene una morfología característica de un ambiente glacial, de sección transversal en forma de U, con superficies llanas a onduladas y superficies de pendiente suave a moderada, de tal forma que el depósito de relaves se configura íntegramente sobre un valle de fondo sub horizontal y amplio que alcanza un ancho máximo de 1 000 m. El valle se ha formado sobre un basamento rocoso de areniscas, conglomerados, limonitas y dolomías que se extienden hacia los flancos. Cubriendo a estos materiales se tienen depósitos glaciales, lacustrinos y suelos saturados bofedáticos. Hacia los flancos se extienden alineados en dirección NS los cerros Lachipana, Viscajaga, Puca Ingenio, Pumarrin, Huagato y San Cristóbal, los cuales se elevan hasta los 4 350 m s.n.m., a unos 150 m de desnivel sobre el fondo el valle. El valle corresponde al sector medio-alto de la cuenca del

rio Andacancha, sector denominado quebrada Huachuacaja. Al Norte, en el área de fundación del dique R4, el flanco Oeste está conformado por dolomías y conglomerados cubiertos parcialmente por depósitos glaciares, estas laderas tienen pendientes variables entre 15° y 30° y en algunos sectores, en las partes altas sobre las dolomías, se configuran farallones rocosos sub-verticales que están asociados a desprendimientos de bloques de roca. En el flanco NE, en el área de fundación del dique R5, las laderas tienen una pendiente promedio de 20° y se encuentran conformadas en su mayoría por areniscas, conglomerados y dolomías que se exponen en las máximas alturas; donde se configura una estructura sinclinal. Sobre este flanco, la continuidad de las laderas se encuentra cortada por dos (02) quebradas poco desarrolladas y que deben su desarrollo a fallas de contacto localizadas.

El fondo del valle es amplio y plano, sobre el que discurre de forma sinuosa el río Andacancha, dando lugar a la formación de bofedales y suelos orgánicos. Sobre las partes altas de las laderas de ambos flancos, se han identificado zonas de inestabilidad, las cuales involucran material rocoso dolomítico, específicamente de afloramientos rocosos intemperizados y fracturados, que dan lugar a la formación de bloques de roca suelta y su consecuente caída hacia las partes bajas.

- Perfil geológico R4

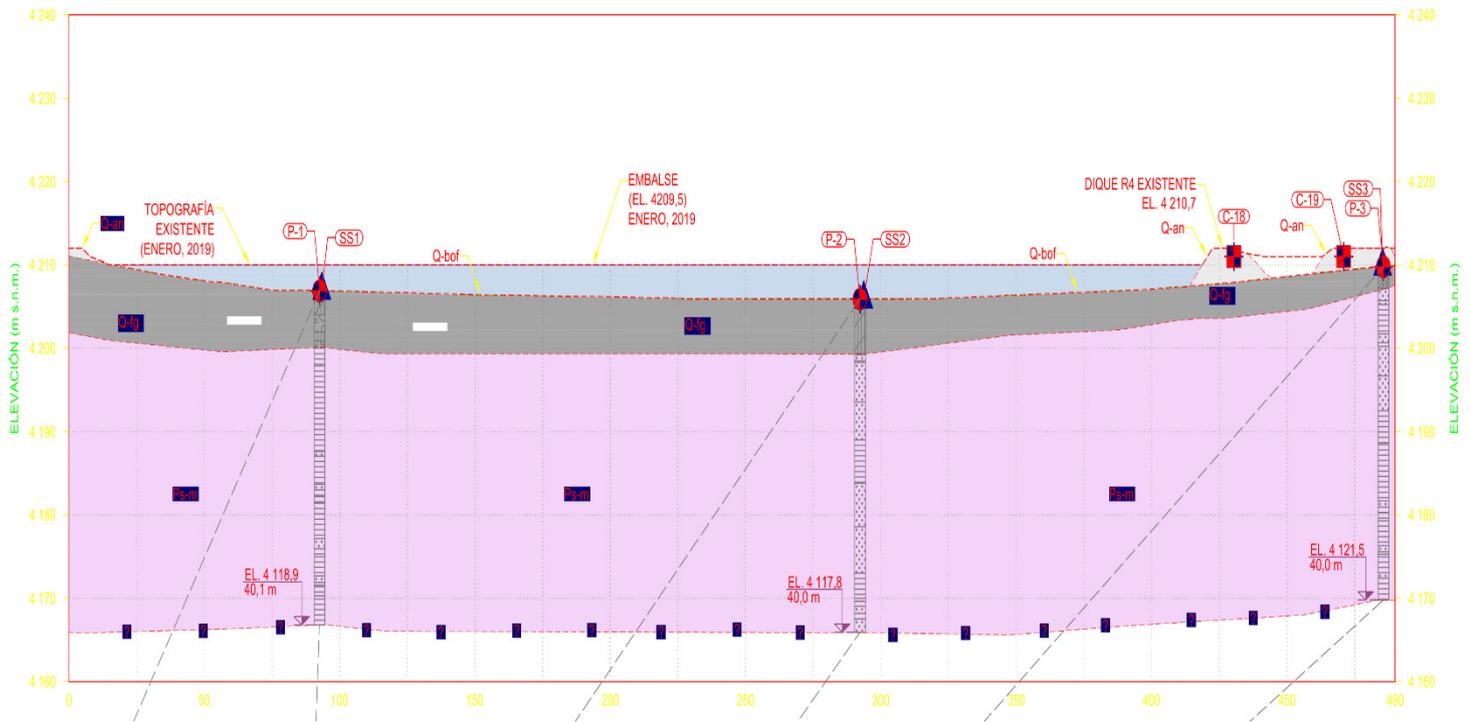


Figura 18 Perfil Geológico Del Dique R4

- Perfil geológico R5

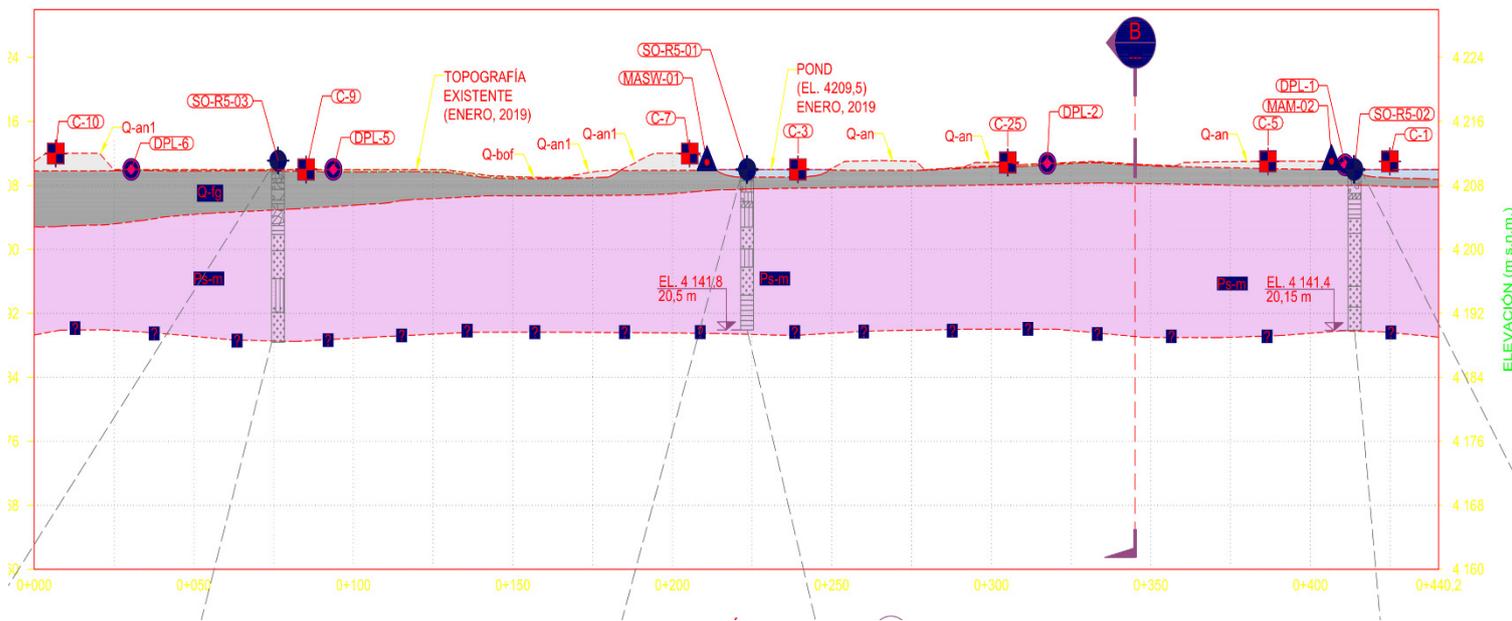


Figura 19 Perfil Geológico Del Dique R5

4.2.2. Análisis sísmico

Los resultados del análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA por sus siglas en inglés) y el análisis determinístico (DSHA por sus siglas en inglés) presentado por Lara Consulting para la Unidad Minera El Brocal, así como la generación de registros sintéticos. El análisis de peligro sísmico fue desarrollado considerando unas coordenadas representativas dentro del área del proyecto, las que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 Ubicación de las coordenadas del proyecto

SITIO	UTM WGS 84 Zona 18 S	
SMEB	Este (m)	Norte (m)
	359 077.00	8 807 532.00

Nota. Las coordenadas de ubicación han sido tomadas por un GPS Diferencial en modo estático con una precisión de $\pm 5\text{cm}$ en el sistema WGS84.

El modelo sismotectónico ha empleado un total de tres fuentes de subducción interfase, tres fuentes de subducción intraplaca intermedia, cinco fuentes de subducción intraplaca profunda y seis fuentes corticales. Dicho modelo fue caracterizado considerando el catálogo sísmico actualizado a julio de 2017. Las aceleraciones máximas horizontales de sitio se han considerado para un suelo tipo B ($V_s=30760\text{ m/s}$) según el ASCE-7, 2016 Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures sísmicos de 100, 250, 475, 975, 2 475, 5 000 y 10 000 años de periodo de retorno. El análisis determinístico se llevó a cabo para los eventos de subducción interfase e intraplaca con magnitudes de $M_w=8,8$ y $M_w=7,8$ respectivamente. Para este análisis inicialmente se incluyeron eventos de corteza, correspondientes a las fallas cercanas dentro de los 100 km de la zona de estudio que se muestran en el Mapa Neotectónico del Perú (INGEMMET, 2008-2009) estimando una magnitud M_w mediante las relaciones de Wells & Coppersmith (1995), sin embargo, no generan grandes solicitaciones sísmicas en comparación de los eventos de subducción. Los resultados del análisis

probabilístico se muestran en el Cuadro 1, considerando las aceleraciones espectrales para los periodos $T= 0,00$ s, $0,20$ s y $1,00$ s. En el Cuadro 2, se muestran resultados del análisis determinístico para eventos interfase y intraplaca, calculadas para un percentil 50 y 84. El valor del Sismo Máximo Creíble (SMC), corresponde al sismo de intraplaca de magnitud $M_w=7,8$ del Cuadro 2, al que le corresponde un valor de PGA de $0,56$ g, considerando el valor medio + 1 desviación estándar (Percentil 84). El SMC es el sismo de mayor magnitud razonable creíble que se considerada posible a lo largo de una falla conocida o dentro de una provincia tectónica geográficamente definida, bajo un marco tectónico conocido o supuesto.

Tabla 4 Resultados de Análisis Peligro Sísmico Probabilístico - Suelo Tipo B (ASCE 7-16)

SITIO	PERIODO DE RETORNO	PGA(g)	0.20s	1.00s
UNIDAD MINERA EL BROCAL	100	0.105	0.337	0.086
	250	0.232	0.507	0.13
	475	0.297	0.656	0.167
	1000	0.387	0.864	0.218
	2475	0.527	1.193	0.291
	5000	0.654	1.478	0.357
	1000	0.800	1.825	0.431

Nota. Considerando las aceleraciones espectrales para los periodos $T= 0,00$ s, $0,20$ s y $1,00$ s.

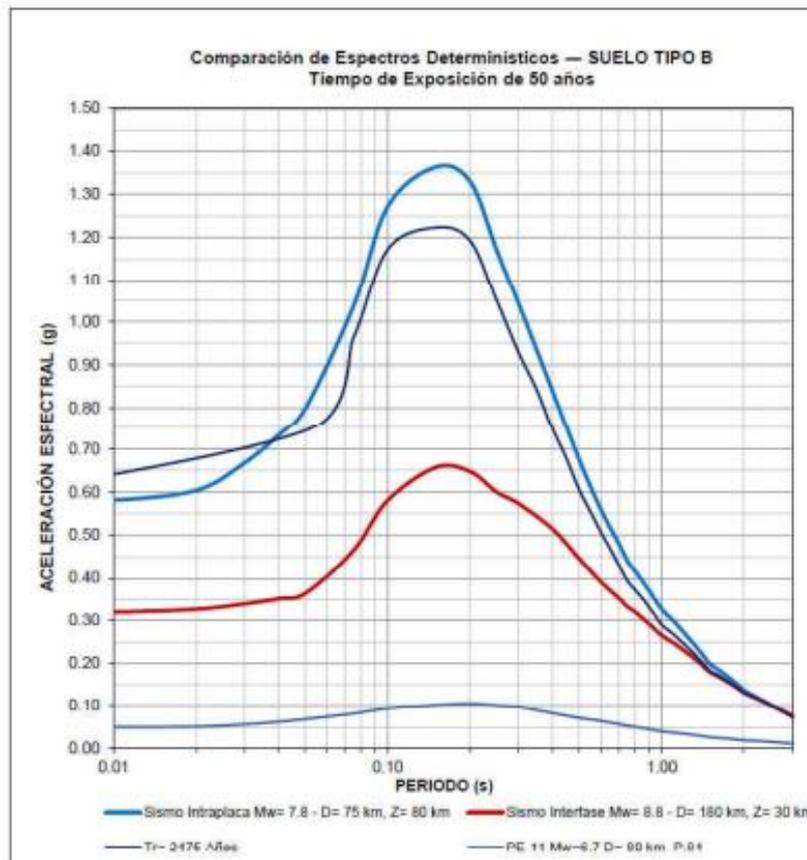
Tabla 5 Resultados de Análisis Peligro Sísmico Determinístico - Suelo Tipo B (ASCE 7-16)

SITIO	PERCENTIL	Sa 0.00 s (g)	Sa 0.20 s (g)	Sa 0.10 s (g)
Sismo Interfase $M_w=8.8$ X=180km Z=30km	P.50	0.155	0.314	0.130
	P.84	0.314	0.648	0.265
Sismo Intraplaca $M_w=7.8$ X=75km Z=80km	P.50	0.275	0.638	0.160
	P.84	0.559	1.329	0.327
PE -11 Falla de Cayesh X=80km Z=12km	P.50	0.028	0.057	0.021
	P.84	0.049	0.100	0.040

Nota. Se muestran resultados del análisis determinístico para eventos interfase y intraplaca.

Finalmente, la evaluación del análisis de peligro sísmico en el área de estudio ha proporcionado aceleraciones máximas (PGA) y espectros de peligro uniforme para un suelo Tipo B (V_{s30} según clasificación de sitio definido por el ASCE-7, el cual se ha usado en el área del proyecto. En la figura 20, se muestra la comparación de los espectros al Percentil 84.

Figura 20 Comparación de espectros de peligro uniforme



4.2.3. Factores de diseño

Los criterios de diseño son las directrices que se han seguido para el diseño de los diques R4 y R5 del depósito de relaves Huachuacaja. Los criterios de diseño proporcionados por SMEB y concordados con Lara Consulting son los siguientes: Los diques R4 y R5 son estructuras temporales que quedarán sumergidas dentro del depósito de relaves; El recrecimiento de los diques R4 y R5 deberá estar dentro de la propiedad de SMEB; El recrecimiento de los diques R4 y R5 no deberá impactar la actual planta de tratamiento de agua de contacto;

El recrecimiento de los diques R4 y R5 considera utilizar mayormente para su recrecimiento el material de desmonte de mina; Factores de seguridad de estabilidad de taludes de los diques en condiciones estáticas, seudoestáticas (durante un sismo), con valores mínimos de 1,5 y 1,0, respectivamente; El borde libre mínimo de los diques R4 y R5 será de 1m. El borde libre se entiende como la diferencia de cota del coronamiento de los diques al espejo de agua del depósito de relaves Huachuacaja; La cota máxima de recrecimiento de los diques R4 y R5 será 4 214,0 m s.n.m.; Ancho de coronamiento mínimo de 7 m; y Pendiente de ambos taludes del dique R4 y R5 será 2H:1V.

4.2.4. Condición actual de los diques R4 Y R5

La exploración por medio de los sondajes SO-R4-01 y SO-R4-02, y calicatas C-12, C-14, C-15 y C-17 realizadas por Lara Consulting (2019) sobre el eje del dique R4 determinó que, en la parte central, se tiene un cuerpo de dique de 3,7m aproximadamente formado por material de desmonte densa y con bajo contenido de humedad, con una profundidad de contacto entre dique y suelo de 3,2m a 4,0m. El material orgánico por debajo del cuerpo del dique no fue excavado durante la construcción del mismo (calicata C-12). Hacia la parte del estribo derecho, representado por la calicata C-11, la altura del cuerpo del dique disminuye, presentando alturas del orden de los 0,5 m. El nivel del agua en las calicatas excavadas sobre el eje actual del dique R4 se encuentra en promedio a una profundidad de 2,9m y en otras sin nivel de agua.

Figura 21 Eje Projectado Del Dique R4

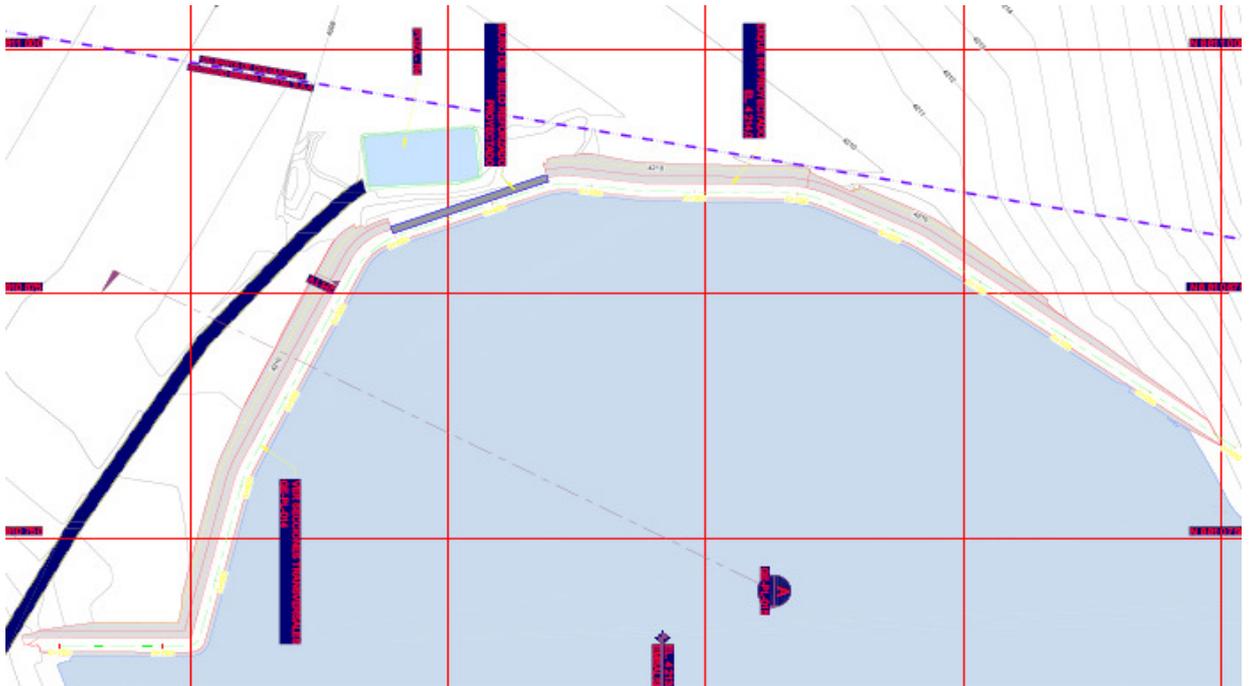


Figura 22 Eje Projectado Del Dique R5

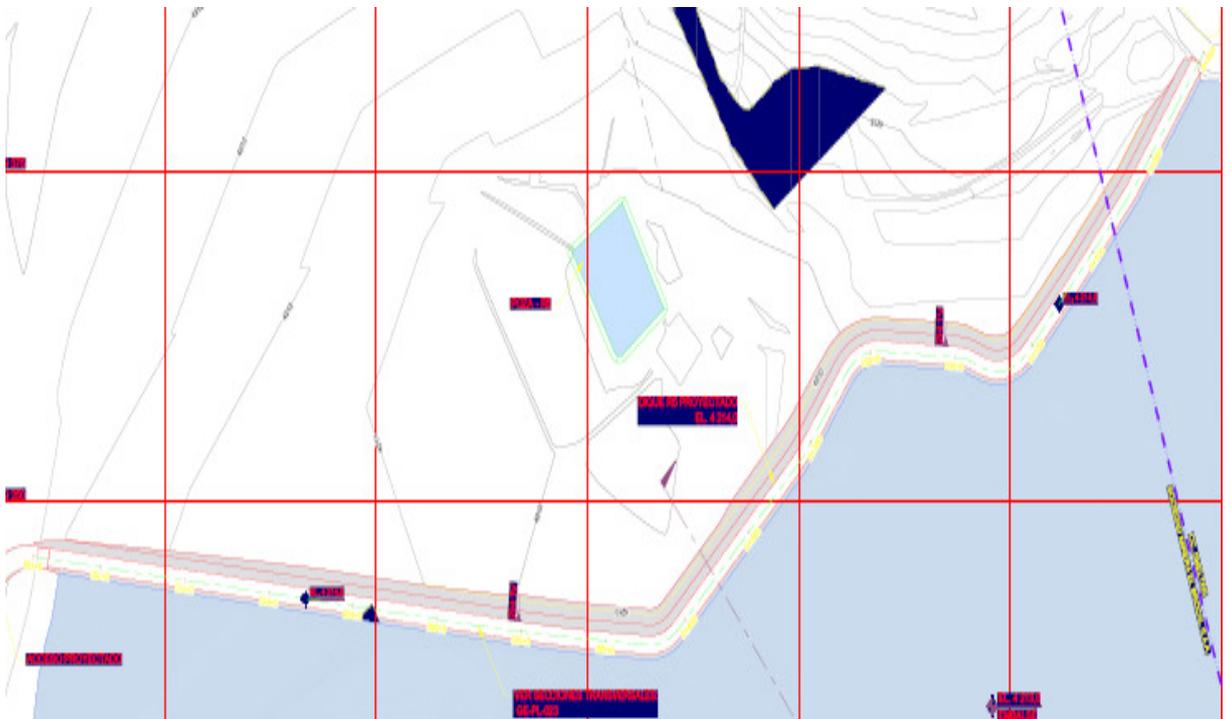


Tabla 6 (Rev. 0) Resumen de Calicatas (Campaña Lara Consulting)

Estudio	Ubicación	Calicata	Coordenadas UTM		Elevación (m s.n.m)	Profundidad (m)	Nivel de Agua (m)
			Norte (m)	Este (m)			
LC, 2019	Dique R4	C-11	8 810 860	358 637	4 210	2,30	NE
		C-12	8 810 913	358 549	4 211	3,40	NE
		C-13	8 810 930	358 541	4 210	2,20	NE
		C-14	8 810 916	358 497	4 211	3,50	2,80
		C-15	8 810 921	358 400	4 211	3,50	3,00
		C-16	8 810 847	358 660	4 211	3,30	NE
		C-17	8 810 841	358 300	4 209	2,40	2,35
		C-18	8 810 707	358 245	4 211	3,50	NE
		C-19	8 810 677	358 220	4 211	3,40	NE
		C-20	8 810 695	358 178	4 214	3,80	NE
	C-27	8 810 803	358 707	4 211	2,30	NE	
	Dique R5	C-1	8 809 781	359 371	4 211	1,50	1,40
		C-2	8 809 863	359 282	4 211	1,30	1,20
		C-3	8 809 955	359 289	4 211	2,00	1,90
		C-4	8 810 257	359 214	4 211	2,50	NE
		C-5	8 809 807	359 341	4 211	1,60	1,60
		C-6	8 809 886	359 283	4 211	1,30	1,20
		C-7	8 809 886	359 283	4 212	2,50	NE
		C-8	8 809 983	359 282	4 210	2,80	NE
		C-9	8 810 071	359 178	4 212	2,70	2,60
C-10		8 810 164	359 184	4 212	2,20	NE	
C-21		8 809 665	359 475	4 212	3,50	NE	
C-22		8 809 690	359 512	4 211	3,80	NE	
C-23		8 809 773	359 684	4 216	2,90	NE	
C-24		8 809 831	359 794	4 217	3,40	NE	
C-25	8 809 890	359 316	4 211	2,40	NE		
C-26	8 809 989	359 310	4 210	2,40	NE		
C-DPL7	8 810 230	359 202	4 211	3,80	NE		
Golder, 2010	Dique R5 Aguas Abajo	CG-43	8 810 152	359 828	4 241	0,80	NR
		CG-44	8 809 992	360 194	4 269	1,00	NR
		TP-26	8 810 001	359 834	4 230	2,40	NR
		TP-27	8 810 052	359 800	4 230	2,30	NR
		TP-28	8 810 110	359 773	4 230	2,40	NR
MHW, 2009	Dique R4 Aguas Abajo	M-1	8 813 082	357 787	4 246	NE	NR
		M-2	8 812 872	357 735	4 235	NE	NR
		M-3	8 812 620	357 768	4 243	NE	NR
		M-4	8 812 404	357 790	NE	NE	NR
		M-5	8 812 214	357 785	4 234	NE	NR
		M-6	8 812 008	357 779	NE	NE	NR
		M-7	8 811 808	357 753	NE	NE	NR
		M-8	8 811 608	357 756	4 240	NE	NR
		M-9	8 811 428	357 749	4 136	NE	NR
		M-10	8 811 222	357 700	2 435	NE	NR
		M-11	8 811 024	357 728	4 231	NE	NR

Nota:
 Las coordenadas UTM se encuentran en el sistema de referencia WGS 84
 NE : No encontrado
 NR: No reportado

4.2.5. Investigaciones geotécnicas de campo

Lara Consulting, realizó investigaciones geotécnicas en los diques R4 y R5, correspondientes a cinco (05) sondajes con profundidades de 20 m a 25 m, veintiocho (28) excavaciones superficiales (calicatas) y once (11) ensayos de penetración dinámico ligera (DPL). Además, se realizaron cuatro (04) ensayos MASW, cuatro (04) ensayos MAM y diecisiete (17) líneas MASW-2D. SVS (2009) realizaron investigaciones geotécnicas en los diques R4 y R5 mediante cuatro (04) líneas de refracción sísmica para obtener el perfil de velocidades de ondas P y tres (03) ensayos MASW para obtener velocidades de ondas S, así como, ocho (08) calicatas y seis (06) trincheras ubicadas en el dique R4 y sondajes en el dique R4. Adicionalmente, tres (03) sondajes diamantinos en dique R4 (SVS, 2009) y tres (03) sondajes diamantinos en el dique R5 (GWI, 2008).

4.2.6. Exploración con sondajes

El resumen de sondajes existentes y los piezómetros instalados se detalla a continuación: Lara Consulting, 2019, ejecutaron dos perforaciones en cada dique R4 y R5, con un total de cinco (05) perforaciones en las áreas de estudio, las profundidades alcanzadas en las perforaciones SO-R4-01 y SO-R4-02 fueron de 22 m y 20 respectivamente, mientras en las perforaciones SO-R5-01, SO-R5-02 y SO-R5-03 llegaron a una profundidad de 20 m a 25 m. En todas las perforaciones se logró la recuperación de muestras con tubería Shelby, ensayos de penetración estándar (SPT y LPT) y ensayos de permeabilidad In Situ mediante el método de LeFranc y Lugeon. Las perforaciones geotécnicas fueron ejecutadas por la empresa ESONDI, bajo la supervisión de Lara Consulting. SVS, 2019. Se ejecutaron un total de tres (03) sondajes diamantinos (P-1, P-2 y P-3), los cuales se ubicaron en la zona de fundación del dique R4. La profundidad total de la perforación fue de 120 m aproximadamente, con 40 m cada uno de los sondajes. Por otro lado, no se instalaron piezómetros en estas perforaciones.

GWl, 2008. Se realizaron tres (03) sondajes (P1, P2 y P3) aguas arriba del dique R5, en la zona del vaso del depósito de relaves Huachuacaja; como parte de una campaña de investigaciones que abarcó adicionalmente la ejecución de sondajes en Huaraucaca, Marcapunta Oeste y los botaderos Norte y Sur. No se cuenta con los logueos de estas perforaciones. Se reporta la instalación de piezómetros.

Las perforaciones realizadas por Lara Consulting en el año 2019, se encuentran ubicadas en el dique R4 y R5 en términos generales se han encontrado gravas arcillosas y limosas (GC, GM), arcillas arenosas (CL, CH), limos arenosos (ML) y suelos residuales consistentes determinado en las perforaciones de R4 y R5, con espesores que varían desde 3,7 hasta 10.9 m (entre cuerpo de dique y suelo natural). Subyacente a este estrato se encontró el basamento rocoso conformado por una arenisca limolita levemente fracturada perteneciente al grupo MITU, con un RQD mayor a 60% se encuentra a una profundidad entre 5.0 m a 10 m. En el Anexo A, se presenta las descripciones de las unidades geotécnicas determinadas mediante las perforaciones con sus respectivos ensayos de campo. La ubicación de los sondajes ejecutados en el área del dique R4 y R5 se muestra en los Planos del anexo A respectivamente. Además, en la Tabla 2, se presenta el resumen de los sondajes ejecutados existentes en los diques R4 y R5.

Tabla 7 Resumen de sondajes

Estudio	Ubicación	Sondaje	Coordenadas UTM		Piezómetro Instalado	Contacto con Roca (m)	Profundidad Total (m)	Inclinación (°)	Elevación (m s.n.m.)
			Norte (m)	Este (m)					
LC, 2019	Dique R4	SO-R4-01	8810919,27	358370,87	No	10,90	22,00	-90	4210,38
		SO-R4-02	8810912,98	358562,99	No	6,40	20,00	-90	4210,51
	Dique R5	SO-R5-01	8809969,10	359279,13	No	4,70	20,05	-90	4161,93
		SO-R5-02	8809791,57	359355,55	No	3,70	20,15	-90	4161,60
		SO-R5-03	359177,64	8810072,78	No	9,00	25,20	-90	4162,02
SVS, 2009	Dique R4	P-1	8 810 814	358 579	No	9,0	40,1	90	4 159,0
		P-2	8 810 749	358 390	No	7,4	40,0	90	4 157,8
		P-3	8 810 687	358 207	No	4,1	40,0	90	4 161,5
GWI, 2008	Dique R5 Aguas Arriba	P1	8 809 469	359 256	Si	NE	NE	NE	4 169,0
		P2	8 809 568	359 256	Si	NE	NE	NE	4 170,0
		P3	8 809 398	359 240	Si	NE	NE	NE	4 173,0

*Nota. Las coordenadas UTM se encuentran en el sistema de referencia WGS 84
NE: No encontrado*

Figura 23 Sondajes diamantinos R4

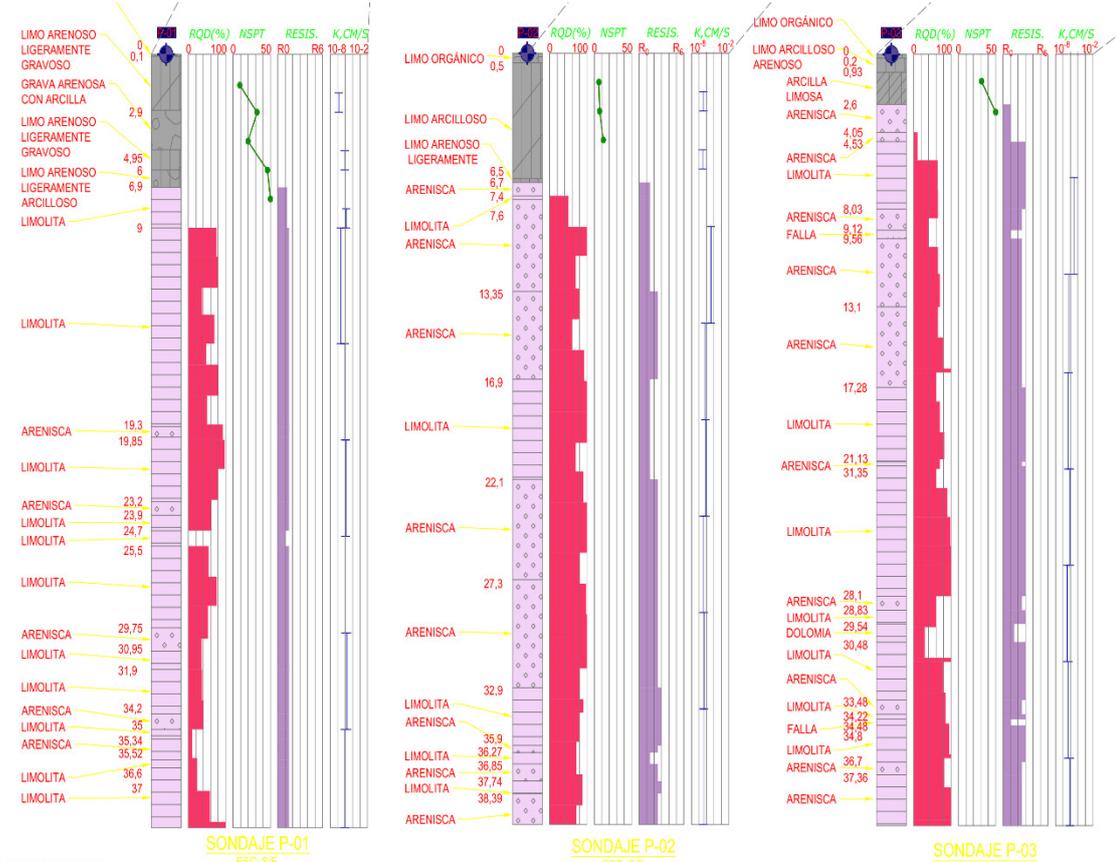
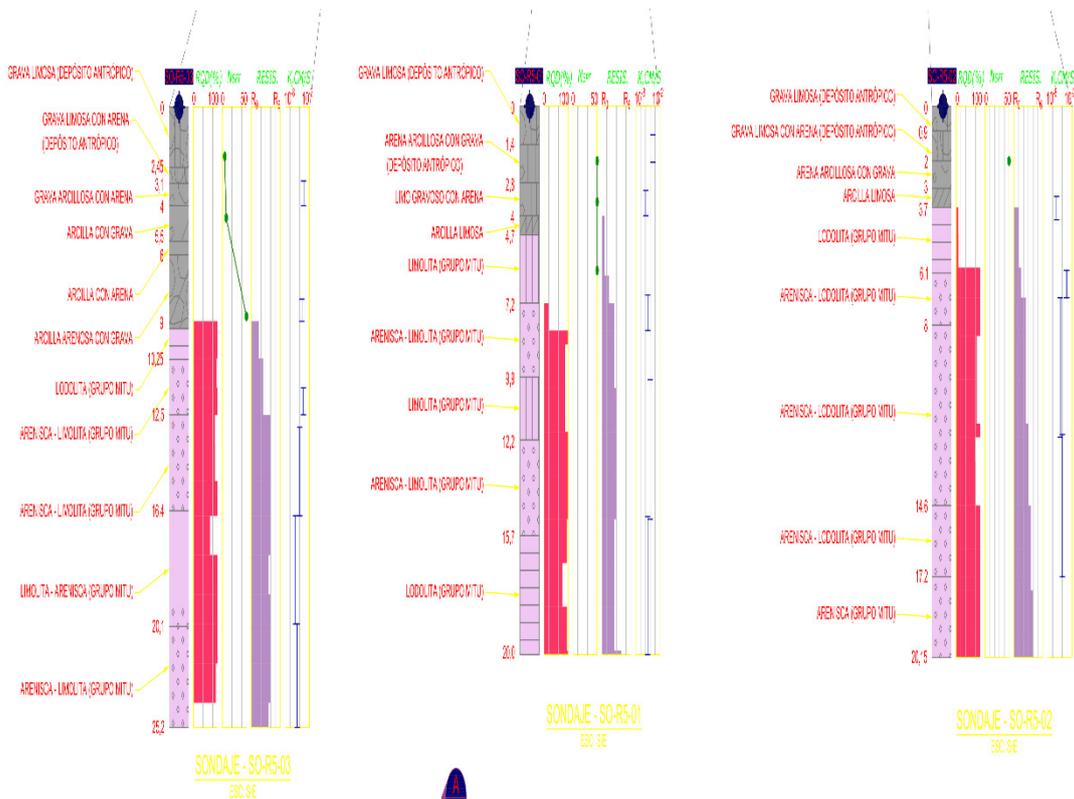


Figura 24 Sondajes diamantinos R5



4.2.7. Exploración geotécnica mediante calicatas

El resumen de las calicatas se detalla a continuación: Se ejecutaron Once (16), calicatas en el área del dique R4 con profundidades que varían entre los 1,0 y 2,5 m, siendo la profundidad promedio de excavación de ,0 m; utilizando retroexcavadora. Se realizó la toma de muestras disturbadas para laboratorio. En el dique R5 se ejecutaron diecisiete (18), calicatas con profundidades que varían entre los 1,3 y 2,0 m, siendo la profundidad promedio de excavación de 2 m utilizando retroexcavadora. Se realizó la toma de muestras disturbadas e inalteradas para laboratorio. SVS, 2009. Se ejecutaron un total de ocho (8) calicatas y seis (6) trincheras en el área de fundación del dique R4 como parte de una campaña de calicatas que adicionalmente incluyó investigaciones en la zona del estribo izquierdo del depósito de relaves Huachuacaja. La ubicación de las calicatas y trincheras ejecutadas en los diques R4 y R5.

Tabla 8 Resumen de Calicatas interpretación R4

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	
0.00																	
0.10																	
0.20																	
0.30																	
0.40																	
0.50																	
0.60																	
0.70																	
0.80																	
0.90																	
1.00																	
1.10																	
1.20																	
1.30																	
1.40																	
1.50																	
CORDENADAS UTM	ESTE	442089	444911	447677	449142	449750	452038	453221	453685	454473	456813	459794	461970	463864	465237	465425	467108
	NORTE	8500173	8503865	8507000	8510935	8515246	8518638	8520035	8518806	8519340	8518736	8518765	8521582	8524558	8527332	8531171	8533865
PROGRESIVA (km)		00+000	00+050	00+100	00+150	00+200	00+250	00+300	00+350	00+400	00+450	00+500	00+550	00+600	00+650	00+700	00+750
MUESTRA		M-1															
PROFUNDIDAD (m)		0.00 - 0.40	0.00 - 0.30	0.00 - 0.60	0.00 - 0.55	0.00 - 1.50	0.00 - 1.50	0.00 - 0.80	0.00 - 1.50	0.00 - 0.20	0.00 - 0.15	0.00 - 0.50	0.00 - 0.45	0.00 - 0.50	0.00 - 0.30	0.00 - 0.50	0.00 - 0.50
PASA MALLA 200 (%)		9.95	11.57	11.46	9.08	16.10	10.86	7.49	15.10	18.29	11.44	6.79	14.87	13.00	11.69	1.79	36.81
L.L. (%)		11.0	NP	18.2	NP	18.5	14.5	24.5	28.5	19.5	19.3	18.3	19.6	NP	NP	NP	NP
I.P. (%)		8.4	NP	17.3	NP	17.0	13.0	16.0	20.0	14.3	15.3	17.0	16.7	17.4	NP	NP	NP
I.P. (%)		2.6	NP	0.9	NP	1.5	1.5	8.5	8.5	5.2	4.0	1.3	1.6	2.2	NP	NP	NP
CLASIFICACIÓN SUCS		GW GM	GP GM	GP GM	GW GM	GM	GP GM	GP GC	GC	GC-GM	GP GC	GP GM	GM	GM	GP GM	GW	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-b	A-1-a	A-2-4	A-2-4	A-1-b	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-4
HUMEDAD (%)		6.28	7.44	6.89	8.68	3.79	2.85	3.22	5.37	3.26	4.07	5.20	4.60	8.07	6.60	7.59	23.01
CBR (al 95% de MDS)		25.03	35.35	51.31	34.54	23.21	26.26	25.71	20.86	19.72	27.17	29.19	30.45	41.68	34.79	8.62	16.25
MUESTRA							M-2		M-2	M-2	M-2		M-2	M-2	M-2	M-2	M-2
PROFUNDIDAD (m)							0.80 - 1.50		0.20 - 1.50	0.20 - 1.50	0.15 - 1.50		0.45 - 1.50	0.50 - 1.50	0.30 - 1.50	0.50 - 1.50	0.50 - 1.50
PASA MALLA 200 (%)							19.77		16.08	15.92	21.61		9.50	15.48	39.41	53.91	53.91
L.L. (%)							23.6		25.5	19.5	27.5		22.5	29.8	27.2	28.3	28.3
I.P. (%)							16.1		17.6	17.4	18.7		20.2	23.4	21.4	17.7	17.7
I.P. (%)							7.5		7.9	2.1	8.8		2.3	6.4	5.8	10.6	10.6
CLASIFICACIÓN SUCS							SC		GC	GM	GC		GP GM	SM	SC-SM	CL	CL
CLASIFICACIÓN AASHTO							A-2-4		A-2-4	A-1-b	A-2-4		A-1-a	A-1-b	A-4	A-6	A-6
HUMEDAD (%)							5.53		4.52	4.38	9.36		11.43	15.89	13.80	12.82	12.82
CBR (al 95% de MDS)							17.43		24.72	26.75	13.67		26.94	8.73	10.44	3.09	3.09

Nota. Las calicatas realizadas fueron dentro del eje proyectado cada 50m. (dique R4)

Tabla 9 Resumen de Calicatas interpretación R5

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18	
0.00																			
0.10																			
0.20																			
0.30																			
0.40																			
0.50																			
0.60																			
0.70																			
0.80																			
0.90																			
1.00																			
1.10																			
1.20																			
1.30																			
1.40																			
1.50																			
CORDENADAS UTM	ESTE	467108	469083	471446	474775	478470	481786	485995	490052	490789	491582	493137	493626	493739	490174	490381	489480	488476	489115
	NORTE	8533865	8536072	8537654	8535546	8536290	8537950	8537925	8539767	8544138	8547064	8550442	8553572	8555807	8559029	8563516	8568311	8573064	8577516
PROGRESIVA (km)		00+000	00+050	00+100	00+150	00+200	00+250	00+300	00+350	00+400	00+450	00+500	00+550	00+600	00+650	00+700	00+750	00+800	00+850
MUESTRA		M-1																	
PROFUNDIDAD (m)		0.00 - 0.50	0.00 - 0.25	0.00 - 0.45	0.00 - 0.25	0.00 - 0.25	0.00 - 0.20	0.00 - 0.15	0.00 - 0.15	0.00 - 1.50	0.00 - 0.15	0.00 - 0.15	0.00 - 0.50	0.00 - 0.50	0.00 - 0.30	0.00 - 0.20	0.00 - 0.30	0.00 - 0.35	0.00 - 0.15
PASA MALLA 200 (%)		36.81	11.16	11.95	15.21	7.84	9.32	13.35	15.45	8.12	8.90	13.4	13.5	10.5	12.4	11.3	7.9	5.7	21.6
LL (%)		NP	NP	30.5	23.3	21.6	22.3	21.5	23.5	40.3	21.1	29.7	22.3	21.1	22.3	26.3	25.5	NP	21.4
LP (%)		NP	NP	24.2	19.3	18.6	20.0	18.3	19.4	26.2	18.9	20.3	20.2	16.2	20.1	22.8	21.0	NP	20.1
IP (%)		NP	NP	6.3	4.0	3.0	2.3	3.2	4.1	14.1	2.2	9.4	2.2	4.6	2.2	3.5	4.5	NP	1.3
CLASIFICACIÓN SUCS		SM	GW GM	GP GM	GC GM	GW GM	GP GM	GM	SC SM	GP GM	GP GM	GC	GM	GP GC	GM	GP GM	GW GC	GW GM	GM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-4	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-2-6	A-2-6	A-1-a	A-2-4	A-1-a						
HUMEDAD (%)		23.01	4.32	3.87	5.93	6.09	5.00	4.47	6.37	3.81	5.50	4.1	10.7	5.7	7.5	9.7	8.3	8.6	6.1
CBR (al 95% de MDS)		16.25	22.70	16.26	16.92		23.60	23.59	14.10	22.72	12.34	24.3	16.3	14.2	14.8	20.4	20.3	9.2	15.4
MUESTRA		M-2																	
PROFUNDIDAD (m)		0.50 - 1.50	0.35 - 1.50	0.45 - 1.50		0.25 - 1.20	0.20 - 0.40	0.15 - 0.35	0.15 - 0.55		0.15 - 0.60	0.50 - 1.50		0.30 - 0.60	0.20 - 0.40	0.30 - 1.50	0.35 - 1.50	0.15 - 0.40	0.15 - 0.65
PASA MALLA 200 (%)		53.91	38.45	40.80		9.41	23.88	15.38	21.14		10.11	15.1		13.9	20.6	10.0	20.6	13.0	
LL (%)		28.3	30.6	20.5		NP	20.1	20.8	19.5		30.2	N.P.		29.8	23.2	48.1	22.3	29.3	26.0
LP (%)		17.7	24.2	9.6		NP	18.2	9.7	17.0		23.2	N.P.		20.3	17.3	39.7	18.3	24.0	24.1
IP (%)		10.6	6.4	10.9		NP	1.9	11.1	2.5		7.0	N.P.		9.5	5.9	8.4	4.0	5.3	1.9
CLASIFICACIÓN SUCS		CL	SM	SC		SP SM	SM	SC	SM		GP GM	GM		GP GC	GC GM	SM	SP SC	SM	GM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-6	A-4	A-6		A-1-b	A-1-b	A-2-6	A-1-b		A-2-4	A-1-a		A-2-4	A-1-a	A-2-5	A-1-a	A-1-b	A-1-a
HUMEDAD (%)		12.82	21.54	12.82		8.98	10.29	4.84	5.07		10.17	5.7		14.2	6.5	19.7	7.9	14.8	12.2
CBR (al 95% de MDS)		3.09	10.27	15.95		39.10	26.71	13.73	16.64		14.67	6.4		14.7	13.9	13.9	16.4	6.5	12.7
MUESTRA						M-3	M-3	M-3	M-3		M-3			M-3	M-3				M-3
PROFUNDIDAD (m)						1.20 - 1.50	0.40 - 1.50	0.35 - 1.50	0.55 - 1.50		0.60 - 1.50			0.60 - 1.50	0.40 - 1.50				0.40 - 1.50
PASA MALLA 200 (%)						66.61	41.07	10.05	22.43		25.82			30.1	73.0				24.1
LL (%)						43.5	32.1	22.3	NP		27.5			39.8	29.0				29.3
LP (%)						28.1	26.5	18.3	NP		22.1			26.1	21.0				25.4
IP (%)						15.4	5.8	4.0	NP		5.4			13.7	8.0				3.9
CLASIFICACIÓN SUCS						ML	SM	SP SC	SM		SM			SM	CL				SM
CLASIFICACIÓN AASHTO						A-7-6	A-4	A-1-a	A-1-b		A-2-4			A-2-6	A-4				A-1-b
HUMEDAD (%)						24.19	15.45	7.90	26.47		9.67			7.6	17.7				27.5
CBR (al 95% de MDS)						11.03	9.75	14.89	20.32		19.85			8.2	4.1				4.8

Nota. Las calicatas realizadas fueron dentro del eje proyectado cada 50m. (dique R5)

4.2.8. Ensayos DPL

El resumen de los ensayos de DPL ejecutados, se detalla a continuación:

Tres (03) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), ubicados en el área del dique R4, distribuidos en DPL-09, DPL-10 y DPL11, con el objetivo de estimar la resistencia y potencia de los primeros estratos de suelo por medio del número de golpes que penetra una varilla en el suelo hasta encontrar el rechazo. Ocho (08) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), ubicados en el área del dique R5, distribuidos en DPL-01, DPL.02, DPL-03, DPL-04, DPL-05, DPL-06, DPL-07 y DPL-08. Tres (03) ensayos con posteadora manual, ubicadas en el área del dique R5, distribuidos en POST-01, POST-02 y POST-03. La ubicación de los DPL ejecutados en el suelo de fundación de los diques R4 y R5 del depósito de relaves Huachuacaja, se muestran en el Anexo A. (Plano Investigaciones geotecnicas)

En la Tabla 3, se presenta el resumen de los DPL realizados para caracterizar la fundación de los diques R4 y R5.

Tabla 10 Resumen de ensayos de penetración dinámica ligera (DLP)

Estudio	Ubicación	Calicata	Coordenadas UTM		Elevación (m s.n.m)	Profundidad (m)	Clasificación con posteadora manual
			Norte (m)	Este (m)			
LC, 2019	Dique R4	DPL-9	8 810 854	358 655	4 212	0,78	No
		DPL-10	8 810 931	358 536	4 211	3,96	No
		DPL-11	8 810 947	358 478	4 210	5,30	No
	Dique R5	DPL-1	8 809 794	359 369	4 211	1,10	Sí ⁽¹⁾
		DPL-2	8 809 876	359 315	4 211	0,88	No
		DPL-3	8 809 990	359 307	4 209	0,73	No
		DPL-4	8 809 977	359 288	4 210	0,57	No
		DPL-5	8 810 068	359 201	4 211	3,00	Sí ⁽¹⁾
		DPL-6	8 810 140	359 193	4 211	4,54	Sí ⁽¹⁾
		DPL-7	8 810 220	359 194	4 211	6,13	No
DPL-8	8 810 312	359 199	4 211	4,50	No		
Golder, 2010	Dique R5 Aguas Abajo	CG-43	8 810 152	359 828	4 241	0,80	NR
		CG-44	8 809 992	360 194	4 269	1,00	NR
		TP-26	8 810 001	359 834	4 230	2,40	NR
		TP-27	8 810 052	359 800	4 230	2,30	NR
		TP-28	8 810 110	359 773	4 230	2,40	NR
MHW, 2009	Dique R4 Aguas Abajo	M-1	8 813 082	357 787	4 246	NE	NR
		M-2	8 812 872	357 735	4 235	NE	NR
		M-3	8 812 620	357 768	4 243	NE	NR
		M-4	8 812 404	357 790	NE	NE	NR
		M-5	8 812 214	357 785	4 234	NE	NR
		M-6	8 812 008	357 779	NE	NE	NR
		M-7	8 811 808	357 753	NE	NE	NR
		M-8	8 811 608	357 756	4 240	NE	NR
		M-9	8 811 428	357 749	4 136	NE	NR
		M-10	8 811 222	357 700	2 435	NE	NR
		M-11	8 811 024	357 728	4 231	NE	NR

Nota.

Las coordenadas UTM se encuentran en el sistema de referencia WGS 84

NE: No encontrado

NR: No registrado

4.2.9. Ensayos geofísicos

El resumen de los ensayos geofísicos existentes se detalla a continuación: Lara Consulting 2019. se realizaron un total de diecisiete (17) líneas MASW-2D y cuatro (04) líneas de MAM/MASW ubicados en la cresta de los diques y algunas zonas de suelo natural. En el Dique R5 se realizaron nueve (09) perfiles del MW2D-R5-01 al MW2D-R5-09 y (02) dos perfiles MASW/MAM-01 y MASW/MAM-02. En el Dique R4 se realizaron ocho (08) perfiles de MW2D-R4-01 al MW2D-R4-06, MW2D-R4-02B, MW2D-R4-03B y dos (02) perfiles MASW/MAM-01 y MASW/MAM-02. SVS (2019), Se realizaron cuatro (04) líneas de refracción sísmica en el área del dique R4 con una longitud total de 2 760 m (ver, Tabla 4) y tres (03) ensayos MASW en el área del dique R4 Los perfiles de velocidades de ondas presentaron tres a dos estratos en el perfil sísmico, el primer estrato con velocidades de ondas de corte, V_s , en promedio de 280 m/s a 300 m/s con profundidades que varían de 4,1 m a 4,9 m de profundidad, este estrato es parte del cuerpo de Dique conformado por un suelo granular medianamente compacto (GC y GM). Debajo se encuentra una roca meteorizada (suelo residual) con velocidades en promedio de 400 m/s a 500 m/s con profundidades que varían de 7,0 m a 7,7 m de profundidad. Debajo se encuentra una roca levemente fracturada con velocidades en promedio de 450 m/s a 1000 m/s a profundidad. De acuerdo al Cuadro 11.1 y cuadro 11.2, según la IBC, el tipo de perfil de suelos en función a las velocidades de ondas es del Tipo C, considerando un suelo denso o roca blanda. En el TABLA 4, se muestra las velocidades de ondas de corte para los ensayos MASW ubicados sobre la cresta del Dique R4 y R5.

Tabla 11.1. *Resumen de la ubicación de los ensayos MAM, M ASW y MASW- 2D (Dique R5)*

Estudio	Ubicación	Punto	Ensayo MASW	Coordenadas UTM		Profundidad Total (m)		
				Norte (m)	Este (m)			
LC, 2019	Dique R5	C'	MW2D-R5-01	8 809 956,34	359 291,88	29,0		
		D'		8 809 998,77	359 336,28	35,0		
		E'	MW2D-R5-02	8 809 806,06	359 364,05	45,0		
		F'		8 809 867,65	359 352,08	48,0		
		G'	MW2D-R5-03	8 810 095,01	359 180,15	42,0		
		H'		8 810 485,00	359 217,10	48,0		
		I'	MW2D-R5-04	8 810 073,77	359 175,55	42,0		
		J'		8 809 947,12	359 292,47	52,0		
		K'	MW2D-R5-05	8 809 992,78	359 296,60	42,0		
		L'		8 809 881,94	359 284,92	55,0		
		M'	MW2D-R5-06	8 809 856,92	359 286,00	30,0		
		N'		8 809 759,06	359 390,29	32,0		
		O'	MW2D-R5-07	8 810 086,44	359 237,28	28,0		
		P'		8 810 144,93	359 256,86			
		Q'	MW2D-R5-08	8 810 264,61	359 180,62	30,0		
		R'		8 810 224,48	359 209,32			
		S'	MW2D-R5-09	8 809 694,70	359 522,32	30,0		
		T'		8 809 751,06	359 612,42	35,0		
					MASW-01	8 809 977,21	359 268,67	30,0
					MASW-02	8 809 797,34	359 350,60	30,0
			MAM-01	8 809 977,21	359 268,67	90,0		
			MAM-02	8 809 797,34	359 350,60	90,0		

Nota. Se realizaron ensayos MAM, M ASW y MASW- 2D (Dique R5)

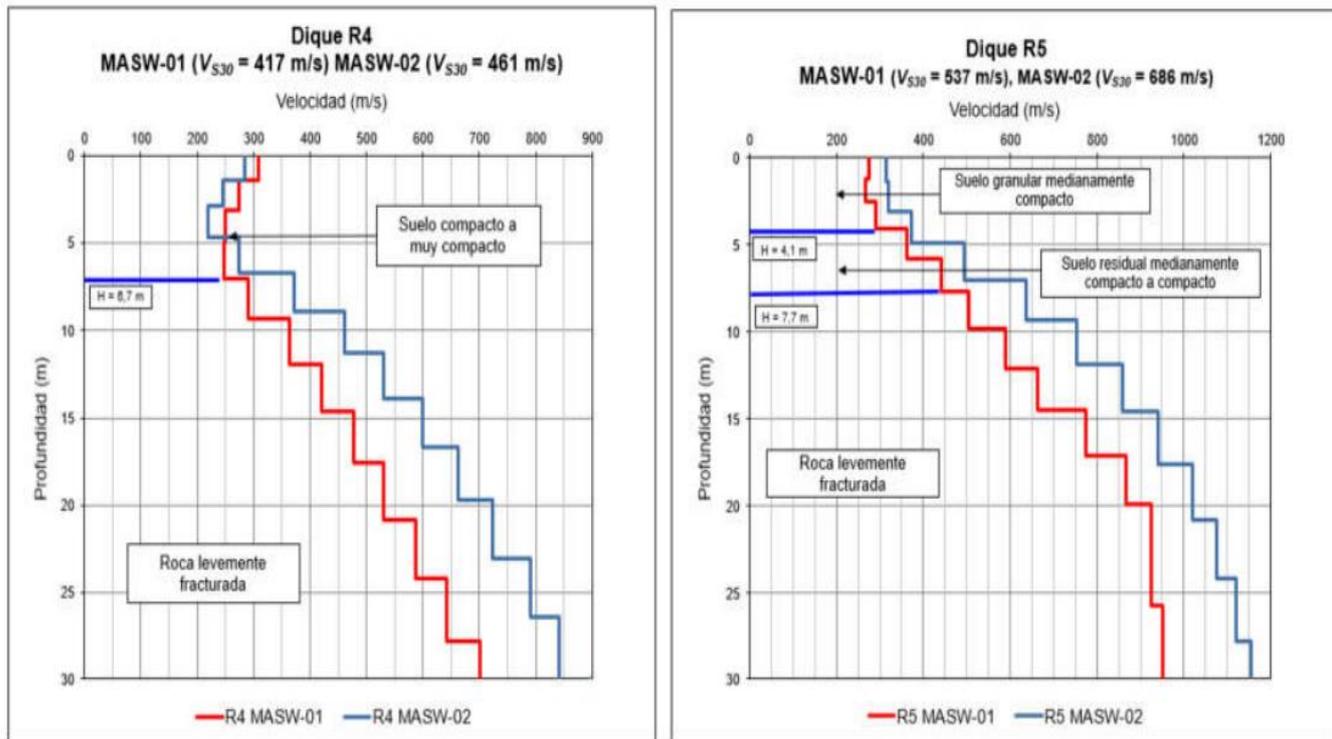
Tabla 11.2 Resumen de la ubicación de los ensayos MAM, M ASW y MASW- 2D (Dique R4)

Estudio	Ubicación	Punto	Ensayo MASW	Coordenadas UTM		Profundidad Total (m)	
				Norte (m)	Este (m)		
LC, 2019	Dique R4	N	MW2D-R4-01	8 810 925,09	358 538,02	38,0	
		O		8 810 760,24	358 790,92		
		P	MW2D-R4-02A	8 810 892,21	358 275,13	40,0	
		Q		8 810 910,70	358 393,38	35,0	
		R	MW2D-R4-02B	8 810 917,16	358 392,02	30,0	
		S		8 810 913,44	358 542,97		
		T	MW2D-R4-03A	8 810 708,91	358 248,99	30,0	
		U		8 810 794,15	358 277,76		
		U	MW2D-R4-03B	8 810 794,15	358 277,76	32,0	
		V		8 810 911,93	358 337,83		
		W	MW2D-R4-04	8 810 687,17	358 125,75	32,0	
		X		8 810 680,25	358 234,24	30,0	
		Y	MW2D-R4-05	8 810 806,26	358 154,95	32,0	
		Z		8 810 776,34	358 247,84	25,0	
		A'	MW2D-R4-06	8 810 834,81	358 668,62	35,0	
		B'		8 810 919,47	358 626,19		
				MASW-01	8 810 908,70	358 373,28	30,0
				MASW-02	8 810 903,47	358 565,87	30,0
				MAM-01	8 810 908,70	358 373,28	100,0
				MAM-02	8 810 903,47	358 565,87	100,0

56

Nota. Se realizaron ensayos MAM, M ASW y MASW- 2D (Dique R4)

Figura 24 Resultados de los ensayos MASW ejecutados en el Dique R4 y R5 (Lara Consulting 2019)



En la Tabla 4, se presenta la ubicación de las líneas sísmicas MASW-2D (bidimensionales) y ensayos MASW/ MAM de velocidades de ondas S ejecutados por Lara Consulting en el año 2019 y SVS (2009), se presentan los valores de velocidades de ondas de corte (V_s) correspondiente a cada profundidad en m/s de acuerdo a los MASW 2D y MASW/ MAM ejecutados por Lara Consulting en el año 2019 y SVS en el año 2009. En el Anexo A, se presenta las líneas sísmicas unidimensionales de velocidades de ondas S (MASW/MAM) y los perfiles sísmicos bidimensionales de velocidades de onda S.

4.2.10 Ensayos de laboratorio

- **Ensayos estándar en suelos**

Los ensayos estándar en suelos consistieron en las siguientes pruebas realizadas en muestras de calicatas: Contenido de humedad ASTM D 2216 Granulometría por tamizado ASTM D 422 Límites de Atterberg ASTM D 4318 Clasificación SUCS ASTM D 2487 Proctor modificado ASTM D 1557 Gravedad específica de sólidos ASTM D 854 Clasificación de Suelos (SUCS) ASTM D 2487 En la Tabla 6, se presenta los resultados de los ensayos estándar.

Tabla 12 Resumen de ensayos estándar en calicatas y DPL

Estudio	Ubicación	Calicata / Sondaje	Muestra	Profundidad (m)		Análisis Granulométrico						Límites Atterberg			w (%)	Clasif. S.U.C.S.	Proctor		Gs	Nombre del Grupo	
				Desde	Hasta	Gravas (%)		Arenas (%)			Finos (%)		LL (%)	LP (%)			IP (%)	MDS (g/cm ³)			OCH (%)
						Coarse	Fine	Coarse	Medium	Fine	Silt	Clay									
LC, 2019	Dique R4	SO-R4-01/SPT-02	C343	4,15	4,60	0,00	0,50	2,50	30,20	51,80	15,00	N,P	N,P	N,P	16,90	SM			2,42	Arena limosa	
		SO-R4-01/SPT-03	C344	6,00	6,45	9,80	3,50	8,00	7,90	19,60	51,20	28	18	10,0	17,80	CL			2,67	Arcilla de baja plasticidad con arena	
		SO-R4-01/SPT-04	C345	8,00	8,45	8,10	14,60	10,00	12,40	16,10	38,80	29	19	10,0	18,90	SC			2,66	arena arcillosa con grava	
		SO-R4-01/SPT-05	C346	9,95	10,05	4,70	0,70	6,00	14,20	42,50	31,90	28	21	7,0	14,50	SC-SM			2,67	Arena limo arcillosa	
		SO-R4-02/SPT-01/M-1	C350	2,00	2,45	41,70	6,20	7,40	13,10	19,70	11,90	N,P	N,P	N,P	12,70	GP-GM			2,71	Grava limosa mal gradada con arena	
		SO-R4-02/SPT-02/M-2	C351	4,00	4,45	21,80	7,60	17,50	25,70	25,90	1,50	26	18	8,0	16,10	SP			2,67	Arena mal gradada con grava	
		SO-R4-02/SPT-03/M-3	C352	6,07	6,27	0,00	0,00	0,00	0,80	48,80	50,40	26	20	6,0	15,50	CL-ML			2,65	Arcilla limosa con arena	
	Dique R5	SO-R5-01/SPT-01/M-1	C355	6,00	6,20	51,80	11,50	9,70	9,90	4,50	12,60	29	17	12,0	8,30	GC			2,73	Grava arcillosa con arena	
		SO-R5-02/SPT-01/M-1	C359	2,00	2,45	22,50	6,10	13,40	15,50	16,30	26,20	33	24	9,0	12,30	SC			2,65	arena arcillosa con grava	
	Dique R4	DIQUE R4/C-12/M-01	C133	0,00	1,90	17,40	35,00	6,50	6,50	7,60	27,00	22	17	5	6,1	GC-GM			2,74	grava limo arcillosa con arena	
		DIQUE R4/C-12/M-02	C134	2,40	2,90	0,00	0,80	1,90	13,90	34,30	49,10	54	45	9	56,9	SM			2,43	arena limosa	
		DIQUE R4/C-12/M-03	C135	2,90	3,40	0,00	2,40	2,90	6,70	17,50	70,50	31	17	14	23,3	CL	1,87	13,8	2,81	arcilla de baja plasticidad	
		DIQUE R4/C-13/M-01	C136	0,70	2,20	0,00	0,00	0,40	2,30	19,20	78,10	58	19	39	21,5	CH			2,59	arcilla de alta plasticidad	
		DIQUE R4/C-15/M-01	C137	0,00	3,50	35,20	23,60	8,50	9,20	6,30	17,20	23	16	7	2,5	GC-GM	2,19	8,90	2,78	grava limo arcillosa con arena	
		DIQUE R4/C-16/M-01	C138	0,50	1,30	4,40	27,70	11,00	12,60	15,60	28,70	24	16	8	15	SC			2,67	arena arcillosa con grava	
		DIQUE R4/C-18/M-01	C139	1,10	3,30	37,70	16,00	3,90	6,30	12,50	23,60	25	17	8	4,3	GC			2,66	grava arcillosa con arena	
		DIQUE R4/C-18/M-02	C140	3,30	3,50	0,00	0,00	0,00	4,70	26,30	69,00	28	16	12	15,5	CL			2,63	arcilla de baja plasticidad	
		DIQUE R4/C-19/M-01	C141	2,10	3,40	0,00	0,00	1,00	6,60	29,90	62,50	35	18	17	17,5	CL			2,62	arcilla de baja plasticidad	
		DIQUE R4/C-20/M-01	C142-2	0,40	3,80	0,00	0,00	0,00	0,10	65,00	34,90	26	20	6	12,4	SC-SM			2,61	arcilla de baja plasticidad	
	Dique R5	DIQUE R5/C-21/M-01	C143	0,40	3,50	0,00	28,70	22,40	28,80	12,80	7,30	23	20	3	7,1	SW-SM			2,39	grava limo arcillosa con arena	
		DIQUE R5/C-22/M-01	C144	1,20	3,80	0,00	15,70	14,20	20,50	24,20	25,40	21	15	6	12,7	SC-SM			2,64	arena limosa bien gradada con grava	
		DIQUE R5/C-24/M-01	C146-2	1,50	3,40	0,00	0,00	0,10	4,20	38,00	57,70	30	18	12	9	CL			2,63	arena limo arcillosa con grava	
		DIQUE R5/C-25/M-01	C147	0,60	2,90	10,00	37,50	5,30	13,90	20,20	13,10	23	18	5	10,7	GC-GM			2,66	grava arcillosa con arena	
		DIQUE R5/C-26/M-01	C148	0,80	1,50	0,00	0,00	0,00	3,20	9,00	53,90	34	19	15	20,8	CL			2,61	arcilla de baja plasticidad	
	Dique R5	DIQUE R5/C-06/M-01	C128	0,00	0,50	24,60	27,10	6,00	9,50	9,50	23,30	30	18	12	10,8	GC		-	2,71	grava arcillosa con arena	
		DIQUE R5/C-06/M-02	C129	0,50	1,30	42,40	24,30	4,40	7,60	7,90	13,40	36	19	17	3,7	GC	1,95	11,1	2,7	grava arcillosa con arena	
		DIQUE R5/C-08/M-01	C130	0,00	1,20	35,60	27,20	5,40	8,30	6,70	16,80	34	21	13	6,7	GC			2,69	grava arcillosa con arena	
		DIQUE R5/C-09/M-01	C132	1,50	2,70	37,90	20,70	6,10	12,50	9,30	12,20	36	25	11	8,6	GM	1,78	16,4	2,7	grava limosa con arena	

PVH: Peso Volumétrico Húmedo
 LL: Limite líquido
 LP: Líquido plástico

MDS: Máxima densidad seca
 OCH: Optimo contenido de humedad

4.2.11 Ensayos especiales en suelo

Los ensayos especiales en suelos consistieron en las siguientes pruebas realizadas en muestras de calicatas: Ensayos triaxiales tipo CU ASTM D 4767 Ensayos de permeabilidad ASTM D 5084 Ensayos de consolidación ASTM D 2435 En la Tabla 13, se presenta los resultados de los ensayos especiales.

Tabla 13 Resumen Ensayos especiales

Estudio	Ubicación	Calicata/Sondaje	Muestra	Profundidad	SUCS	Triaxial CU				Permeab. (cm/s)	Consolidación		
						c (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)		Pc (kPa)	Cc	Cs
LC, 2019	Dique R5	R-5/C-09	C-132	1,50-2,70	GM	0	18	18,00	38	2,30E-08			
	Dique R4	R-4/C-12	C-135	2,90-3,40	CL					9,30E-10	28	0,1	0,04
		R-4/C-15	C137	0,00-3,50	GC-GM	5	21	19,00	41	9,30E-08			
	Dique R5	R-5/C-26	C148	0,80-1,50	CL	60	13	53,00	23	6,50E-09	344	0,15	0,02

Datos:

*: Características de remoldeo

SUCS: Sistema Único de Clasificación de Suelos

Gs: Gravedad Específica de Sólidos.

w: Contenido de humedad natural.

c: Cohesión en esfuerzos totales

ϕ : Ángulo de fricción en esfuerzos totales

c': Cohesión en esfuerzos efectivos

ϕ' : Ángulo de fricción en esfuerzos efectivos

MDS: Máxima densidad seca.

OCH: Óptimo contenido de humedad

Pc: Presión de consolidación.

Cc: Índice de compresión.

Cs: Índice de expansión.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Caracterización geotécnica de los materiales de los diques r4 y r5 y del terreno fundación

Las características del material de los diques fueron evaluadas con los sondajes y calicatas ejecutadas en el área del dique R4, ubicados en la cresta del dique (SO-R4-01 y SO-R4-02) y sobre los extremos del dique (donde se ubican las calicatas C-11, C-15, C-16 y C-18), éstas se encuentran compuesto por un estrato granular constituido por una grava limo arcillosa con matriz arena arcillosa (GC-CM, GC, SC), correspondiente al material del cuerpo del dique, de potencia variable (entre 2,50 m y 4,8 m) y de consistencia media a suelta; sin embargo, en

la calicata C-16, se observó en el primer estrato un material orgánico (bofedal) ubicado en la parte extrema del dique. Debajo del primer estrato se encuentran materiales diferentes en cada calicata, teniendo arcilla de baja plasticidad (en la calicata C-11), grava arenosa (en la calicata C-16) y grava arcillosa (en la calicata C-18); estos llegan a una profundidad máxima de 3,30 m, donde empieza el estrato de suelo del terreno natural formado por arena arcillosa (SC) y arcilla de baja plasticidad (CL), en las calicatas C-16 y C-18, de consistencia firme. Por otro lado, las calicatas ubicadas en la parte central del dique R4 (C-12, C-14, C-15 y C-17) muestran que el primer estrato es casi uniforme y está formado por grava limosa de compacidad densa y continúa así hasta la profundidad total de las calicatas (varía entre 2,40 m y 3,50 m); con excepción de la calicata C-12, la cual tiene como segundo estrato a un material orgánico de alta plasticidad con un espesor de 0,50 m, seguido por un estrato de material de transición con un espesor de 0,50 m formado por arena arcillosa y finalmente por un estrato de espesor de 0,50 m de arcilla de baja plasticidad y consistencia firme. Las calicatas ejecutadas finalizaron por haber alcanzado la máxima profundidad del brazo de la retroexcavadora; exceptuando las calicatas C-17 (sobre el eje central del dique) y C-27 (aguas abajo del dique R4, sobre el estribo derecho), las cuales finalizaron por presencia del nivel freático (a 2,35 m de profundidad) y por dureza del material encontrado, respectivamente. De los sondajes (SO-R5-01, SO-R5-02 y SO-R5-03) y calicatas (C-1, C-2, C-5, C-6, C-8, C-9 y C10) ejecutadas en el área del dique R5 se concluye que el suelo característico en el cuerpo de dique es un granular constituido por una grava arcillosa (GC) y grava limosa (GM) con una potencia promedio de 4.0 m de consistencia media a suelta. Los estribos del dique se han caracterizado por un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL) y de consistencia media, de espesor variable en cada calicata, entre 1,20 m y 1,50 m para las calicatas C-09 y C-10, y entre 0,40 y 0,50 para las calicatas C-05 y C-06. Por otro lado, para las calicatas C-01 y C-02 se tiene un primer estrato formado

por grava limosa y grava arcillosa (cuerpo del dique), respectivamente, con espesor variable entre 0,40 m y 0,70 m. El segundo estrato está conformado por gravas arcillosas y gravas limosas de compacidad media de espesor variable entre 0,60 m y 1,20 m (para las calicatas C-01, C-02, C-05, C-06, C-09 y C-10). Por otro lado, las calicatas ubicadas en el centro del dique R5 (C-03, C-07 y C08) muestran que el primer estrato de suelo se conforma de grava arcillosa de espesor variable (1,20 m y 1,70 m) para las calicatas C-07 y C-08, y grava limosa de 0,50 m para la calicata C-03. Como segundo estrato, se obtuvo diferentes materiales tales como: arcilla de baja plasticidad de 0,40 m de espesor para la calicata C-07, material orgánico de 0,70 m de espesor para la calicata C08 y grava arcillosa de 0,60 m de espesor para la calicata C-03. Finalmente, para el tercer estrato también se encuentran diferentes materiales para cada calicata, siendo lo más representativo las gravas arcillosas y limosas obtenidas de las calicatas C-07 y C-03, respectivamente. Las calicatas ejecutadas finalizaron por haber alcanzado la máxima profundidad del brazo de la retroexcavadora y/o por presencia del nivel freático a una profundidad promedio de 1,65 m en las calicatas ubicadas sobre el eje del dique R5. Asimismo, las calicatas C-25, C-26 y C-DPL7, ubicadas aguas abajo del dique R5, finalizaron por dureza del material encontrado a una profundidad promedio de 2,90 m. Al pie de los diques y sobre terreno natural, los sondajes de R4 y R5 han llegado a detectar el suelo de fundación hasta una profundidad promedio de 6.1 m y 4.7 respectivamente pasando el cuerpo de dique, los valores de número de golpes (NDPL) obtenidos de los tres (03) ensayos DPL, ubicados en la zona del dique R4, presentan valores de NDPL menores a 10 golpes, que indica la presencia de suelos de consistencia suelta a media, con un espesor de 0,5 m. Las condiciones mejoran a profundidad, teniendo un suelo de consistencia media con NDPL que varía de 20 a 40 golpes desde 1 m hasta 3,3 m de profundidad. Debajo, los valores de NDPL son mayores a 40 golpes, presentando un suelo de consistencia firme. Los ensayos han presentado

rechazo entre 4 m y 5,30 m de profundidad en el DPL-10 y DPL-11 respectivamente. Los sondajes (SO-R4-01 y SO-R4-02) ejecutados en el área del dique R4 ha definido diferentes estratos de suelo natural, conformado por arenas limosas (SM) de 3.3 m a 4.8 m, arcillas de baja plasticidad (CL) de 4.8 a 6.6 m, arena arcillosa (SC) de 8,0 m a 8,45 m, arcilla limosa de baja plasticidad (CL-ML) entre 6.6 m y 8.0 m y por debajo una arena limo arcillosa (SC-SM) hasta una profundidad de 10,9 m. Los sondajes (SO-R5-01, SO-R5-02 y SO-R5-03) y los valores de NDPL obtenidos de los ocho (08) ensayos DPL, ubicados en la zona del dique R5, presentan valores de NDPL menores a 10 golpes, lo que indica la presencia de suelos de consistencia suelta a media, con un espesor de 0,5 a 0,7 m. Las condiciones mejoran a profundidad, teniendo un suelo de consistencia media con NDPL que varía entre 10 a 30 golpes, desde 0,5 m hasta 1,3 m de profundidad. Debajo, los valores de NDPL se encuentran entre 20 y 40 golpes, con una consistencia media a firme, con profundidades entre 1,3 m a 2,2 m. Subyaciendo a este estrato, los valores de NDPL son mayores a 40 golpes. En el DPL-06 y DPL-07 se han reportado valores de NDPL menores de 10 golpes entre 1,8 m a 3,0 m de profundidad. Los ensayos han presentado rechazo a menos de 1,1 m de profundidad en los DPL-1, DPL-2, DPL-3 y DPL-4. En el DPL-08 y DPL-09, el rechazo se encuentra a una profundidad de 4,5 m. En el DPL-05 y DPL-07, se presentó rechazo a 3 m y 6 m de profundidad, respectivamente. Los sondajes (SO-R5-01, SO-R5-02 y SO-R5-03) ejecutados en el área del dique R5 ha definido diferentes estratos de suelo natural, conformado por arenas arcillosas (SC) de 2,0 m a 3,7 m, arcilla limosa de baja plasticidad entre 4,0 m a 4,7 m.

4.3.2. Discusión del análisis geotécnico de los diques R4 Y R5

Los diques R4 y R5 ubicados aguas arriba del actual depósito de relaves Huachuacaja, se encuentran a la cota 4 210,7 y 4 211,1 m.s.n.m. respectivamente y ambos se proyectan recrecer a la cota máxima 4 214 m s.n.m. Las características geométricas de los taludes de los diques aguas arriba y aguas abajo es de 2H:1V; por otro lado, los diques tienen una altura promedio de recrecimiento de 3 m, aproximadamente. Como parte de la operación de los diques R4 y R5 se ha considerado una altura mínima de borde libre de 1,0 m, medido desde el coronamiento del dique y el nivel del espejo de agua del depósito de relaves Huachuacaja. Durante los trabajos de campo en el área de los diques R4 y R5 del depósito de relaves Huachuacaja, realizados, se observó que los diques se encuentran conformados por un material granular arcilloso de una compacidad media y nivel de agua a 2,5 m debajo del coronamiento del dique R4 y de 1,5 m en el dique R5.

Figura 25 Vista en planta de los diques R4 y R5 (Google Earth, 2022)



4.3.3. Parámetros sísmicos

Para el análisis de estabilidad en condiciones pseudo-estáticas, según el estudio de peligro sísmico, en base la estimación probabilística, considerando un periodo de retorno de 475 años, para el área del proyecto, se ha estimado un valor de PGA para un suelo de tipo B (ASCE 7- 16) de 0,30 g. Este estudio ha considerado también la evaluación de niveles de aceleraciones para otros periodos de retorno y aceleraciones espectrales. Por otro lado, en base a la estimación determinística del MCE (Maximum Credible Earthquake), de acuerdo a las recomendaciones del código IBC, obtenido como el valor medio más una desviación estándar (P.84) del evento sísmico de control determinístico, se ha estimado un valor de MCE para roca de 0,56 g. De acuerdo con la literatura técnica existente y ampliamente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis para la condición pseudo-estática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción, la cual varía entre 1/3 a 1/2 de la máxima aceleración esperada. Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño. La recomendación del Cuerpo de Ingenieros está basada en la aplicación del método de Newmark para calcular desplazamientos permanentes en presas de tierra utilizando más de 350 registros sísmicos, concluyendo que estas estructuras analizadas con el método pseudo-estático con factores de seguridad mayores que 1,0 utilizando un coeficiente sísmico horizontal de 1/2 veces la aceleración máxima no desarrollan deformaciones mayores a 1,0 m, que es un valor arbitrario que puede ser tolerado por presas de tierra, sin representar una amenaza a la integridad de la estructura. Por lo tanto, Lara Consulting utilizó un coeficiente sísmico de 0,15 para el análisis de estabilidad pseudo-estático del recrecimiento de los diques R4 y R5, correspondiente al 50% de la aceleración

máxima para un $T_r = 475$ años, valor que se estima conservador considerando que es una estructura temporal de vida útil estimada menor a 3 años.

4.3.4. Análisis de infiltración

Los análisis de infiltraciones para las estructuras evaluadas se realizaron en el programa SLIDE V. 8.0 de Rocscience, herramienta que permite calcular el flujo de agua a través de las estructuras y los estratos de suelo y roca que conforman el subsuelo. El método de evaluación es mediante un análisis de filtraciones bidimensional utilizando modelos numéricos mediante técnicas de elementos finitos. Los modelos numéricos se realizaron en el programa SLIDE V 8.0 permitiendo al usuario generar mallas con elementos finitos, asignar propiedades a los materiales y especificar condiciones de borde que simulan características de percolación, infiltración y confinamiento. El programa considera el flujo a través de un medio saturado como no saturado y está formulado para resolver problemas de flujo permanente y no permanente. En un análisis de flujo permanente o en equilibrio, la carga hidráulica y la permeabilidad permanecen constantes con respecto al tiempo. En un análisis no permanente o variable, la carga hidráulica (y posiblemente la permeabilidad) varía con el tiempo. En el presente análisis, la razón de flujo se calculó asumiendo un flujo permanente. El cálculo de la razón de flujo se estimó en base a la ley de Darcy, la cual se basa en que la cantidad de flujo a través de un medio poroso es proporcional a la permeabilidad del medio (k), al gradiente hidráulico (i) y al área transversal a la dirección del flujo (A). La permeabilidad se asumió constante en todos los materiales y en algunos materiales se consideraron variaciones entre conductividades hidráulicas horizontales y verticales. Asimismo, en la cara aguas arriba del talud del recrecimiento de los diques proyectados, se colocó una geomembrana HDPE con el objetivo de impermeabilizar y proteger el dique conduciendo el flujo de agua por debajo del dique proyectado. Los parámetros de

conductividad hidráulica de los materiales que conforman la fundación y cuerpo de los diques se detallan en el Cuadro 4. Como resultado del análisis de filtraciones se tiene la ubicación del nivel de presión cero o nivel de saturación a considerar para el cálculo de las presiones de poros en el análisis de estabilidad.

Tabla 14 Conductividad hidráulica de los materiales que conforman los diques R4 y R5

Estructura	Material	Parámetros	
		k_s (m/s)	k_2/k_1 (-)
R4-R5	Roca Arenisca	$2,8 \times 10^{-7}$	1
R4-R5	Dique Existente	$1,0 \times 10^{-6}$	1
R4-R5	Lacustrino Arcilloso	$3,1 \times 10^{-8}$	1
R4-R5	Filtro dren	$1,0 \times 10^{-4}$	1
R4-R5	Dique Proyectado	$1,0 \times 10^{-7}$	1
R4-R5	Transición	$1,0 \times 10^{-8}$	1
R4-R5	Relave en condición de recrecimiento	$1,0 \times 10^{-7}$	1
R5-R4	Bofedal	$1,0 \times 10^{-9}$	1

Nota: k_s : conductividad saturada, k_2 : conductividad vertical y k_1 : conductividad horizontal.

4.4. Discusión de resultados

4.4.1. Análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad física para la estructura a ser evaluada se realizaron en el programa SLIDE V. 8.0 del Rocscience, herramienta que permite el análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite. Para nuestro análisis se empleó el método de Spencer (1967), el cual considera superficies de falla de cualquier forma, alcanzando el equilibrio de fuerzas y momentos, este método es el más recomendado para el análisis de taludes. Lo que permitió obtener factores de seguridad estático y pseudo estático en cada análisis. En referencia a los

factores de seguridad para el análisis de estabilidad se ha considerado un factor de seguridad mínimo de 1,5 para la condición estática y 1,0 para la condición pseudo-estática. Para el caso del recrecimiento de los diques R4 y R5 se ha considerado un sismo con periodo de retorno de 475 años, y la avenida de diseño para un periodo de retorno de 100 años, debido a que es una estructura temporal.

- **Sección de análisis**

Se utilizó dos secciones en el dique R4 y R5, los cuales fueron consideradas como las más críticas. A continuación, se describen las secciones en cada estructura. Dique R4 Se realizó el análisis de estabilidad en las secciones A-A' y B- B' las cuales fueron seleccionadas por presentar la mayor altura de cuerpo de dique respecto al terreno natural (sección A-A' y B-B' para la presencia del muro reforzado (sección B-B'. Para la sección más desfavorable (Análisis de estabilidad tanto para la condición actual y la proyectada, mientras que en la sección B-B' para el dique R4 en planta son mostradas en el Gráfico 16.

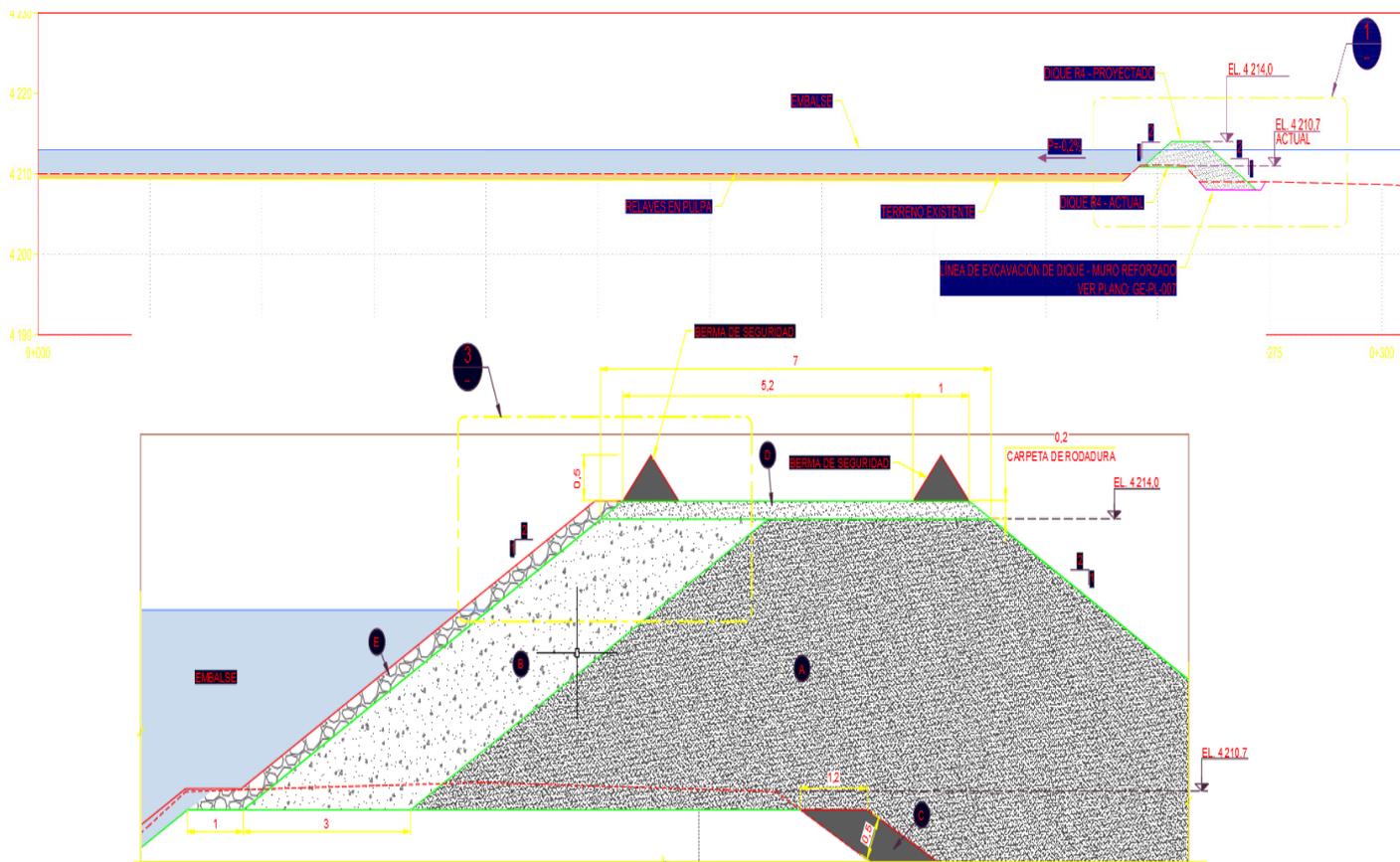
Figura 26 Ubicación de las secciones seleccionadas para el análisis de estabilidad física del dique R4 Secciones A- y B- Google Earth,



- **Simulación de la estabilidad de con el software geo5 y slide 8.0**

Para realizar el análisis de estabilidad por software utilizamos Slide 8.0, se realizaron simulaciones de secciones transversales típicas, correspondiente acuerdo de esfuerzo normales. El cálculo el factor de seguridad, para conocer el nivel de estabilidad del dique. Para la estabilidad de los diques, el programa debe calcular un factor de seguridad mayor que 1.00 en condiciones estáticas y pseudo estáticas. En el caso de un coeficiente más bajo, hay evidencia de un esfuerzo de tracción más alto que desestabiliza el dique.

Figura 27 Sección transversal de los diques para construcción



- **Características técnicas de los materiales**

Los valores de las propiedades físicas y químicas de los materiales que conformaran los diques se indica en el siguiente cuadro.

Tabla 15 RCM Geoconstants (GeotechTips Academy México 2020)

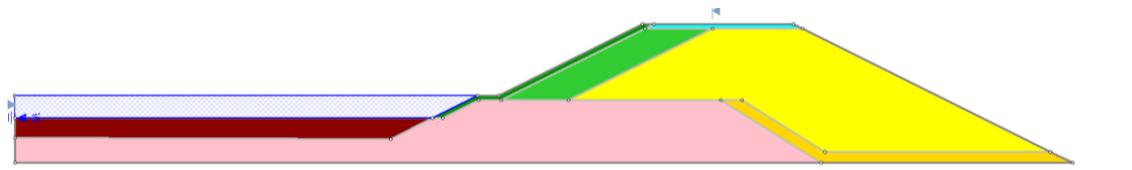
MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	CLASIFICACIÓN USCS	PESO VOLUMETRICO (KN/m3)	COHESIÓN (KN/m2)	ANGULO DE FRICCIÓN (Φ)
A	RELLENO MASIVO COMPACTADO	GRAVA ARCILLOSA	22	15	25
B	MATERIAL DE BAJA PERMEABILIDAD	GRAVA PERMEABLE	20	18	36
C	FILTRO DREN	GRAVA ARENOSO	19.01	22	38
D	CARPETA DE RODADURA	ARENA GRAVOSA	19.95	10	40
E	ENROCADO DE PROTECCIÓN	GRAVA ARENOSO	19.01	22	38
DIQUE	DIQUE EXISTENTE	GRAVA ARCILLOSA	22	15	25
RELAVE	RELAVE FINO Y GRUESO	RELAVE	17.5	31	0

Nota. Características físicas y químicas de los materiales

- **Cálculo del factor de seguridad**

Se ha realizado una evaluación de la estabilidad actual en las secciones típicas de los taludes.

figura 28 Sección en el software Slide 8.0



- **Factor de seguridad estático**

Figura 29.1 Bishop Simplificado en condiciones estáticas

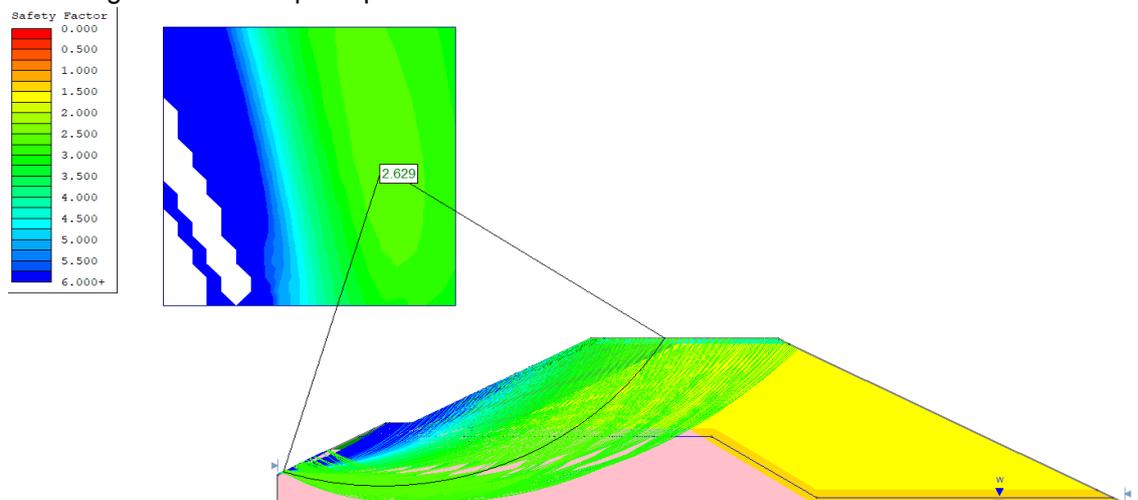


Figura 29.2 Janbu Simplificado En Condiciones Estáticas

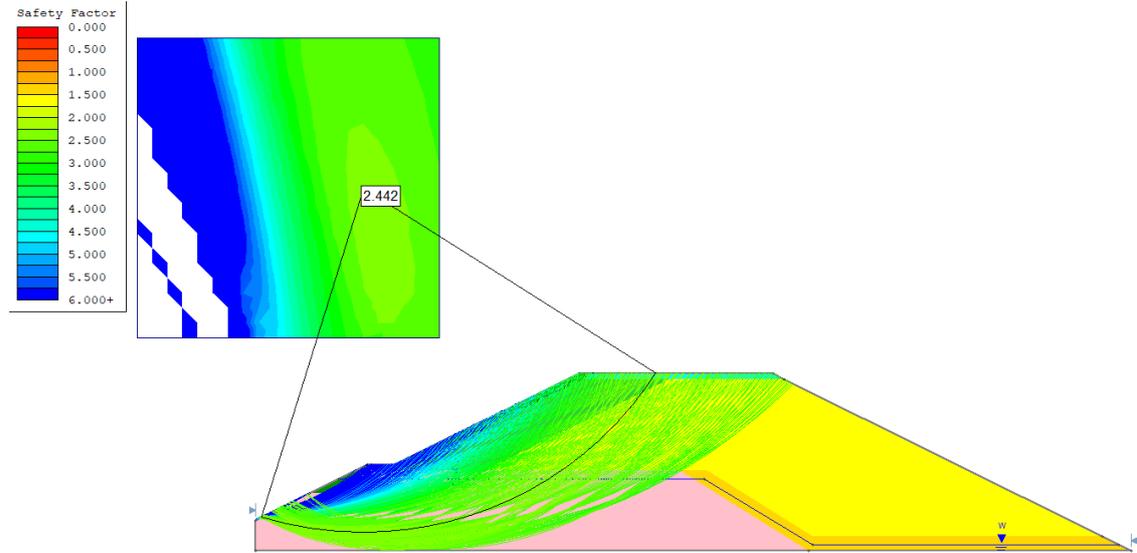


Figura 29.3 Janbu Corregido En Condiciones Estáticas

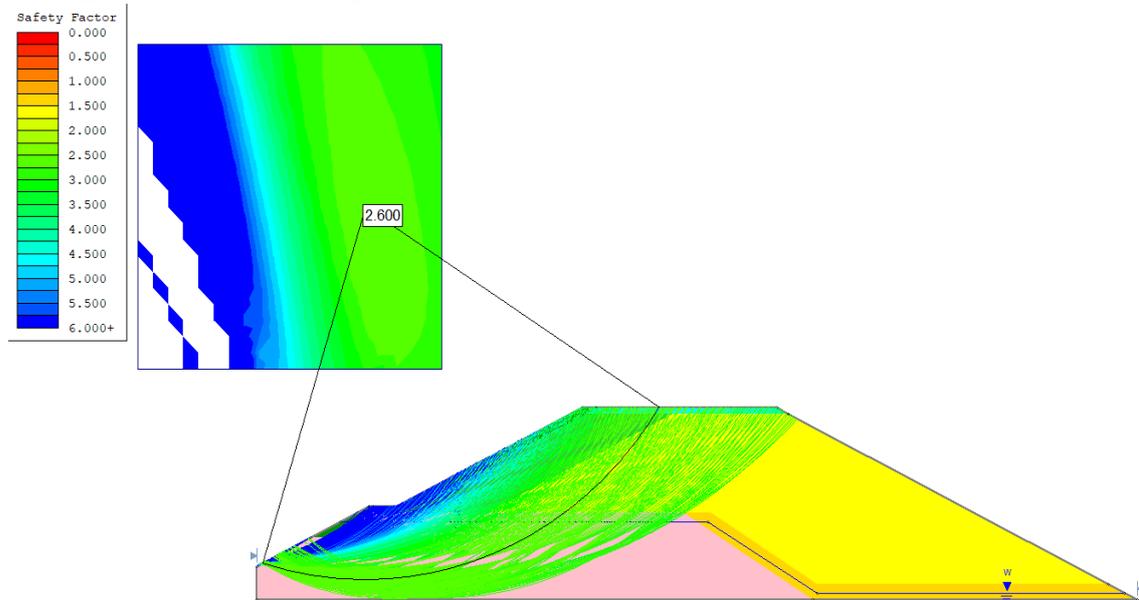
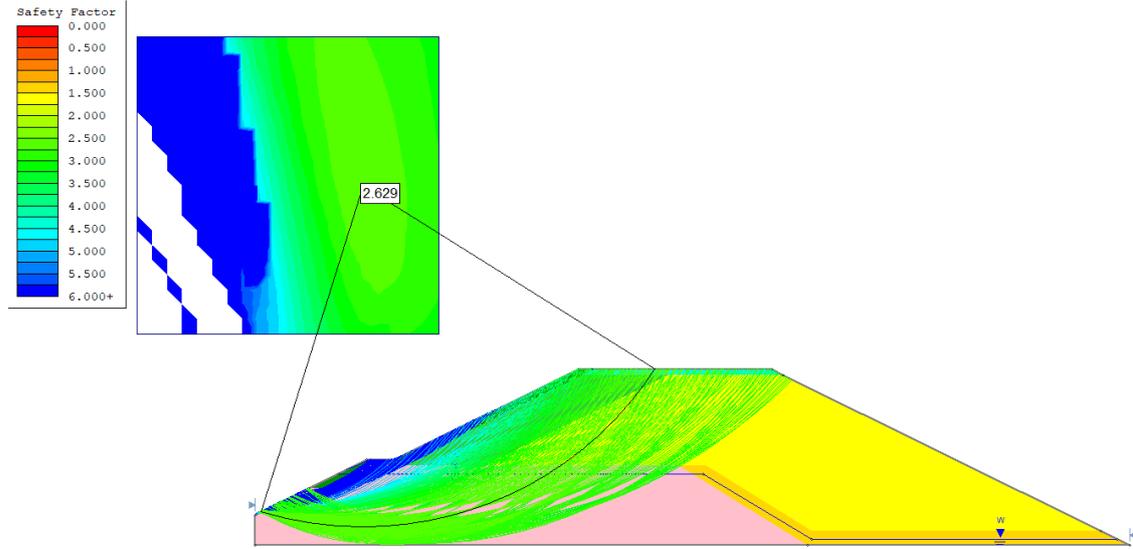


Figura 29.4 Spencer En Condiciones Estáticas



- **Factor de seguridad pseudo-estático**

Figura 30.1 Bishop simplificado en condiciones pseudo-estáticas

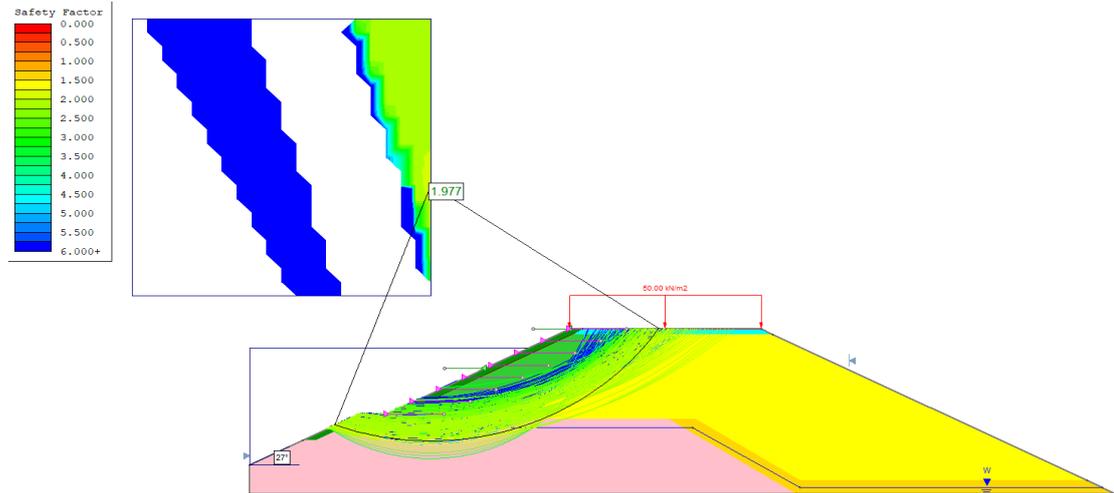


Figura 30.2 Janbu simplificado en condiciones pseudo-estáticas

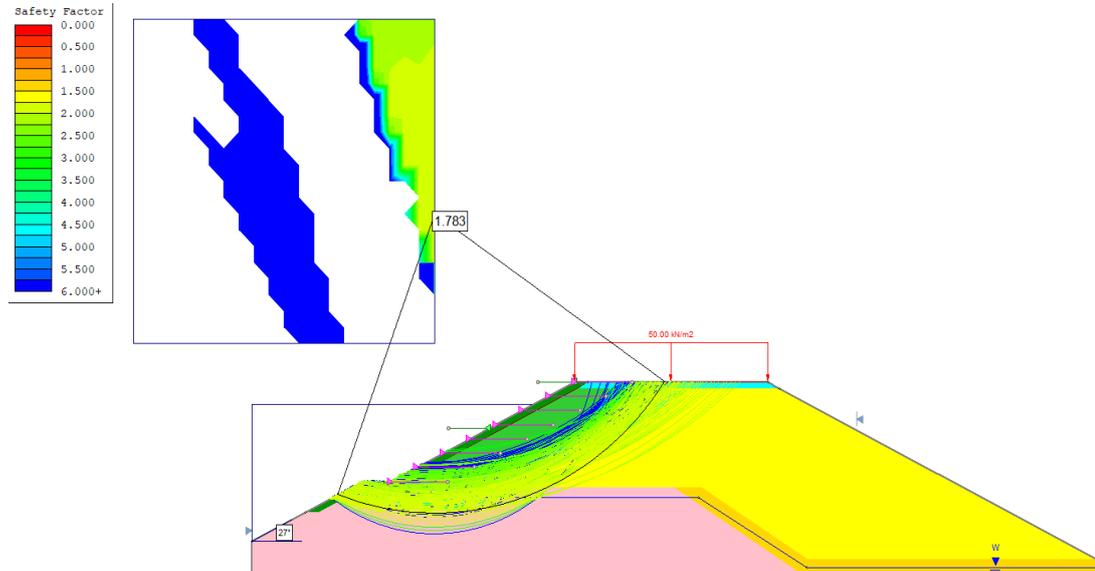


Figura 30.3 Janbu corregido en condiciones pseudo-estáticas

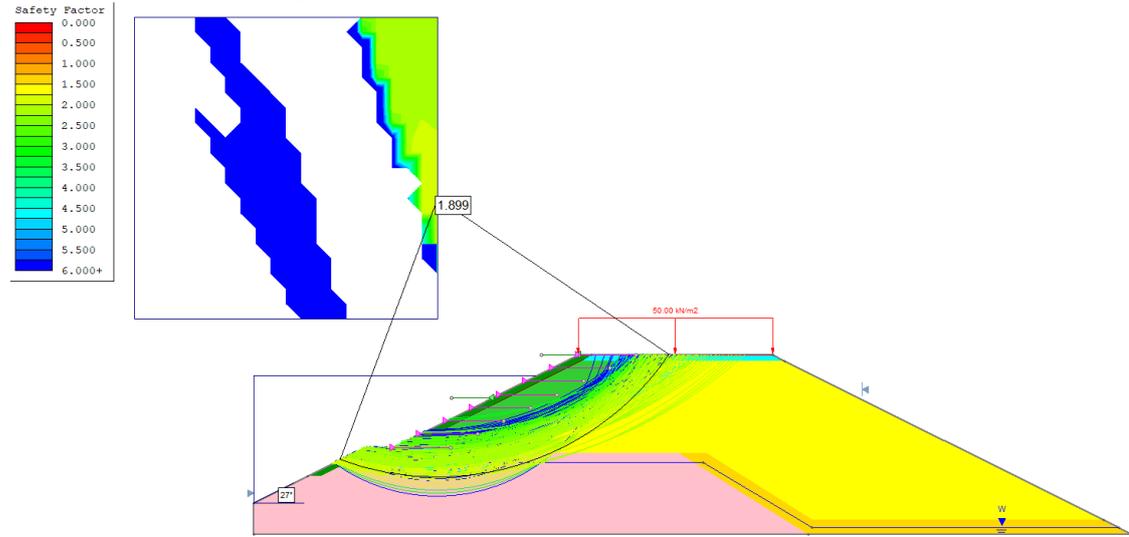
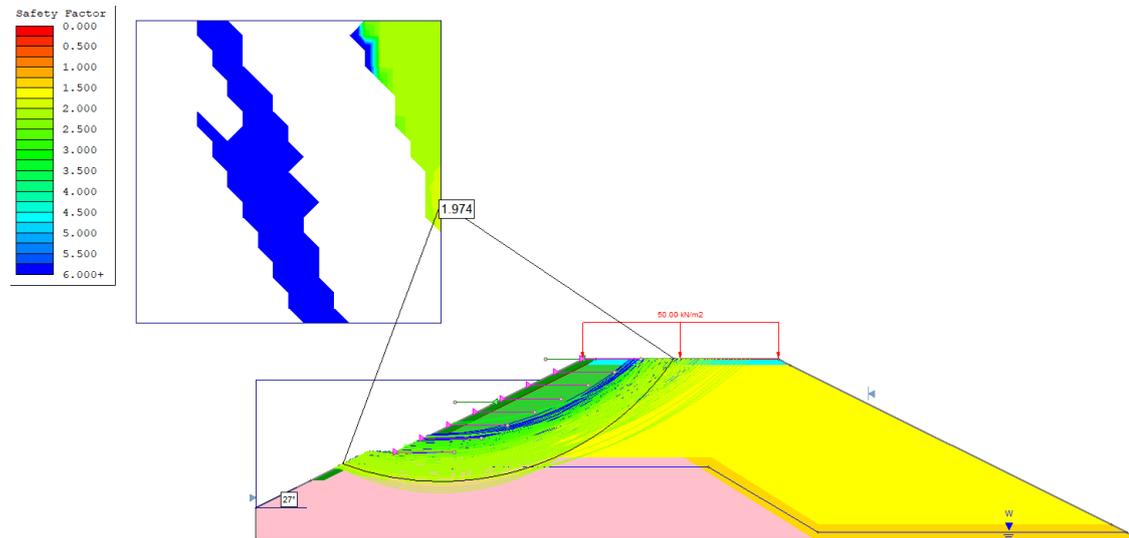


Figura 30.4 Spencer en condiciones pseudo-estáticas



Los resultados obtenidos se resumen.

Tabla 16 Resumen del factor de seguridad

METODO	ESTÁTICO	SEUDO-ESTÁTICO
BISHOP SIMPLIFICADO	2.629	1.977
JANBU SIMPLIFICADO	2.442	1.783
JANBU CORRIGIDO	2.6	1.899
SPENSER	2.629	1.974
MEDIA ARIT.	2.575	1.908

Nota. Resumen de los métodos empleados

- **Presentación análisis e interpretación de resultados**

La presa estará constituida por cinco tipos de material compactado, el primero denominado material tipo A constituido por grava arcillosa con un contenido de finos menor 15% compactada en capas de 0.50m a 0.60m de espesor según evaluación, hasta alcanzar el 95% de la máxima densidad seca.

El segundo material tipo B constituido por una grava permeable con un contenido de finos menor a 25% compactado en capas de 0.50m de espesor, hasta alcanzar el 95% de la máxima densidad seca.

El tercer material tipo C constituido por una grava arenosa con un de tamaños mayores a las 3Pulg.

El cuarto material tipo D constituido por una arena gravosa con un contenido de finos menor a 45% compactado en capa de 0.20m de espesor, hasta alcanzar el 95% de la máxima densidad seca.

El quinto material tipo E constituido por grava arcillosa con un contenido de finos menor 20% compactada en capas de 0.50m a 0.60m de espesor según evaluación, hasta alcanzar el 95% de la máxima densidad seca.

Se deberá de realizar una excavación del dique existente para alcanzar mayor estabilidad

El nivel de la cresta será 4214 m.s.n.m con un ancho de 6m, talud aguas arriba de 2 (H): 1 (V) con un volumen requerido de 58500m³ de Tipo A, 7400m³ de Tipo B, 9200m³ de Tipo C, 3000m³ de Tipo D y 2100m³ de Tipo E, haciendo un t.otal de 80200 m³ de material.

Tabla 17 Cantidad de material se debe usar para la construcción de los diques.

				R4	R5	
MATERIAL	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	TOTAL
A	RELLENO MASIVO COMPACTADO	GRAVA ARCILLOSA	m3	28000	30500	58500
B	MATERIAL DE BAJA PERMEABILIDAD	SUELO DE BAJA PERMEABILIDAD	m3	4000	3400	7400
C	FILTRO DREN	GRAVA ARENOSA	m3	4700	4500	9200
D	CARPETA DE RODADURA	ARENA GRAVOSA	m3	1200	1800	3000
E	ENROCADADO DE PROTECCIÓN	GRAVA ARENOSA	m3	1300	800	2100
				TOTAL DE MATERIAL		80200

Nota. Cálculo de los m3 que se van a emplear para su construcción

CONCLUSIONES

- En la propuesta, el recrecimiento de la presa; mucho influye de los materiales y la estabilidad que nos prestan dependen de diferentes variables.
- Se identificaron sitios de muestreo para roca y suelo alterados, degradados y degradados y se determinó su cohesión para análisis de laboratorio. Estudiaron el comportamiento del suelo geotécnico en los taludes junto a las presas, la estabilidad de los taludes en sus zonas más críticas.
- Para la construcción de la presa debemos tener una cantera que nos proporcione de los materiales requeridos y que estos materiales presten para garantizar la estabilidad.
- Se debe controlar mediante ensayos geotécnicos en cada capa instalada
Contenido de humedad ASTM D 2216 Granulometría por tamizado ASTM D 422
Límites de Atterberg ASTM D 4318 Clasificación SUCS ASTM D 2487 Proctor modificado ASTM D 1557 Gravedad específica de sólidos ASTM D 854
Clasificación de Suelos (SUCS) ASTM D 2487; estos ensayos se deben realizar tanto en cantera como los diques.
- Como resultado del programa slide v8.0 tiene como resultados del factor de seguridad superior a 2.575 para condiciones estáticas y mayor a 1.908 en pseudo estáticas con los materiales solicitados.
- El clima del área del proyecto se caracteriza por abundantes lluvias (1700 - 2350 mm/año); Se dan de diciembre a abril y son de 600-850 mm/mes, la mínima precipitación es en mayo-agosto, no baja de 80 mm/mes, por lo que estos meses son favorables para la correcta ejecución de excavaciones.

RECOMENDACIONES

- En base a la interpretación geotécnica efectuada se recomienda realizar la construcción de los diques R4 y R5.
- Se debe continuar con el monitoreo de los diques, con el control geodésico y el monitoreo periódico del desplazamiento.
- Evaluar los procesos químicos y su influyen en la resistencia cortante estática y dinámica en las presas de relaves de acuerdo al periodo de meteorización y almacenamiento.
- Sondeos de perforaciones adicionales suficientemente profundas que permitan establecer mejor los niveles de fundación.
- Se debe instalar inclinómetros para mejorar el control de estabilidad de la presa.
- Para extraer las aguas subterráneas se deben instalar un sistema subdrenaje tipo espina de pescado.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- **Quispe T. D. & Zúñiga E. A.(2019)** “*Análisis sísmico pseudo estático y pseudo dinámico de la estabilidad de la presa n° 9 Acchilla-Ccochaccasa-Angaraes-Huancavelica*”. Universidad Nacional de Huancavelica Huancavelica, Perú.
- **Lara consulting (2019)** “*Caracterización geotécnica del terreno de fundación y materiales de construcción de los diques R4 y R5 Sociedad Minera El Brocal S.A.A. (SMEB)*”. Rev.0- Colquijirca, Pasco - Perú
- **Christian H, Breña Vásquez 2019)** “*Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba*”, Cajamarca -Perú
- **Elvys R, Cristobal Damaso (2018)** “*Construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa ii a la cota 4621 m.s.n.m. para el control de contaminación ambiental en la compañía minera Chungar S.A.C.*”, Cerro de Pasco- Perú
- **(Luis A, Mendieta Britto 2018)** “*Estudio de ingeniería a nivel detallado para el crecimiento de la presa de relaves “El Porvenir” de Compañía Minera Milpo S.A.A, San Francisco de Asís de Yarusyacan, Pasco- Perú*
- **Víctor R. Chapilliquen Celis (2017)** “*Caracterización Geotécnica del suelo y roca para el diseño de pozas sedimentadoras en la zona de Ciénega Norte Tantahuatay*” Cajamarca- Perú
- **Siddique, T et al. (2015)** “*Slope mass rating and kinematic analysis of slopes along the national highway-58 near” Jonk, Rishikesh- India*
- **Knight, Z. (2015).** *Slope Stability Analysis of Tailings Dam Embankments.* Charles Darwin University. Luleå, Sweden
- **Sobarzo, V., Villalobos, F. y King, R. (2011)** “*Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina*”, Concepción- Chile
- **Md Monir Hossain (2011)** “*Stability Analysis of Anchored Rock Slopes against Plane Failure Subjected to Surcharge and Seismic Loads*”. - Australia

- **Kafle, Kumud Raj (2010)** *“Slope Mass Rating in Middle Mountain of Nepal: A Case Study on Landslide at Rabi Vdc Opi Village, Kavre”- Nepal*
- **Vick S. G. (1990)** *“Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams ~Bi tech”*
PUBLISHERS LTD Vancouver, B.C. -Canada.

ANEXOS

- **ENSAYOS GEOTECNICOS**
- **DISEÑO DIQUE R4**
- **DISEÑO DIQUE R5**
- **SONDAJES DIAMANTINOS R4**
- **SONDAJES DIAMANTINOS R5**
- **UBICACIÓN DE SONDAJES GEOFISICOS R4**
- **UBICACIÓN DE SONDAJES GEOFISICOS R5**
- **PANEL FOTOGRAFICO**

ANEXOS

ENSAYOS GEOTÉCNICOS

GESTIÓN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

**CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM D 4959-16 / D 2216-10**



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Número de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

Obra : CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE R4 Y R5 A COTA 4214.00	Muestra No: 9
Cliente : Sociedad Minera El Brocal S.A.	Fecha muestreo: 18-Mar-21
Ubicación Proyecto : Tinyahuarco - Pasco - Perú	Muestreado por: E.H.S
Material : Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30	

Condiciones de Secado: 60° C 100° C (X)	Método : Horno (O) Cocina (C) (X)
---	---

Ubicación	X=	359635.037	Y=	8810099.940	Cota	4211.050
Profundidad	m	-				
Muestra o ensayo		> 3"				
RECIPIENTE No		T-2				
Mr + Mh	A	14815				
Mr + Ms	B	14371				
Mr	C	950.0				
M. AGUA	D = A - B	444				
Ms	E = B - C	13421				
% DE HUMEDAD	(D/E) * 100	3.3				
CLASIFICACION SUCS	GP GC	PROMEDIO	=	3.3		

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua
Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04.
Material proveniente de la cancha de transferencia del R5.

Condiciones de Secado: 60° C 100° C (X)	Método : Horno (O) Cocina (C) (X)
---	---

Ubicación	X=	359635.04	Y=	8810099.94	Cota	4211.050
Profundidad	m	-				
Muestra o ensayo		<3"				
RECIPIENTE No		T-5				
Mr + Mh	A	14845				
Mr + Ms	B	13899				
Mr	C	951.0				
M. AGUA	D = A - B	946.0				
Ms	E = B - C	12948.0				
% DE HUMEDAD	(D/E) * 100	7.3				
CLASIFICACION SUCS	GP GC	PROMEDIO	=	7.3		

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua
Humedad Ponderada: 6.8

Leyenda: *MR= Masa del Recipiente *MH= Masa Húmedo *MS= Masa Seco

GESTIÓN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN
**DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE
 AGREGADO GRUESO
 ASTM C127-15**



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Número de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

Obra : CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE R4 Y R5 A COTA 4214.00

Cliente : Sociedad Minera El Brocal S.A.

Muestra No: 9

Ubicación Proyecto : Tinyahuarco - Pasco - Perú

Fecha muestreo: 18-03-21

Material : Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30

Muestreado por: E.H.S

Localización X = 359635.037 Y = 8810099.940

Cota m.s.n.m: 4211.050

No. De Partículas > 3 pulg.

No. Bandeja		T-17	
Agregado Saturado Superficial Seco + Tara		13034.0	
Agregado Seco + Tara		12866.0	
Masa de Tara		954	
Agregado Saturado Superficial Seco	B	12080.0	
Agregado Seco	A	11912.0	
Agregado + Canastilla sumergida		8383.0	
Masa Canastilla sumergida		804.0	
Agregado Saturado Sumergido	C	7579	
Temperatura del Agua		15	
Factor de Corrección		1	
Gravedad Especifica (Densidad Relativa Aparente)	(A / (A-C))	2.749	2.749
Gravedad Especifica (Densidad Relativa SSS)	(B / (B-C))	2.684	2.684
Gravedad Especifica (Densidad Relativa)	(A / (B-C))	2.647	2.647
Absorción	((B - A) / A) *100	1.4	1.4
Densidad (OD)	997.5 A/(B-C) Kg/m3	2639.9	2640
Densidad (SSD)	997.5 B/(B-C) Kg/m3	2677.1	2677
Densidad Aparente	997.5 A/(A-C) Kg/m3	2742.3	2742

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua

Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04.

Material proveniente de la cancha de transferencia del R5.

GESTIÓN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN
**DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE
 AGREGADO GRUESO
 ASTM C127-15**



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Número de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

Obra : CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE R4 Y R5 A COTA 4214.00

Cliente : Sociedad Minera El Brocal S.A.

Muestra No: 9

Ubicación Proyecto : Tinyahuarco - Pasco - Perú

Fecha muestreo: 18-03-21

Material : Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30

Muestreado por: E.H.S

Localización X = 359635.037 Y = 8810099.940

Cota m.s.n.m: 4211.050

No. De Particulas <3 > 3/4" pulg.

No. Bandeja		T-18	
Agregado Saturado Superficial Seco + Tara		8896.0	
Agregado Seco + Tara		8732.0	
Masa de Tara		803	
Agregado Saturado Superficial Seco	B	8093.0	
Agregado Seco	A	7929.0	
Agregado + Canastilla sumergida		5397.0	
Masa Canastilla sumergida		467.0	
Agregado Saturado Sumergido	C	4930	
Temperatura del Agua		15	
Factor de Corrección		1	
Gravedad Especifica (Densidad Relativa Aparente)	(A / (A-C))	2.644	2.644
Gravedad Especifica (Densidad Relativa SSS)	(B / (B-C))	2.559	2.559
Gravedad Especifica (Densidad Relativa)	(A / (B-C))	2.507	2.507
Absorción	((B - A) / A) *100	2.1	2.1
Densidad (OD)	997.5 A/(B-C) Kg/m3	2500.5	2501
Densidad (SSD)	997.5 B/(B-C) Kg/m3	2552.3	2552
Densidad Aparente	997.5 A/(A-C) Kg/m3	2637.3	2637

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua

Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04.

Material proveniente de la cancha de transferencia del R5.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA ASTM

D6913 / D6913M-17 / D1140-17 / D5519-15



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Número de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

Código:

Obra: : CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE R4 Y R5 A COTA 4214.00

Cliente : Sociedad Minera El Brocal S.A.

Muestra No: 9

Ubicación Proyecto : Tinyahuarco - Pasco - Perú

Fecha muestreo: 18-Mar-21

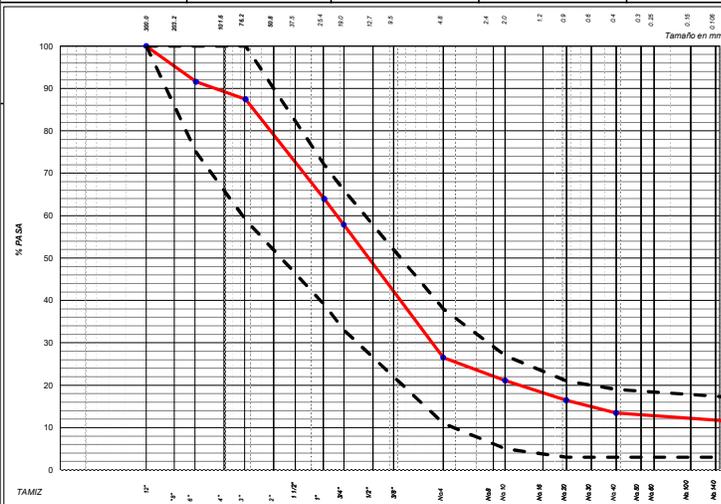
Material : Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30

Muestreado por: E.H.S

Localización : X= 359635.037 Y= 8810099.940

Cota m.s.n.m: 4211.050

Tamaño Tamiz	Masa Reten. Acumulado	% Retenido	% Pasa	Especific.	DISTRIBUCION DE PARTÍCULAS			
12"	0.0	0.0	100.0	100	OVER	GRAVA	ARENAS	FINOS
8"	0.0	0.0	100.0					
7"								
6"	75.6	8.4	91.6	75	12.6%	60.9%	15.2%	11.3%
5"				100				
4"	75.6	8.4	91.6		CLASIFICACIÓN SEGÚN ASTM D2487-10			
3"	113.8	12.6	87.4	59	Clasificación SUCS: Grava mal gradada con arcilla con arena con bolones			
2"					Nombre del Grupo GP GC			
1 1/2"					Corrección del suelo húmedo que pasa la malla			
1"	9734	36.1	63.9	39	Masa suelo Húmedo que pasa (Kg) <3" 848.4			
3/4"	12307	42.2	57.8	33	Masa suelo seco que pasa (Kg) <3" 790.6			
1/2"					Masa suelo seco retenido (Kg) >3" 113.8			
3/8"					Masa suelo seco total (Kg) 904.4			
No. 4	25267	73.5	26.5	11	Masa Suelo Seco p/ tamizado <3" (g) 36277.8			
No. 8					Condiciones de Secado y Lavado del suelo Retenido en la malla N° 4 Secado a 110 °C sin lavar			
No. 10	99.1	78.9	21.1	5				
No. 16								
No. 20	184.4	83.6	16.4	3				
No. 30								
No. 40	239.0	86.6	13.4	3				
No. 60								
No. 100								
No. 200	277.4	88.7	11.3	3				
Platillo	408.1	95.9	4.1	17				



Condiciones de Secado y Lavado de la fracción de suelo que pasa la malla N° 4 Secado a 110 °C despues de lavado

Contenido de humedad de material pasante a la malla N° 4. Condición de material lavado pasante a la malla N° 4 y % de material pasante a la malla N° 200

No. Tara	T-2	No. Tara	T-2
Masa Humedo + Tara	786.0	Masa Seco + Tara	731.0
Masa Seco + Tara	731.0	M. Seco Lavado +Tara	662.3
Masa de Tara	248.0	Masa de Tara	248.0
Masa del Agua	55.0	Suelo Seco (-No. 200) g	68.7
Masa Seco	483.0	Suelo Seco (+No. 200) g	414.3
Cont. de humedad %	11.4	Suelo Seco (-No. 200) %	3.8

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua
Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04.
Material proveniente de la cancha de trasferencia del R5.

Cumple con EE.TT	SI	X
No Cumple con EE.TT	NO	
No Aplica	N/A	

LÍMITES DE ATTERBERG
ASTM D 4318-17e¹



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

N° de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

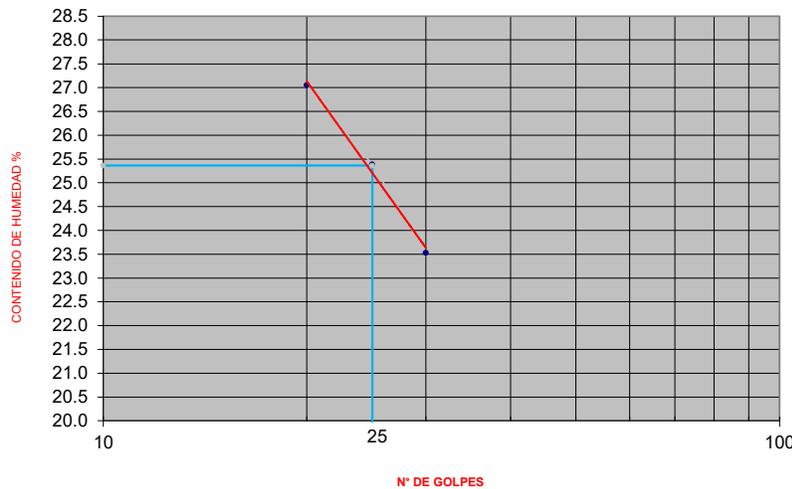
Obra: : CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE R4 Y R5 A COTA 4214.00
Cliente: : Sociedad Minera El Brocal S.A. **Muestra No:** **9**
Ubicación Proyecto: : Tinyahuarco - Pasco - Perú **Fecha muestreo:** 18-03-21
Material: : Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30 **Muestreado por:** **E.H.S**
Localización X = 359635.037 **Y =** 8810099.940 **Cota m.s.n.m.:** 4211.050

LÍMITE LÍQUIDO

Muestra o ensayo	1	2	3
No de Golpes	30	25	20
Recipiente No	T-04	T-78	T-492
Mr + Mh	30.30	29.50	28.60
Mr + Ms	27.10	26.20	25.30
M. Agua	3.20	3.30	3.30
Mr	13.50	13.20	13.10
Ms	13.60	13.00	12.20
% de Humedad	23.5	25.4	27.0

LÍMITE PLÁSTICO

Muestra o ensayo	T-65	T-62
Recipiente No	T-65	T-62
Mr + Mh	17.70	18.40
Mr + Ms	17.10	17.80
M. Agua	0.60	0.60
Mr	13.20	13.90
Ms	3.90	3.90
% de Humedad	15.4	15.4
Promedio Limite Plástico (PL)	PROMEDIO=	15



No. Golpes	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Clasificación Sucs.	GP GC
Humedad Natural%	6.8
Límite Líquido%	25
Límite Plástico%	15
Índice Plástico%	10

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua
 Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04.
 Material proveniente de la cancha de trasferencia del R5.

Cumple con EE.TT	SI	x
No Cumple con EE.TT	NO	
No Aplica	N/A	

MR= Masa del Recipiente

MH= Masa Húmedo

MS= Masa Seco

TEMPERATURA DE SECADO

Preparación de la Muestra 20° C AMBIENTE (X)
 Contenido de Humedad 60° C (X) 110° C

AGUA USADA

DESTILADA : _____ OTRA: _____
 POTABLE: (X)

**RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD
PROCTOR ESTÁNDAR
ASTM D 698**



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

Número de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

Obra : CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE R4 Y R5 A COTA 4214.00

Cliente : Sociedad Minera El Brocal S.A.

Muestra No: 9

Ubicación Proyecto : Tinyahuarco - Pasco - Perú

Fecha muestreo: 18-03-21

Material : Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30

Muestreado por: E.H.S

Localización X = 359635.037

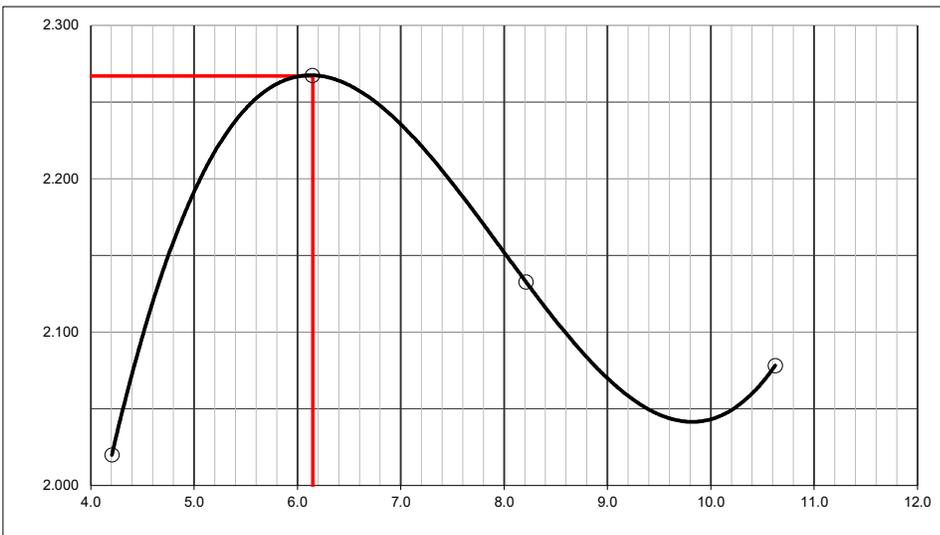
Y = 8810099.940

Cota m.s.n.m: 4211.050

DETERMINACIÓN	1	2	3	4
Agua Agregada		2%	4%	6%
Masa Molde + material húmedo	11317	11961	11750	11731
Masa del molde g	6828	6828	6828	6828
Masa de material húmedo g	4489	5133	4922	4903
Volumen del molde molde cm ³	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda g/cm ³	2.105	2.407	2.308	2.299
Cápsula N°	T-2	T-1	T-3	T-4
Cápsula + material húmedo g	4827.0	5226.0	5071.0	5033.0
Cápsula + material seco g	4642.0	4938.0	4702.0	4574.0
Masa del agua g	185.0	288.0	369.0	459.0
Masa de la cápsula g	242.0	251.0	208.0	253.0
Masa de suelo seco g	4400.0	4687.0	4494.0	4321.0
Contenido de agua %	4.2	6.1	8.2	10.6
Densidad seca g/cm ³	2.020	2.267	2.133	2.078

Método	A	B	C	Tipo de Molde:	Molde de 4"	Molde de 6"	X	
			X	Volumen Molde	2133 cm ³	T° Secado	60°C/110°C	Peso Molde
							X	6828.0 g

Clasificación USCS : Grava mal gradada con arcilla con arena con bolones



RESULTADOS OBTENIDOS

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)

2.267

HUMEDAD OPTIMA %

6.2

POR CORRECCIÓN:

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)

2.369

HUMEDAD OPTIMA %

5.2

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua

Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04.

Material proveniente de la cancha de trasferencia del R5.

CORRECCIÓN DE PROCTOR POR GRAVA
ASTM D 4718

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

Número de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

Código: PG-PZ2PTRI-004

Obra	: CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE R4 Y R5 A COTA 4214.00	Muestra No:	9
Cliente	: Sociedad Minera El Brocal S.A.	Fecha muestreo:	18-03-21
Ubicación Proyecto	: Tinyahuarco - Pasco - Perú	Muestreado por:	E.H.S
Material	: Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30	Cota m.s.n.m:	4211.050
Localización	X = 359635.037 Y = 8810099.940		

A. Corrección para el Contenido de Humedad (MC) - Muestra Total

3/4	30.0	% retenido en 3/4"	(Nota 1)
C.H.	2.9	%	
3/4	70.0	% pasante en 3/4"	
C.H.	6.2	%	
C.H. Corregido =	$(0.3 \times 0.029) + (0.7 \times 0.062)$		= 5.2 %

B. Corrección para Máxima Densidad Seca de Muestra Total

2.267 gr/cm3 Valor del Proctor sin corrección
(Ver curva adjunta)

$$DCS = [100 * (Df) * (Gm) * (Dw)] / [(Df * Pc) + (Gm * Dw * Pf)]$$

DSC =	Corrección de peso unitario seco del Material Total calculado	=	gr/cm3
Df =	Optima Densidad Seca Fracción Fina	=	2.267 gr/cm3
Gm =	Peso Especifico de Grava	=	2.647 gr/cm3
Dw =	Peso Unitario de Agua	=	1
Pc =	Porcentaje de Sobretamaño >3/4	=	30 %
Pf =	Porcentaje de Fracción Fina <3/4	=	70 %

$$DCS = [100 * (2.267) * (2.647) * (1)] / [(2.267 * 30) + (2.647 * 1 * 70)]$$

DCS = **2.369** gr/cm3

C. Resultados Obtenidos

C.H. Corregido	5.2	%
Densidad Seca Corregida	2.369	gr/cm3

1. Si el valor del porcentaje retenido en la malla 3/4" es mayor a 30%, la corrección no es valida por este método. Realizar el cálculo usando el porcentaje retenido como 30% y como pasante 70%

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua

Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04.

Material proveniente de la cancha de transferencia del R5.

GESTIÓN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN
**DENSIDAD DE SUELOS Y ROCAS IN-SITU POR EL
MÉTODO DE REMPLAZO DE AGUA
EN UN POZO DE EXPLORACIÓN
ASTM D 5030-13a**



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Número de revisión: 0

Fecha de Revisión: 24-02-21

Obra	: = Granulometría ID8	Muestra No:	9
Cliente	: Sociedad Minera El Brocal S.A.	Fecha muestreo:	18-03-21
Ubicación Proyecto	: Tinyahuarco - Pasco - Perú	Muestreado por:	E.H.S
Material	: Material Tipo A - Capa N°01 e:0.60m prog. 0+094.30	Cota m.s.n.m:	4211.050
Localización	X = 359635.037 Y = 8810099.940		

Datos de la Muestra

1	PROCEDIMIENTO		B
2	Prueba N°		2
3	Capa N°		1
4	Progresiva del ensayo		0+105

Datos del agua para llenar el hoyo

5	Masa de agua en el marco	(kg)	31.1
6	Masa de agua en el marco + el hoyo	(kg)	425.8
7	Masa de agua en el hoyo	(kg)	394.7
8	Temperatura del agua	12 ° C Densidad del Agua	(g/cm3)
			0.9996

Datos del Material extraído y densidad obtenida

8	Fracción de control menor a		3"
9	Masa húmeda del suelo total	(kg)	962.2
10	Masa húmeda de partículas de sobre medida	(kg)	113.8
11	Masa húmeda de fracción de control	(kg)	848.4
12	Volumen del hueco + Volumen del marco	(m3)	0.426
13	Volumen del agua en el marco	(m3)	0.031
14	Volumen del hueco	(m3)	0.395
15	Peso específico de las partículas de sobre medida	(g/cm3)	2.647
16	Volumen de partículas de sobre medida	(m3)	0.043
17	Volumen de la fracción de control	(m3)	0.352
18	Densidad húmeda de la fracción de control	(Mg/m3) ó (g/cm3)	2.411
19	Contenido de humedad de la fracción de control	(%)	7.3
20	Densidad seca de la fracción de control	(Mg/m3) ó (g/cm3)	2.247
21	Peso Unitario seco de la fracción de control	(kN/m3)	22.035
22	Peso Unitario seco de la fracción de control	(g-f/m3)	2.247
23	Masa seca de la fracción de control	(kg)	790.6
24	Contenido de humedad de partículas de sobre medida	(%)	3.3
25	Masa seca de partículas de sobre medida	(kg)	110.2
26	Masa seca del suelo total	(kg)	900.8
27	Porcentaje de partículas de sobre medida	(%)	12.2
28	Contenido de humedad del suelo total	(%)	6.821
29	Densidad húmeda del suelo total	(Mg/m3) ó (g/cm3)	2.437
30	Densidad seca del suelo total	(Mg/m3) ó (g/cm3)	2.281
31	Peso Unitario seco del suelo total	(kN/m3)	22.372

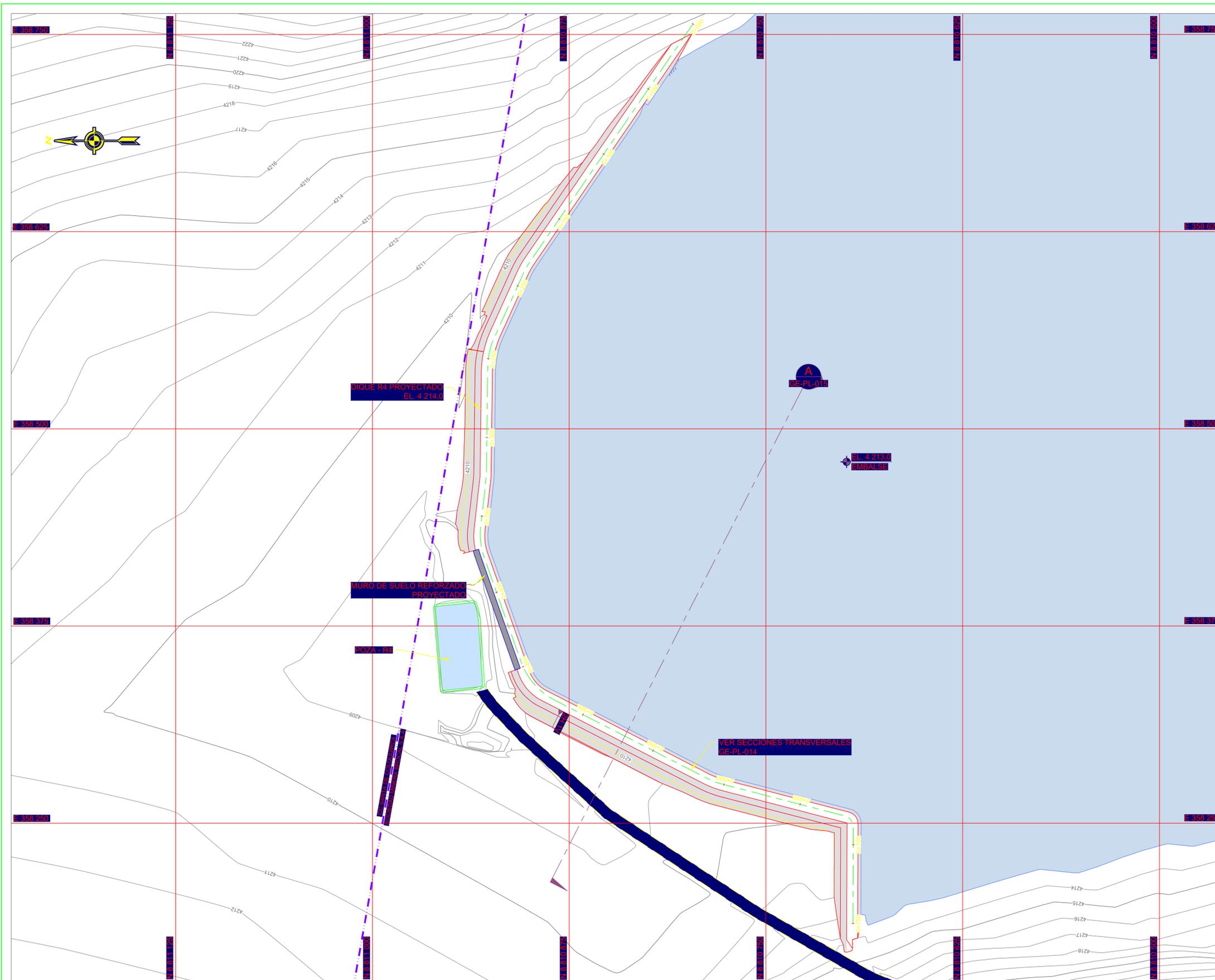
Referencias de Laboratorio

32	N° de Documento		9
33	Máxima Densidad Seca	(kN/m3)	2.369
34	Óptimo Contenido de Humedad	(%)	5.2
35	% de Compactación		96.3
36	Cumple / No Cumple		Cumple

Especificaciones

37	% Compactación		96
38	% humedad respecto del O.C.H.		-2 /+2 1.6
39	EQUIPO UTILIZADO		Rodillo Liso
40	N° De Ciclos		08 ciclos

Observaciones: Material tomado de ensayo de densidad in situ, método de reemplazo por volumen de agua
Realizado en la capa N°01 e:0.60m, en la prog. 0+101, en el panel 04. Material proveniente de la cancha de transferencia del R5.



- LEYENDA**
- TOPOGRAFÍA DEL TERRENO EXISTENTE
 - CURVAS DE NIVEL TERRENO PROYECTADO
 - ACCESO EXISTENTE
 - EMBALSE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
 - LÍMITE DE PROPIEDAD

**EMITIDO PARA
CONSTRUCCIÓN**

- NOTAS GENERALES:**
1. LAS UNIDADES MOSTRADAS EN EL PLANO ESTÁN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL SALVO OTRA INDICACIÓN.
 2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (m s.n.m).
 3. LA CUADRÍCULA ESTÁ REPRESENTADA EN EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM-WGS84 ZONA 18 SUR.
 4. LAS ESCALAS NUMÉRICAS MOSTRADAS EN EL PLANO SE APLICAN SOLO CUANDO ESTOS SON IMPRESOS EN TAMAÑO A1.

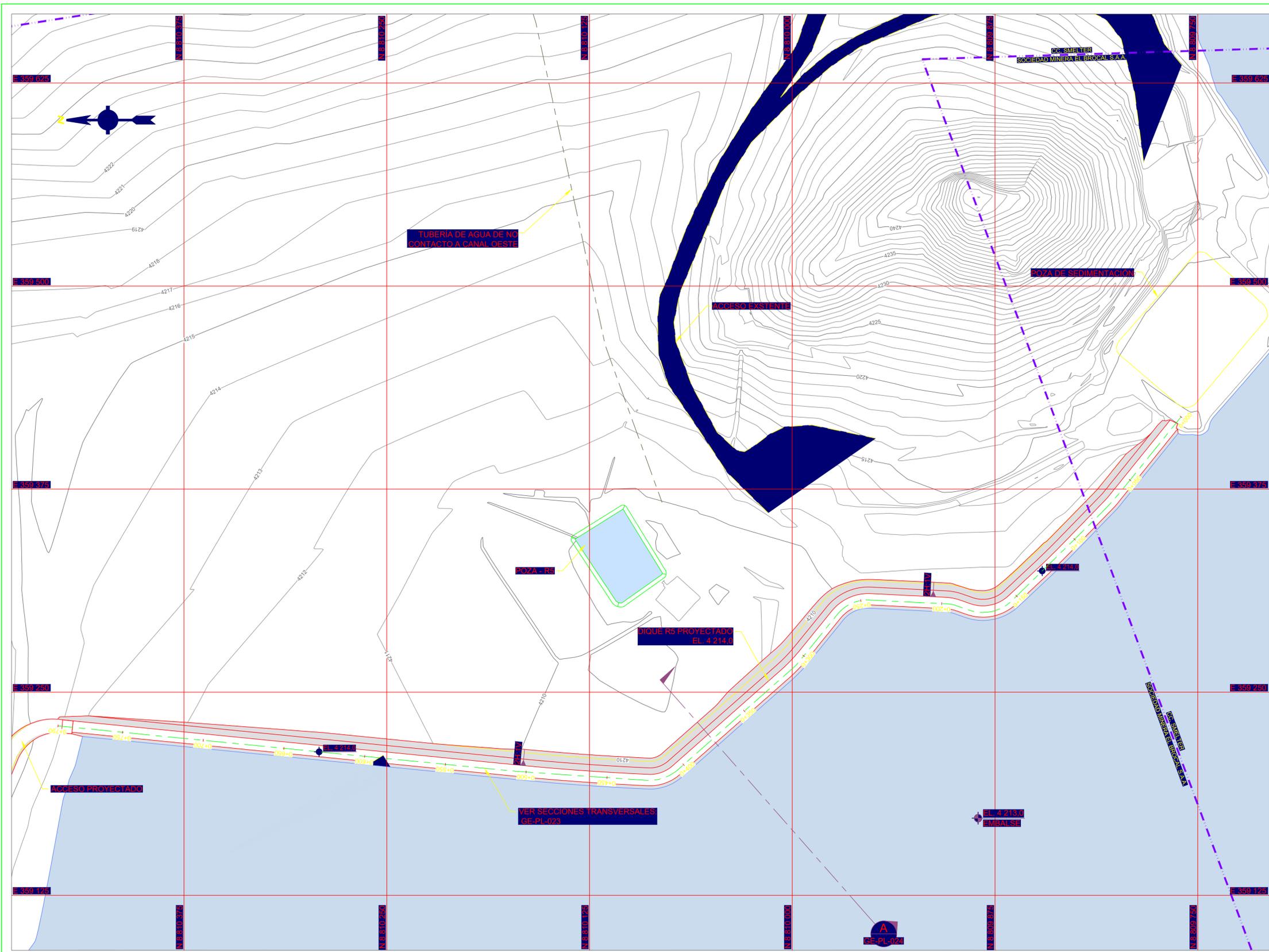


DIQUE R4 - PROYECTADO EL. 4 214,0
PLANTA
ESC: 1/1 250

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

PROYECTO
“EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CONSTRUCCIÓN
DE RECRECIMIENTO DE DIQUES R4 Y R5,
EN LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA”

PLANO: DISEÑO_DIQUE_R4	ESCALA INDICADA	ELABORADO HIDALGO SOLIS, EDERSON EDDIE	REV. REV_0
----------------------------------	---------------------------	--	----------------------

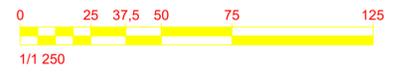


LEYENDA

	TOPOGRAFÍA DEL TERRENO EXISTENTE
	CURVAS DE NIVEL TERRENO PROYECTADO
	ACCESO EXISTENTE
	EMBALSE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
	LÍMITE DE PROPIEDAD

EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN

- NOTAS GENERALES:**
1. LAS UNIDADES MOSTRADAS EN EL PLANO ESTÁN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL SALVO OTRA INDICACIÓN.
 2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (m s.n.m).
 3. LA CUADRÍCULA ESTÁ REPRESENTADA EN EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM-WGS84 ZONA 18 SUR.
 4. LAS ESCALAS NUMÉRICAS MOSTRADAS EN EL PLANO SE APLICAN SOLO CUANDO ESTOS SON IMPRESOS EN TAMAÑO A1.

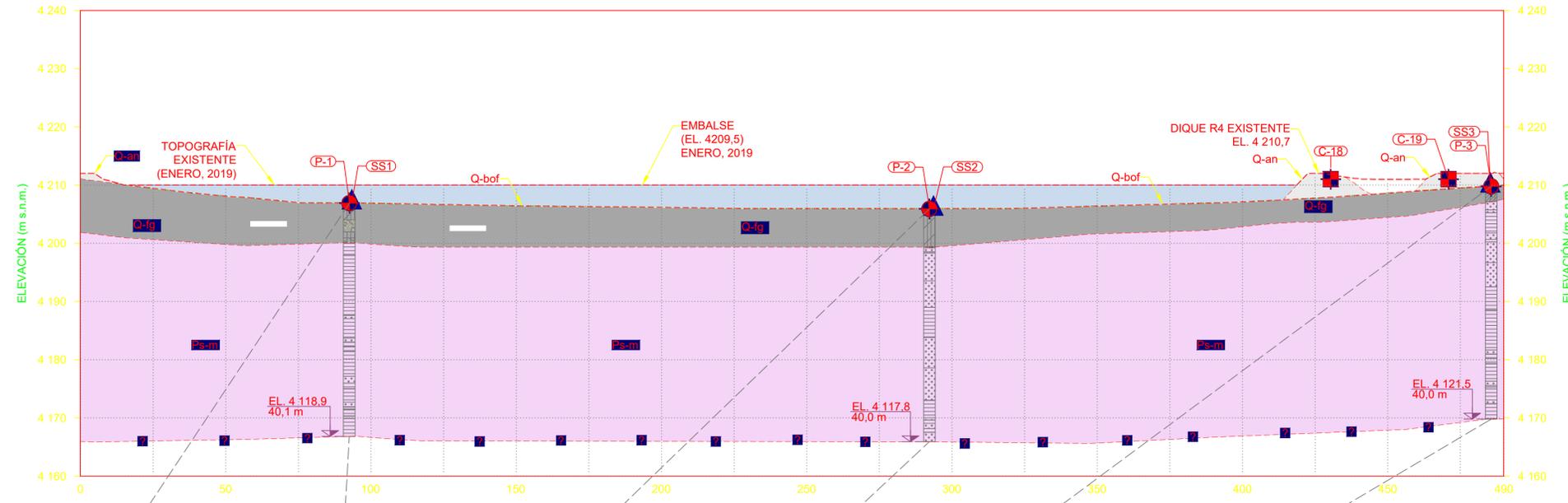


DIQUE R5 - PROYECTADO EL. 4 214,0
PLANTA
ESC: 1/1 250

UNDAQ UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN EL BROCAL

PROYECTO
"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE RECRECIMIENTO DE DIQUES R4 Y R5, EN LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA"

PLANO: DISEÑO_DIQUE_R5	ESCALA INDICADA	ELABORADO HIDALGO SOLIS_EDERSON EDDIE	REV. REV_0
---------------------------	--------------------	--	---------------



LEYENDA

- EMBALSE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
- CONTACTO DEFINIDO
- CONTACTO INFERIDO
- ENSAYO MASW SVS 2009
- ENSAYO MASW - MAM / LC 2019
- CALICATAS LARA CONSULTING 2019
- SONDAJES SVS 2009
- DPL LARA CONSULTING 2019
- SONDAJES PERFORACIONES / LC 2019

ESTRATIGRAFÍA

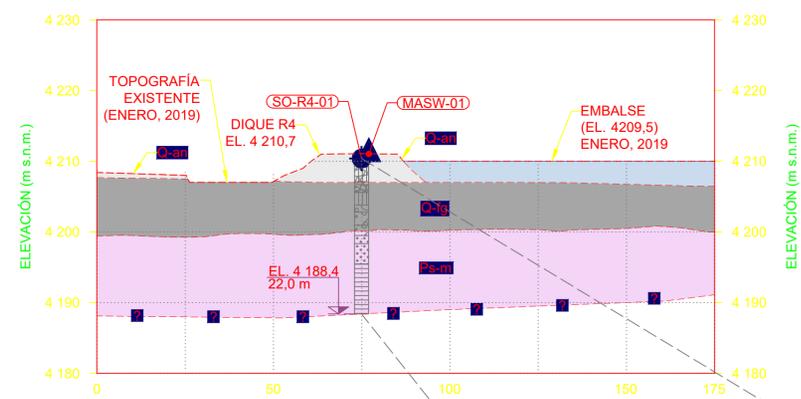
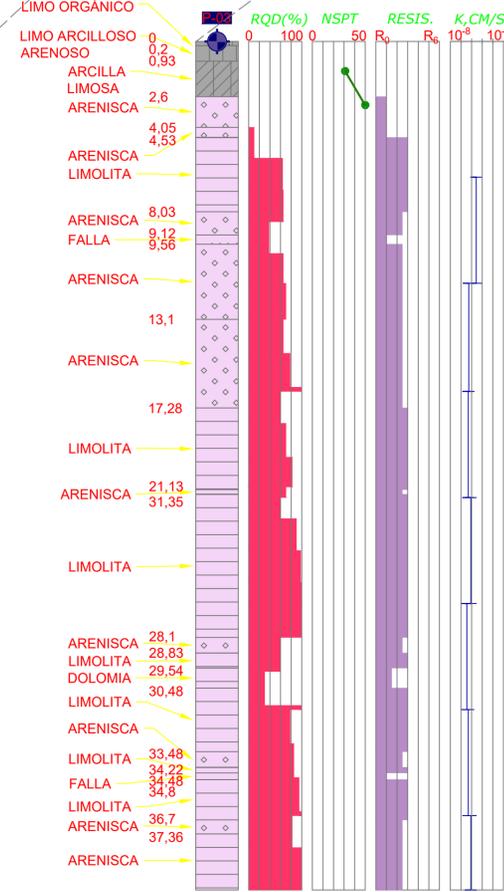
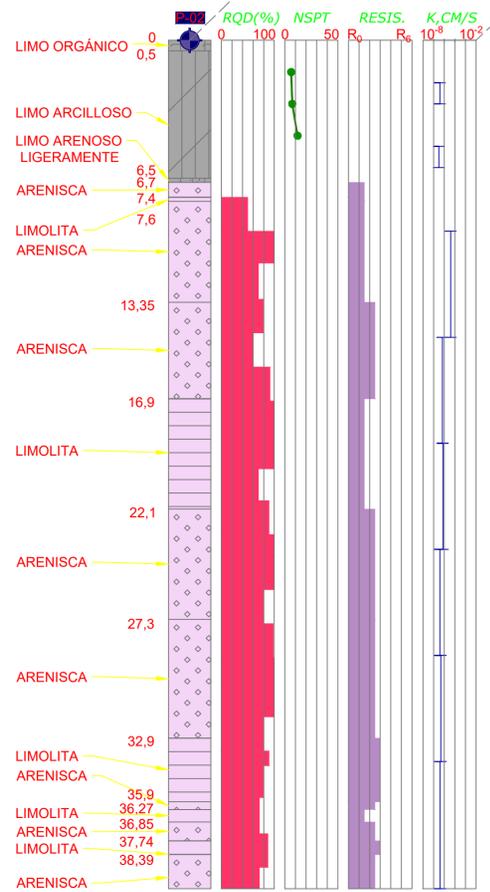
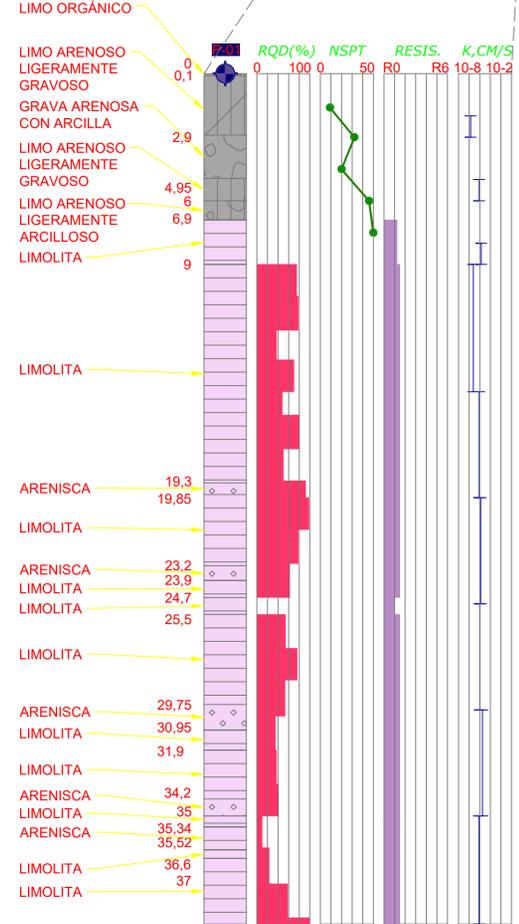
UNIDADES DE SUELO

- Q-an DEPÓSITO ANTRÓPICOS
- Q-bof BOFEDALES
- Q-fg DEPÓSITO FLUVIOGLACIARES

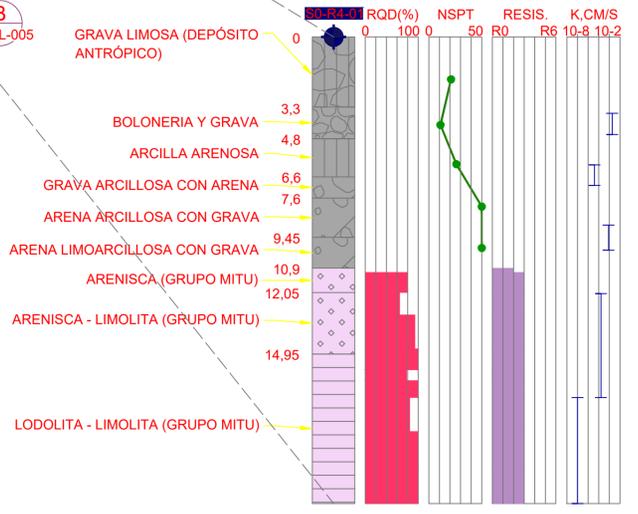
UNIDADES DE ROCA

- Ps-m GRUPO MITU

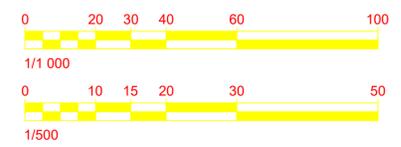
SECCIÓN A
ESC H: 1/1 000 V: 1/500
GE-PL-005



SECCIÓN B
ESC H: 1/1 000 V: 1/500
GE-PL-005



EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN



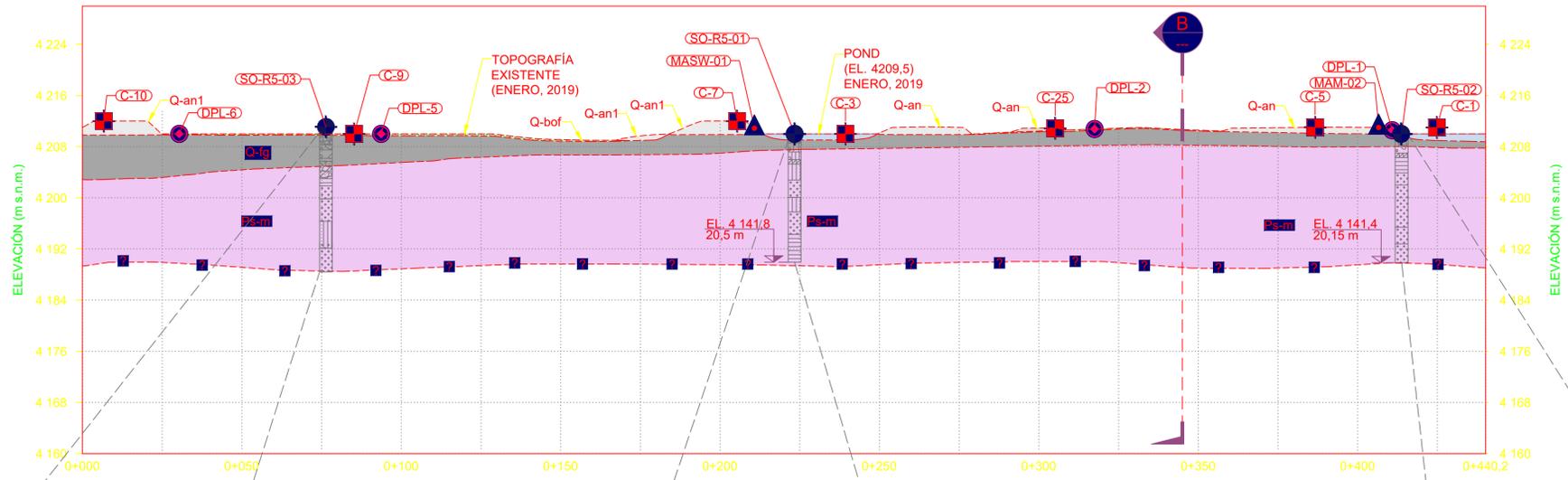
- NOTAS GENERALES:**
1. LAS UNIDADES MOSTRADAS EN EL PLANO ESTÁN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL SALVO OTRA INDICACIÓN.
 2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (m s.n.m).
 3. LAS ESCALAS NUMÉRICAS MOSTRADAS EN EL PLANO SE APLICAN SOLO CUANDO ESTOS SON IMPRESOS EN TAMAÑO A1.

REFERENCIAS	NUM_REF_5	REF_5	REV_5	FECHA_5	DESCRIPCIÓN_5	DIB_5	DIS_5	REV_5	APR_5
	NUM_REF_4	REF_4	REV_4	FECHA_4	DESCRIPCIÓN_4	DIB_4	DIS_4	REV_4	APR_4
	NUM_REF_3	REF_3	REV_3	FECHA_3	DESCRIPCIÓN_3	DIB_3	DIS_3	REV_3	APR_3
	NUM_REF_2	REF_2	REV_2	FECHA_2	DESCRIPCIÓN_2	DIB_2	DIS_2	REV_2	APR_2
	NUM_REF_1	REF_1	REV_1	FECHA_1	DESCRIPCIÓN_1	DIB_1	DIS_1	REV_1	APR_1
	N° PLANO	DESCRIPCIÓN DE LA REFERENCIA	N° REV	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	DIB.	DIS.	REV.	APR.

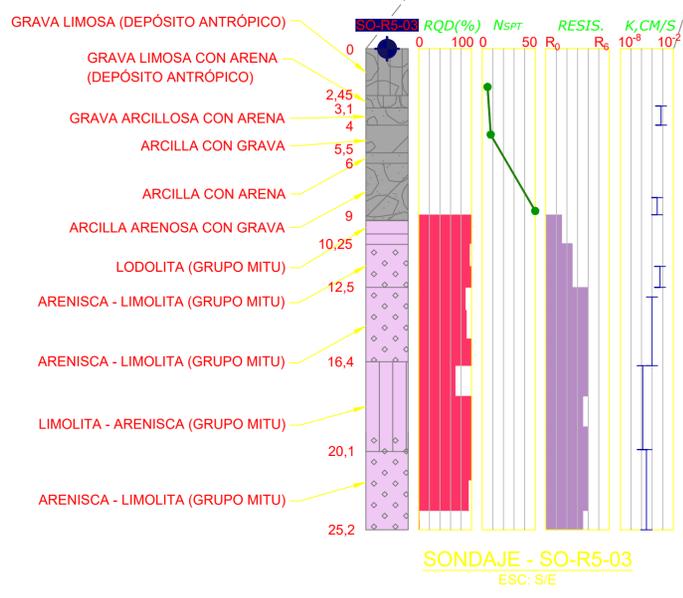
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

PROYECTO
"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE RECRECIMIENTO DE DIQUES R4 Y R5, EN LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA"

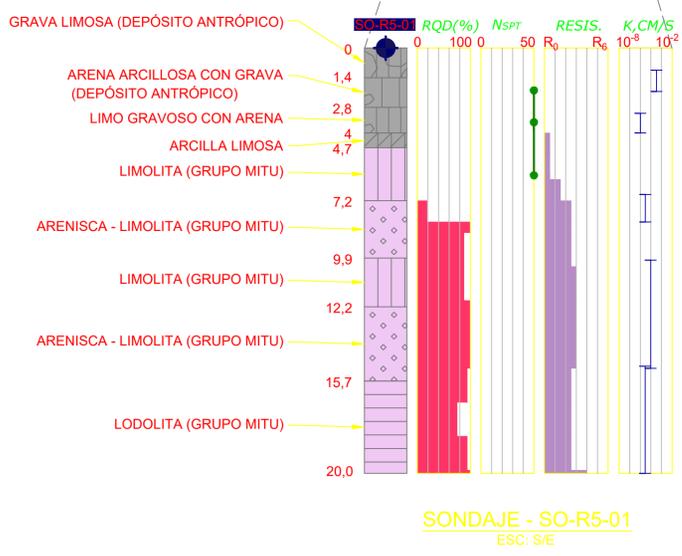
PLANO: SECCIÓN GEOLOGICA DIQUE R4 | ESCALA: INDICADA | ELABORADO: HIDALGO SOLIS, EDERSON EDDIE | REV. REV. 0



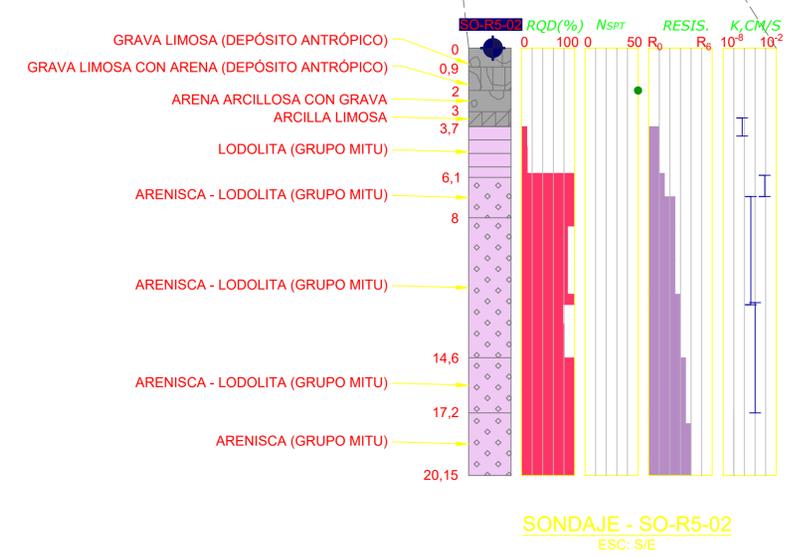
SECCIÓN A
ESC H: 1/1 000 V: 1/500
GE-PL-018



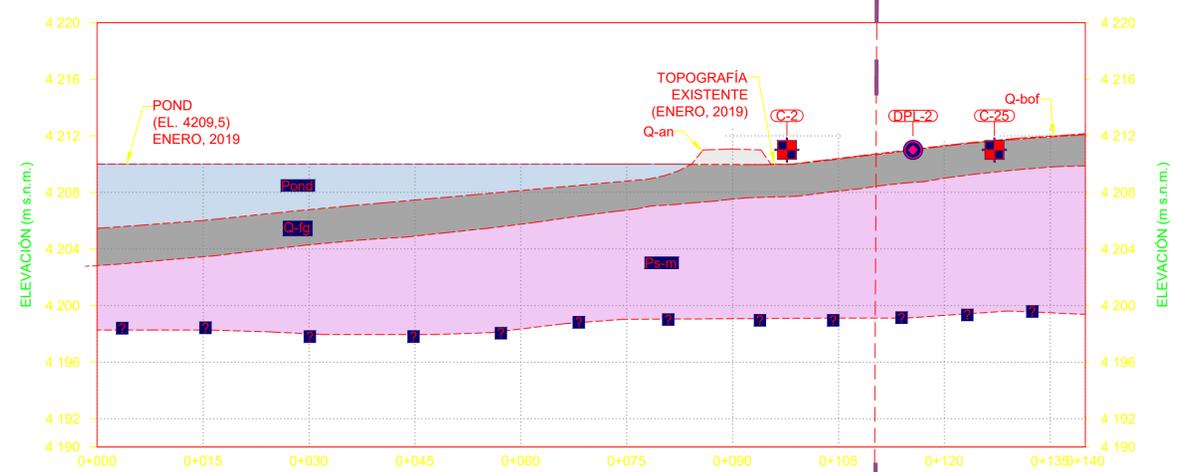
SONDAJE - SO-R5-03
ESC: S/E



SONDAJE - SO-R5-01
ESC: S/E



SONDAJE - SO-R5-02
ESC: S/E



SECCIÓN B
ESC H: 1/1 000 V: 1/500
GE-PL-018

EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN

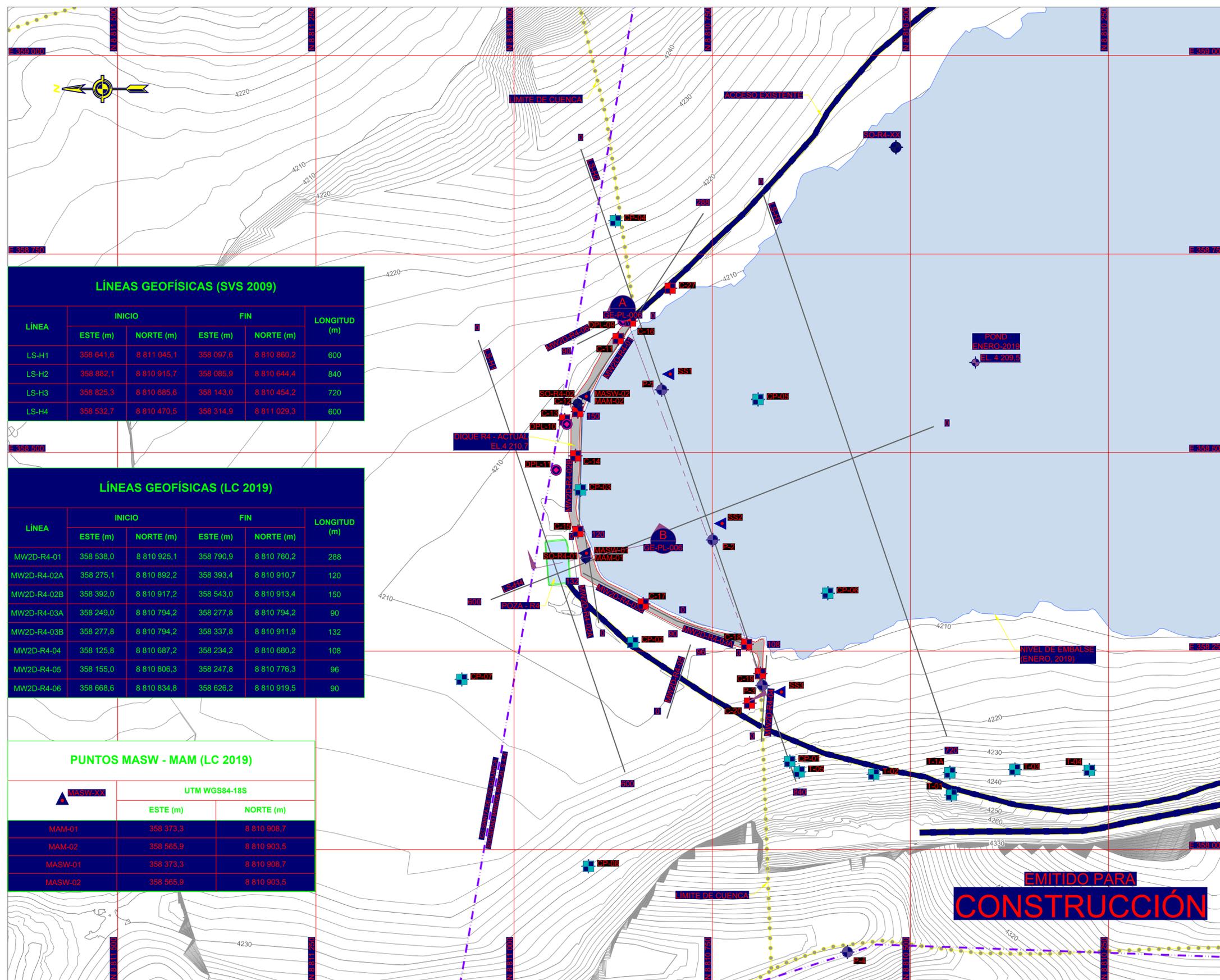
- NOTAS GENERALES:**
1. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (m s.n.m).
 2. LAS ESCALAS NUMÉRICAS MOSTRADAS EN EL PLANO SE APLICAN SOLO CUANDO ESTOS SON IMPRESOS EN TAMAÑO A1.



UNDAQ UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN EL BIROCAL

PROYECTO
"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE RECRECIMIENTO DE DIQUES R4 Y R5, EN LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA"

PLANO: SECCIÓN GEOLOGICA DIQUE_R5	ESCALA INDICADA	ELABORADO HIDALGO SOLIS_EDERSON EDDIE	REV. REV. 0
--------------------------------------	--------------------	--	----------------



LEYENDA

- TOPOGRAFIA DEL TERRENO EXISTENTE
- EMBALSE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
- LÍMITE DE PROPIEDAD
- CUENCA DE APORTE DE AGUA DE LLUVIA
- LÍNEA GEOFÍSICA (SVS 2009)
- LÍNEA GEOFÍSICA (LC 2019)
- ENSAYO MASW (SVS 2009)
- ENSAYO MASW - MAM (LC 2019)
- CALICATAS (LC 2019)
- CALICATAS (SVS 2009)
- SONDAJES (SVS 2009)
- DPL (LC 2019)
- SONDAJES PERFORACIONES (LC 2019)

LÍNEAS GEOFÍSICAS (SVS 2009)

LÍNEA	INICIO		FIN		LONGITUD (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	
LS-H1	358 641,6	8 811 045,1	358 097,6	8 810 860,2	600
LS-H2	358 882,1	8 810 915,7	358 085,9	8 810 644,4	840
LS-H3	358 825,3	8 810 685,6	358 143,0	8 810 454,2	720
LS-H4	358 532,7	8 810 470,5	358 314,9	8 811 029,3	600

LÍNEAS GEOFÍSICAS (LC 2019)

LÍNEA	INICIO		FIN		LONGITUD (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	
MW2D-R4-01	358 538,0	8 810 925,1	358 790,9	8 810 760,2	288
MW2D-R4-02A	358 275,1	8 810 892,2	358 393,4	8 810 910,7	120
MW2D-R4-02B	358 392,0	8 810 917,2	358 543,0	8 810 913,4	150
MW2D-R4-03A	358 249,0	8 810 794,2	358 277,8	8 810 794,2	90
MW2D-R4-03B	358 277,8	8 810 794,2	358 337,8	8 810 911,9	132
MW2D-R4-04	358 125,8	8 810 687,2	358 234,2	8 810 680,2	108
MW2D-R4-05	358 155,0	8 810 806,3	358 247,8	8 810 776,3	96
MW2D-R4-06	358 668,6	8 810 834,8	358 626,2	8 810 919,5	90

PUNTOS MASW - MAM (LC 2019)

MAM-XX	UTM WGS84-18S		ELEVACIÓN (m s.n.m.)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
MAM-01	358 373,3	8 810 908,7	4 159,0
MAM-02	358 565,9	8 810 903,5	4 157,8
MAM-01	358 373,3	8 810 908,7	4 161,5
MAM-02	358 565,9	8 810 903,5	4 271,0

CALICATAS (LC 2019)

C-XX	UTM WGS84-18S		ELEVACIÓN (m s.n.m.)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
C-11	358 637,0	8 810 860,0	4 209,7
C-12	358 549,0	8 810 913,0	4 210,7
C-13	358 541,0	8 810 930,0	4 210,4
C-14	358 497,0	8 810 916,0	4 210,5
C-15	358 400,0	8 810 921,0	4 211,0
C-16	358 660,0	8 810 847,0	4 210,7
C-17	358 300,0	8 810 841,0	4 209,0
C-18	358 245,0	8 810 707,0	4 211,0
C-19	358 220,0	8 810 677,0	4 211,2
C-20	358 178,0	8 810 695,0	4 213,6
C-27	358 707,0	8 810 803,0	4 211,4

DPL (LC 2019)

DPL-XX	UTM WGS84-18S		ELEVACIÓN (m s.n.m.)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
DPL-11	358 478,0	8 810 947,0	4 209,6
DPL-9	358 655,0	8 810 854,0	4 211,3
DPL-13	358 536,0	8 810 931,0	4 210,0

SONDAJES (SVS 2009)

P-XX	UTM WGS84-18S		ELEVACIÓN (m s.n.m.)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
P-1	358 579,1	8 810 813,7	4 159,0
P-2	358 390,0	8 810 749,3	4 157,8
P-3	358 207,0	8 810 666,7	4 161,5
P-4	357 871,0	8 810 579,4	4 271,0

- NOTAS GENERALES:**
1. LAS UNIDADES MOSTRADAS EN EL PLANO ESTÁN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL SALVO OTRA INDICACIÓN.
 2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (m s.n.m.).
 3. LA CUADRÍCULA ESTÁ REPRESENTADA EN EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM-WGS84 ZONA 18 SUR.
 4. LAS ESCALAS NUMÉRICAS MOSTRADAS EN EL PLANO SE APLICAN SOLO CUANDO ESTOS SON IMPRESOS EN TAMAÑO A1.

REFERENCIA:

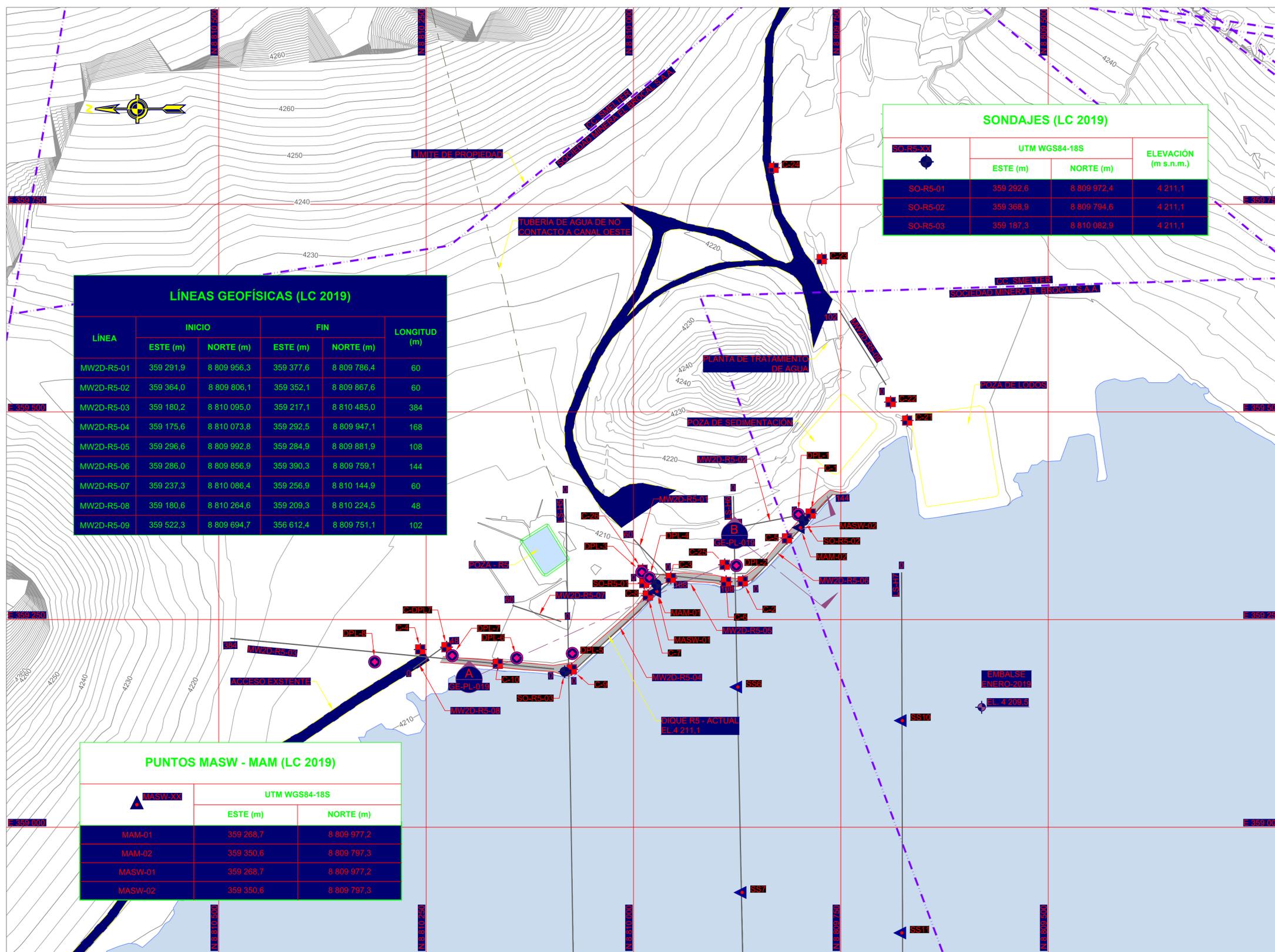
1. LA BASE TOPOGRÁFICA FUE PROPORCIONADA POR SMEB CON CURVAS DE NIVEL CADA 1m (ENERO, 2019).

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DEL DIQUE R4
ESC: 1/2 500

UNDAO UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN EL BROCAL

PROYECTO
"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE RECRECIMIENTO DE DIQUES R4 Y R5, EN LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA"

PLANO: UBICACIÓN_DE_GEOFISICA_R4	ESCALA: INDICADA	ELABORADO: HIDALGO_SOLIS_EDERSON EDDIE	REV: REV. 0
----------------------------------	------------------	--	-------------



LEYENDA

- TOPOGRAFÍA DEL TERRENO EXISTENTE
- EMBALSE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
- ACCESO EXISTENTE
- LÍMITE DE PROPIEDAD
- LÍNEA GEOFÍSICA (SVS 2009)
- LÍNEA GEOFÍSICA (LC 2019)
- ENSAYO MASW (SVS 2009)
- ENSAYO MASW - MAM (LC 2019)
- CALICATAS (LC 2019)
- DPL (LC 2019)
- SONDAJES PERFORACIONES (LC 2019)

SONDAJES (LC 2019)

SO-R5-XX	UTM WGS84-18S		ELEVACIÓN (m s.n.m.)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
SO-R5-01	359 292.6	8 809 972.4	4 211.1
SO-R5-02	359 368.9	8 809 794.6	4 211.1
SO-R5-03	359 187.3	8 810 082.9	4 211.1

LÍNEAS GEOFÍSICAS (LC 2019)

LÍNEA	INICIO		FIN		LONGITUD (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	
MW2D-R5-01	359 291.9	8 809 956.3	359 377.6	8 809 786.4	60
MW2D-R5-02	359 364.0	8 809 806.1	359 352.1	8 809 867.6	60
MW2D-R5-03	359 180.2	8 810 095.0	359 217.1	8 810 485.0	384
MW2D-R5-04	359 175.6	8 810 073.8	359 292.5	8 809 947.1	168
MW2D-R5-05	359 296.6	8 809 992.8	359 284.9	8 809 881.9	108
MW2D-R5-06	359 286.0	8 809 856.9	359 390.3	8 809 759.1	144
MW2D-R5-07	359 237.3	8 810 086.4	359 256.9	8 810 144.9	60
MW2D-R5-08	359 180.6	8 810 264.6	359 209.3	8 810 224.5	48
MW2D-R5-09	359 522.3	8 809 694.7	356 612.4	8 809 751.1	102

CALICATAS (LC 2019)

C-XX	UTM WGS84-18S		ELEVACIÓN (m s.n.m.)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
C-1	359 377.6	8 809 786.4	4 211.0
C-2	359 296.1	8 809 868.3	4 211.0
C-3	359 300.2	8 809 955.0	4 211.0
C-4	359 214.0	8 810 257.0	4 211.0
C-5	359 347.8	8 809 814.9	4 211.0
C-6	359 295.5	8 809 888.4	4 211.0
C-7	359 278.9	8 809 982.7	4 212.0
C-8	359 294.1	8 809 987.0	4 210.0
C-9	359 190.0	8 810 074.4	4 212.0
C-10	359 196.7	8 810 163.6	4 212.0
C-21	359 489.8	8 809 670.0	4 212.0
C-22	359 512.0	8 809 690.0	4 211.0
C-23	359 684.0	8 809 773.0	4 216.0
C-24	359 794.0	8 809 831.0	4 217.0
C-25	359 316.0	8 809 890.0	4 211.0
C-26	359 310.0	8 809 989.0	4 210.0
C-DPL7	359 216.8	8 810 225.3	4 211.0

PUNTOS MASW - MAM (LC 2019)

MASW-XX	UTM WGS84-18S	
	ESTE (m)	NORTE (m)
MAM-01	359 288.7	8 809 977.2
MAM-02	359 350.6	8 809 797.3
MASW-01	359 288.7	8 809 977.2
MASW-02	359 350.6	8 809 797.3

DPL (LC 2019)

DPL-XX	UTM WGS84-18S		ELEVACIÓN (m s.n.m.)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
DPL-1	359 369.0	8 809 794.0	4 211.0
DPL-2	359 315.0	8 809 876.0	4 211.0
DPL-3	359 307.0	8 809 990.0	4 209.0
DPL-4	359 288.0	8 809 977.0	4 210.0
DPL-5	359 201.0	8 810 068.0	4 211.0
DPL-6	359 192.6	8 810 139.9	4 211.0
DPL-7	359 194.0	8 810 220.0	4 211.0
DPL-8	359 199.0	8 810 312.0	4 211.0

- NOTAS GENERALES:**
1. LAS UNIDADES MOSTRADAS EN EL PLANO ESTÁN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL SALVO OTRA INDICACIÓN.
 2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (m s.n.m.).
 3. LA CUADRÍCULA ESTÁ REPRESENTADA EN EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM-WGS84 ZONA 18 SUR.
 4. LAS ESCALAS NUMÉRICAS MOSTRADAS EN EL PLANO SE APLICAN SOLO CUANDO ESTOS SON IMPRESOS EN TAMAÑO A1.

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DEL DIQUE R5
 ESC: 1/2 500

EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

PROYECTO
"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE RECRECIMIENTO DE DIQUES R4 Y R5, EN LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA"

PLANO UBICACIÓN_DE_GEOFISICA_R5	ESCALA INDICADA	ELABORADO HIDALGO SOLIS EDERSON EDDIE	REV. REV. 0
------------------------------------	--------------------	--	----------------

PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía N° 01: Verificación del material acopiado en el sector Pasamayo con la supervisión de SMEB, material extraído del Tajo de la fase 9A, para producir el material Tipo A.



Fotografía N° 02: Verificación la roca acopiada en el sector de Pasamayo, material extraído del Tajo de la fase 9A, se observan pizarras que con un solo golpe del pico se fractura en 2 partes, Golder recomienda la selección de roca competente.



Fotografía N° 03: Medición del peso de la roca retenida en la malla de 3" de la calicata N° 01 en el acopio de Pasamayo



Fotografía N° 04: Verificación de la dureza de la roca por parte del Jefe Exploraciones SMEB.



Fotografía N°05: Excavación de calicatas para un analisis de suelos completo.



Fotografía N° 06: Control topográfico del material extraído de Pasamayo



Fotografía N° 07: Excavación para la prueba de densidad por reemplazo por agua.



Fotografía N° 08: Excavación para la prueba de densidad por reemplazo por agua.



Fotografía N° 09: *Elaboración de la prueba de densidad por campo speed*



Fotografía N° 10: *Preparación del terreno de fundación para instalar material competente.*



Fotografía N° 11: compactado del terreno con 8 ciclos que es la apropiado por el estándar realizado al material con ayuda del proctor.



Fotografía N° 12: Elaboración del panel test en la plataforma



Fotografía N° 13: Visita con la supervisión de SMEB y ECOSEM SMELTER a la cantera Huachuacaja Sur.



Fotografía N° 14: Ensayo de límite líquido en la Copa Casa Grande.