



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Estabilidad Física del Depósito de Relaves Filtrados y Medidas De Control Durante la Construcción del Dique en la Mina Catalina Huanca - Ayacucho”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Aguirre Flores, Osiel Faruk (ORCID: 0000-0001-7054-6402)

**ASESOR**

MG.Ramos Gallegos, Susy Giovana (ORCID: 0000-0003-2450-9883)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

**LIMA - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Con todo el amor sincero y más grande admiración:

A Dios toda la honra y gloria, a mis padres Jorge Aguirre Huallpatuero y Teresa Rosario Flores Cuenca que siempre me apoyaron incondicionalmente para alcanzar uno de mis sueños, ser hoy un profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida y permitir que logre culminar mi carrera y ser un profesional. A mis hermanos Jorge, Clintony, Alexandra y mi tío Luis Flores Cuenca, quienes siempre están pendientes de mí y mi futuro.

# ÍNDICE

|   |             |
|---|-------------|
| <b>CÁRATULA</b> .....   | <b>i</b>    |
| <b>DEDICATORIA</b> .....  | <b>ii</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....  | <b>iii</b>  |
| <b>ÍNDICE</b> .....   | <b>iv</b>   |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....   | <b>vi</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....  | <b>vii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>RESUMEN</b> .....  | <b>ix</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>x</b>    |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>11</b>   |
| 1.1 Realidad problemática .....   | 12          |
| 1.1.1. Problema general.....  | 12          |
| 1.1.2. Problema específico.....   | 12          |
| 1.2 Objetivos .....   | 13          |
| 1.2.1 Objetivo general.....   | 13          |
| 1.2.2 Objetivo específico.....  | 13          |
| <b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....  | <b>14</b>   |
| 2.1 Base teórica .....  | 14          |
| 2.2 Antecedente de la investigación .....   | 15          |
| 2.2.1. Antecedentes Nacionales .....  | 15          |
| 2.2.2. Antecedentes internacionales.....  | 18          |
| <b>III. METODOLOGÍA</b> .....   | <b>21</b>   |
| 3.1 Obtención de permisos .....   | 21          |
| 3.2 Recopilación de información .....   | 21          |
| 3.2.1 Información técnica de expediente .....   | 22          |
| 3.2.2 Ensayos realizados para el diseño del depósito .....  | 37          |
| 3.2.3 Ensayos de control durante la supervisión de la construcción del depósito .....                                     | 37          |
| 3.2.4 Estructuras hidráulicas para el sistema de drenaje y subdrenaje .....   | 38          |
| 3.2.5 Presentación de modelos numéricos del depósito de relaves usando el programa Slide.v6. 005 .....                    | 46          |
| 3.2.6 Medidas de control durante la construcción del depósito.....  | 48          |
| 3.3 Metodología .....   | 49          |
| 3.4 Aspectos éticos .....   | 50          |
| <b>IV. RESULTADOS</b> .....   | <b>51</b>   |
| 4.1 Materiales y Ensayos Realizados .....   | 51          |
| 4.2 Tratamiento y optimización de mezcla.....   | 70          |
| 4.3 Estabilidad física - Presentación de modelos numéricos del depósito de relaves usando el programa Slide.v6. 005 ..... | 73          |
| 4.4 Medidas de Control durante la construcción.....   | 80          |
| <b>V. CONCLUSIONES</b> .....  | <b>83</b>   |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>      | <b>85</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS .....</b>         | <b>86</b> |
| <b>VIII. DECLARACION JURADA .....</b> | <b>90</b> |
| <b>IX. ANEXOS .....</b>               | <b>91</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| TABLA 1 VALORES DE FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS ADMISIBLES .....   | 47 |
| TABLA 2 VALORES DE FACTORES DE SEGURIDAD DE PRESA DE RELAVES.....   | 47 |
| TABLA 3 RESULTADOS DE ENSAYOS EN ROCA.....  | 51 |
| TABLA 4: CONTROL DE PORCENTAJE DE VACÍOS .....  | 52 |
| TABLA 5 RESULTADOS DE ENSAYOS EN MATERIAL DE MEZCLA EN EL VASO DE ALMACENAMIENTO O CUERPO DEL DEPÓSITO..... | 54 |
| TABLA 6: CONTROL DE HUMEDADES (ENSAYO 01-206) .....   | 62 |
| TABLA 7: CONTROL DE COMPACTACIÓN (ENSAYO 01-206) .....  | 63 |
| TABLA 8: CONTROL DE DENSIDADES (ENSAYO 01-206) .....  | 64 |
| TABLA 9: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....                                     | 65 |
| TABLA 10: CONTROL A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO – 7 DÍAS .....   | 67 |
| TABLA 11: CONTROL A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO – 14 DÍAS .....  | 68 |
| TABLA 12: CONTROL A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO – 28 DÍAS .....  | 68 |
| TABLA 13 VALORES Y PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL MODELAMIENTO DEL DEPÓSITO.....                           | 74 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....  | 22 |
| FIGURA 2 UBICACIÓN DEL DEPÓSITO AMPLIACIÓN RAMAHUAYCO (SUBCUENCA MACHUCCATO).....                                     | 23 |
| FIGURA 3 ARREGLO GENERAL.....   | 29 |
| FIGURA 4 DISEÑO GEOMÉTRICO (PLANTA).....  | 30 |
| FIGURA 5 DISEÑO GEOMÉTRICO INICIAL (SECCIONES).....   | 31 |
| FIGURA 6 DISEÑO GEOMÉTRICO ACTUALIZADO AL 2019 (SECCIONES).....   | 32 |
| FIGURA 7 CICLO DE CONFORMACIÓN DE CAPAS DEL DEPÓSITO DE RELAVES POSTERIOR AL CICLO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES..... | 36 |
| FIGURA 8 DISEÑO Y UBICACIÓN DE FILTRO.....  | 39 |
| FIGURA 9 DISEÑO DE FILTRO – FILTRO TIPO 1.....  | 40 |
| FIGURA 10 UBICACIÓN DE FILTRO TIPO 2.....   | 40 |
| FIGURA 11 SISTEMA DE SUBDRENAJE - DISTRIBUCIÓN ESPINA DE PESCADO.....   | 41 |
| FIGURA 12 SISTEMA DE TUBERÍAS PARA EL SUBDRENAJE.....   | 41 |
| FIGURA 13 DISEÑO Y UBICACIÓN DE FILTROS.....  | 43 |
| FIGURA 14 SISTEMA DE TUBERÍAS PARA EL SUBDRENAJE.....   | 44 |
| FIGURA 15 SISTEMA DE TUBERÍAS PARA EL SUBDRENAJE – SECCIÓN TRANSVERSAL.....   | 45 |
| FIGURA 16 ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO PROYECTO - CONSTRUCCIÓN.....  | 49 |
| FIGURA 17 CONTROL DE PORCENTAJE DE VACÍOS (ENSAYO DEL 01 AL 018).....   | 52 |
| FIGURA 18 CONTROL DE HUMEDADES (ENSAYO DEL 01 AL 103).....  | 62 |
| FIGURA 19 CONTROL DE HUMEDADES (ENSAYO DEL 103 AL 206).....   | 62 |
| FIGURA 20 CONTROL DE COMPACTACIÓN (ENSAYO DEL 001 AL 103).....  | 63 |
| FIGURA 21 CONTROL DE COMPACTACIÓN (ENSAYO DEL 104 AL 206).....  | 63 |
| FIGURA 22 CONTROL DE COMPACTACIÓN (ENSAYO DEL 001 AL 103).....  | 64 |
| FIGURA 23 CONTROL DE COMPACTACIÓN (ENSAYO DEL 104 AL 206).....  | 64 |
| FIGURA 24 CONTROL A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO – 7 DÍAS.....   | 67 |
| FIGURA 25 CONTROL A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO – 14 DÍAS.....  | 68 |
| FIGURA 26 CONTROL A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO – 28 DÍAS.....  | 69 |
| FIGURA 27 MODELAMIENTO DE DEPÓSITO – SECCIÓN TRANSVERSAL.....   | 76 |
| FIGURA 28 DESPLAZAMIENTO INCREMENTAL – SECCIÓN TRANSVERSAL.....   | 76 |
| FIGURA 29 ANÁLISIS ESTÁTICO– SECCIÓN TRANSVERSAL.....   | 77 |
| FIGURA 30 FACTOR DE SEGURIDAD -CONDICIONES ESTÁTICAS.....   | 77 |
| FIGURA 31 INCREMENTO EN LA DESVIACIÓN DE ESFUERZOS– SECCIÓN TRANSVERSAL.....  | 78 |
| FIGURA 32 ANÁLISIS PSEUDO-ESTÁTICO– SECCIÓN TRANSVERSAL.....  | 78 |
| FIGURA 33 FACTOR DE SEGURIDAD -CONDICIONES ESTÁTICAS.....   | 79 |
| FIGURA 34 ANÁLISIS PSEUDO-ESTÁTICO– SECCIÓN TRANSVERSAL.....  | 79 |

# ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 ..... 91  
ANEXO 2 ..... 107  
ANEXO 3 ..... 147

## **RESUMEN**

El presente trabajo de suficiencia profesional que lleva por título “Estabilidad Física del depósito de relaves filtrados y medidas de control durante la construcción del dique en la mina Catalina Huanca – Ayacucho” que se desarrollo en la zona de operación del depósito de relaves en la zona denominada Machuccato con el objetivo de exponer conocimiento y experiencia para establecer las medidas de control y procedimientos para mejorar las actividades que contribuyen a construir un cuerpo de depósito de relaves estable de forma física.

Para realizar este trabajo se revisó información del expediente de construcción el cual incluye los diseños y estudios previos necesarios para el emplazamiento del depósito, también se revisó información del informe de control de calidad al finalizar la primera etapa de construcción y las normas relacionadas.

Se busca determinar las medidas de control que contribuyen a obtener un depósito estable de forma física y cumpliendo los factores de seguridad de diseño. Los parámetros determinados están directamente afectados por los factores climáticos, así como las características, calidad y granulometría del material.

Un correcto manejo y control de estos parámetros, permitirán no solo obtener una estructura con estabilidad física, también logrará optimizar algunos procedimientos, reduce tiempos de actividades y costos de obtención de material de préstamo y filtro.

Palabras clave: medidas de control, estabilidad física.

## **ABSTRACT**

The present work of professional sufficiency that is entitled "Physical Stability of the filtered tailings deposit and control measures during the construction of the dam in the Catalina Huanca mine - Ayacucho" that was developed in the area of operation of the tailings deposit in the area called Machuccato with the aim of exposing knowledge and experience to establish control measures and procedures to improve the activities that contribute to building a physically stable tailings deposit body.

To carry out this work, information from the construction file was reviewed, which includes the designs and previous studies necessary for the location of the deposit, information from the quality control report at the end of the first stage of construction and related standards was also reviewed.

It seeks to determine the control measures that contribute to obtaining a stable deposit in a physical way and complying with the design safety factors.

The parameters determined are directly affected by climatic factors, as well as the characteristics, quality and granulometry of the material.

Correct management and control of these parameters will not only allow to obtain a structure with physical stability, it will also optimize some procedures, reduce activity times and costs of obtaining loan and filter material.

Keywords: control measures, physical stability.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Los actuales métodos o tendencias respecto al manejo de relaves provenientes de la explotación minera han generado la construcción y existencia de depósitos residuales, debido a que gran parte de este residuo no puede ser reprocesado en las etapas productivas mineras.

En nuestro territorio se aplican medidas técnicas y legales en relación con todos los aspectos del manejo de los residuos mineros, exigiéndose que se adopten criterios técnicos de diseño, construcción y operación de los depósitos, que permitan asegurar y dar permanencia y estabilidad física a estos lugares.

El tema del presente informe busca exponer la experiencia desarrollada en cuanto a la estabilidad física y medidas de control durante la construcción de un depósito de relaves filtrados en la zona sierra del país, considerando sus características y propiedades físicas, entorno y restricciones naturales propias del lugar, normas técnicas y procedimientos constructivos a fin de obtener una estructura estable y funcional durante y posteriormente a la construcción y operación del depósito.

Para ello se presentan las metodologías y ensayos realizados y análisis de resultados para la construcción de capas los cuales forman parte del cuerpo del depósito y ayudan a la estabilidad física del mismo.

La construcción del depósito en el año 2019 estuvo a cargo de la “empresa comunal de servicios múltiples TACA” durante la permanencia en esta empresa se tuvo como actividades principales la asistencia a la supervisión de las labores de construcción del depósito en la subcuenca Machuccato (ampliación del depósito Ramahuayco)

La supervisión estuvo a cargo de la empresa consultora SRK Consulting.

## **1.1 Realidad problemática**

### **1.1.1. Problema general**

¿Cuáles son las medidas de control que se deben establecer durante la construcción y asegurar la estabilidad física del depósito de relaves?

### **1.1.2. Problema específico**

- ¿Cuáles son las características técnicas y medidas que controlan la construcción de una capa obteniendo de esta manera un cuerpo de depósito estable de forma física?
- ¿Qué medidas o procedimientos se deben efectuar y controlar para conseguir construir el cuerpo o vaso de almacenamiento estable?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

El objetivo general del presente informe es el de exponer conocimiento y experiencia para establecer las medidas de control y procedimientos para mejorar las actividades que contribuyen a construir un cuerpo de depósito de relaves estable de forma física.

### **1.2.2 Objetivo específico**

El objetivo específico es el de establecer la mejora continua de los procesos y actividades en el cumplimiento de las especificaciones y características técnicas para cada capa de material que conforma el cuerpo del depósito, controlar las actividades de construcción del depósito de relaves, logrando una estructura estable.

- Establecer las características técnicas del material que se usará para la elaboración de capas y obtener un cuerpo de depósito estable.
- Determinar las medidas, parámetros y procedimientos de control para construir un cuerpo de depósito físicamente estable.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Base teórica

Un depósito de relaves es una estructura cuya función principal es el de contener de forma segura los relaves provenientes de la planta de beneficio. Permitiendo la recuperación de agua hasta de un 50 % en peso. La forma convencional de la deposición de los relaves es el de transportarlos y depositarlos de forma directa y generar embalses.

El depósito de relaves “Ampliación Ramahuayco” se construyó mediante una mezcla con material granular de características específicas y el relave con cierto grado de humedad, que permiten la compactación y formación de un material mezclado que será colocado en capas sobre una quebrada y formará progresivamente la estructura del depósito.

Los relaves filtrados son los tipos de relaves que antes de ser depositados son sometidos a un proceso de filtración mediante el uso de prensas los cuales extraen el agua del material de relave y se asegura que la humedad del material contenga una humedad menor al 20%.

Los relaves en pasta son los relaves que presentan una situación intermedia entre el relave espesado y el relave filtrado, contienen una mezcla de relaves sólidos y agua entre 10 a 25% de agua, partículas finas menores de 20  $\mu\text{m}$  en una concentración en peso superior a 15% similar a la pulpa de alta densidad.

Sobre el análisis de estabilidad física de la presa se determinará la estabilidad de los taludes aguas arriba y aguas abajo, este es un proceso de tanteos en que se suponen diferentes condiciones de carga a los que puede estar sometida la presa:

-Fuerzas que producen el movimiento de la masa que constituye el talud: fuerzas de gravedad, fuerzas sísmicas, acción del hielo y sobrecargas.

-Las fuerzas que se oponen al movimiento son debido a los parámetros de resistencia del suelo que constituye el terraplén: cohesión y fricción interna del material.

## **2.2 Antecedente de la investigación**

### **2.2.1. Antecedentes Nacionales**

De la cruz Everson (2015) en su trabajo denominado “Análisis de estabilidad mediante el uso del programa Slide v.2005 con aplicación al embalse Cuchoquesara” efectúa un estudio para el análisis de un dique de la presa Cuchoquesara usando el programa Slide v.2005 e instrumentación geotécnica con el fin de obtener resultados estables e inestables en base a los parámetros mínimos y máximos.

Los resultados analizados y según opinión de De la Cruz indican que lo siguiente: El empleo el modelo realizado con el software Slide v.2005 analiza y resuelve la estabilidad en superficies de deslizamientos mediante resultados del factor de seguridad “FS” aplicando metodos de equilibrio limite (MEL) a través de rodajas verticales o llamadas dovelas, basado en ecuaciones de estática y metodos que pueden ser aplicados a superficies, taludes en proyectos de presas y carreteras. (De la cruz Everson,2015, p.152)

Para el análisis interno y externo del dique se usaron datos históricos y actuales de la instrumentación geotécnica instalada en la presa Cuchoquesara. La altura máxima del dique es 44m y almacena un volumen de 80 MMC. (De la cruz Everson,2015, p.3)

Los resultados obtenidos mediante los análisis realizados al dique de la presa Cuchoquesara, fueron aceptables concluyendo que el dique es estable.

Sánchez y Taza (2017) en el desarrollo de una investigación denominada “análisis de estabilidad sísmica para una presa utilizando relave grueso con el método de suelo armado”, cuyo objetivo es garantizar la estabilidad sísmica de una presa usando como herramienta el programa Slide para obtener como resultado los factores de seguridad de acuerdo a la normativa peruana.

El suelo armado consiste en el reforzamiento del suelo de relave con geomallas y una compactación adecuada a fin de alcanzar la estabilidad de talud de la presa. Los indicadores considerados se seleccionaron según la guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de minas (1997) y de la guía para el manejo de relaves mineros (2008) son proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas.

Los resultados analizados y según opinión de Sanchez y Taza indican que lo siguiente:

La investigación determinó que la construcción de presas de relave por método convencional tiene un 54 por ciento de aplicación de factores de seguridad indicados por el DGAA del MEM, técnicas de diseño, parámetros ambientales y factibilidad económica usando suelo armado. (Sánchez y Taza, 2017, p.73)

Se concluye que las presas utilizando relave grueso (método de suelo armado) tienen un factor de seguridad de 2.35 y 1.42 en condición estática y pseudo-estático respectivamente cumpliendo con lo recomendado por el MEM. (Sánchez y Taza, 2017, p.75)

Vilca (2019) en su trabajo denominado “respuesta de la estabilidad física del confinamiento de relaves de cobre con la innovación de la deposición de relaves espesados o en pasta” desarrolló el análisis del comportamiento sísmico de los relaves espesados evaluando la susceptibilidad del material a licuar.

Una de las formas de estudiar el fenómeno de licuefacción es mediante la realización de ensayos triaxiales monótonos y cíclicos en condición no drenada sobre muestras representativas del relave espesado integral. Con estos resultados se obtiene la resistencia cíclica del relave con la cual es posible estimar el potencial de licuefacción del depósito. (Vilca Carmen, 2019, p.iv)

Los resultados analizados y según opinión de Vilca Carmen indica lo siguiente:

De los ensayos realizados se observa que la resistencia no drenada o resistencia post - licuefacción ( $S_u=0.346$ ) es relativamente alta, lo cual es positivo para la estabilidad post sísmica de los depósitos de relaves integrales, en cambio la baja resistencia cíclica obtenida en la muestra de relave integral se valida con los estudios realizados por Verdugo (1991) Wang (1979) Bray et al (2004) quienes determinan que la resistencia cíclica disminuye a medida que aumenta el contenido de finos no plásticos en arenas de relave.

Por lo que estos depósitos de relave se encuentran propensos a licuefacción ante sismos de gran magnitud. (Vilca Carmen, 2019, p.v)

### **2.2.2. Antecedentes internacionales**

Carvajal (2018) en su trabajo denominado “desarrollo de una metodología para el análisis de estabilidad física de depósitos de relaves” desarrolla una metodología capaz de determinar la estabilidad física que tiene un depósito de relaves en Chile, en el contexto de un programa Tranque iniciativa de CORFO que busca tecnologías que aporten al monitoreo en línea de depósitos de relave, consta de tres módulos, el primero es la “evaluación cualitativa”, consiste en asignar puntajes a características físicas que son de fácil evaluación, donde la suma de estas puntuaciones sumado a la presencia de factores agravantes entrega un resultado, si la evaluación cualitativa es baja se pasa al siguiente modulo denominado “verificación de parámetros críticos” para mecanismo de falla, si estos parámetros se encuentran dentro del umbral definido se pasa al módulo final denominado “determinación de índice de estabilidad física”, el cual se calcula a través de un árbol de falla para cada mecanismo de falla. (Carvajal Meili, 2018, p.ii)

Los resultados analizados y según opinión de Carvajal Meili indica lo siguiente:

La metodología propuesta es un primer acercamiento a una herramienta de evaluación de la estabilidad física de un depósito de relave convencional, pero aplicable a todo tipo de depósito. El análisis del estado actual de los depósitos de relaves obliga la necesidad de un control más exigente sobre los depósitos no activos, en términos de entrega y aprobación del cierre. (Carvajal Meili, 2018, p.110)

Esta metodología considera un primer paso en el desarrollo de herramientas que permitan acercar la información relacionada con la estabilidad de depósitos de relaves a las comunidades, quienes son los principales afectados en caso de ocurrencia de accidentes. (Carvajal Meili, 2018, p.110)

Se considera que existen tres mecanismos que controlan las fallas, inestabilidad de taludes, erosión interna y rebalse. (Carvajal Meili, 2015, p.121)

Valenzuela (2015) en su trabajo denominado “sistema de medición de la estabilidad de depósitos mineros de relave frente a la acción eólica, para su recuperación como espacio urbano sostenible. el caso de la ciudad de Copiapó en Chile” indica que se desarrolla un sistema de medición que permite evaluar la emisión de material particulado al ambiente por efecto eólico desde depósitos de relave de cobre, con el propósito de contar con herramientas que permitan tomar decisiones para implementar medidas de control de la emisión de polvo que permitan su recuperación como espacio urbano sostenible.

Se estudió la problemática urbana asociada a la erosión eólica en depósitos de relave analizando la mecánica de la erosión eólica y desarrollando la temática de los depósitos de relave como pasivos ambientales mineros (PAMs) identificando los principales riesgos asociados a su emplazamiento en zonas urbanas. (Valenzuela Pamela, 2015, p. vii)

Los resultados analizados y según opinión de Valenzuela Pamela indica lo siguiente:

Es posible afirmar que el cumplimiento de la metodología de investigación planteada permitió obtener cada uno de los objetivos específicos propuestos para alcanzar el objetivo general definido y lograr la validación de la hipótesis, ya que se desarrolló un sistema de medición que permite evaluar la emisión de material particulado al ambiente por efecto eólico desde depósitos de residuos mineros chilenos. (Valenzuela Pamela, 2015, p. viii)

### **III. METODOLOGÍA**

En el cumplimiento de los objetivos del presente informe se tuvo la secuencia siguiente:

#### **3.1 Obtención de permisos**

-La obtención de permisos para acceder a la información de control y monitoreo de obra tuvieron lugar en las oficinas técnicas de la supervisión SRK y residencia de la empresa comunal Taca ubicadas en la zona de oficinas “Amanda” de la unidad minera Catalina Huanca.

-El trabajo profesional fue realizado en el año 2019, durante las labores en la empresa comunal Taca, empresa encargada de la construcción del depósito.

En el ítem 3.3 se describe la metodología usada para la construcción del depósito

#### **3.2 Recopilación de información**

-Información técnica del expediente de construcción elaborado por la empresa SRK Consulting.

-Ensayos realizados para el diseño y control en la supervisión de la construcción del depósito elaborados por SRK Consulting.

-Especificaciones y memorias de las estructuras hidráulicas para el sistema de drenaje y subdrenaje supervisados por SRK Consulting.

-Presentación de modelos numéricos del depósito de relaves usando el programa Slide.v6. 005 para la determinación del factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudo estáticas elaborados por SRK Consulting.

-Medidas de control durante la construcción del depósito, en base a la información recopilada y la experiencia generada en obra.

-Bibliografía sobre estabilidad física y construcción de depósitos de relave.

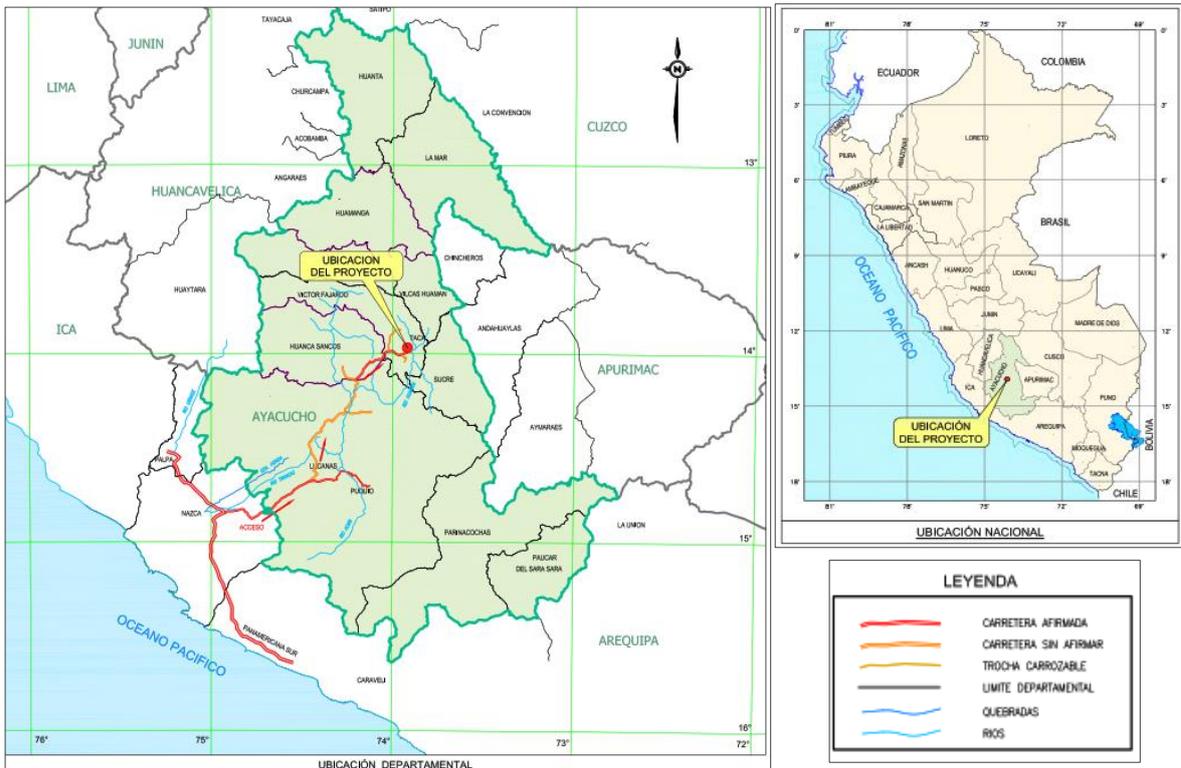
### 3.2.1 Información técnica de expediente

#### Localización de la zona de estudio

Catalina Huanca Sociedad Minera (CHSM) está ubicada en el distrito de Canarias, provincia de Víctor Fajardo y departamento de Ayacucho a una altitud comprendida entre 3000 y 3650 msnm.

El proyecto ampliación del depósito de relaves Ramahuayco está ubicado al oeste de la mina, en el sector superior de la quebrada Sacllani; a 12.00 Km de la planta concentradora (planta de beneficio San Jerónimo).

La planta de beneficio San Jerónimo usa procesos de concentración que producen residuos sólidos desmonte de mina (25% de la producción total) y relaves (65% de la producción total) para el presente informe los relaves son considerados como una suspensión fina de sólidos en líquidos.



**Figura 1 Ubicación del proyecto.**

Fuente: SRK Consulting. Proyecto de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

La ampliación del depósito de relaves Ramahuayco está constituido por dos cuerpos principales denominados pedraplén y cuerpo del depósito. Este último estará conformado por material de mezcla de relave y material de préstamo en una proporción de 3(R):1(MP) realizado con excavadoras y/o equipo de mezclado. Toda la estructura se encuentra apoyada sobre una cimentación rocosa. El pedraplén estará conformado por material de enrocado, proveniente de las canteras, no siendo esto limitativo para utilizar materiales con mejores características geotécnicas como el concreto rolado. El cuerpo del depósito se conformará con mezcla, mediante capas compactadas de 30 cm. de espesor.



**Figura 2 Ubicación del depósito ampliación Ramahuayco (subcuenca Machucato)**

Fuente: SRK Consulting. Proyecto de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

El depósito cuenta, además, con un sistema hidráulico compuesto por canales de coronación, rápidas y disipadores que protegerán al depósito de la escorrentía superficial (Figura 3). También cuenta con un sistema de drenaje y subdrenaje que captará los flujos sub superficiales que se generen en el interior del depósito y que serán captados, monitoreados y tratados de ser el caso previo a la entrega al cauce

(Figura 12). Además, se ha considerado un sistema de impermeabilización entre el contacto del pedraplén y el cuerpo del depósito con geomembrana y la instalación de instrumentos geotécnicos como piezómetros e hitos topográficos para controlar los desplazamientos y flujos que puedan afectar la estabilidad del depósito.

La zona de fundación posee las siguientes características; cuatro tipos de roca, caliza, pórfido monzonítico, conglomerado Mitu, conglomerado Sacllani, los valores considerados para la cimentación son los siguientes: cohesión de 250 Kpa de cohesión y  $40^{\circ}$  de ángulo de fricción para un peso de  $22 \text{ Kn/m}^3$ .

La información fue recopilada y elaborada entre los años 2018 y 2019 periodo de tiempo aproximado de permanencia en la empresa constructora del depósito de relaves.

Las coordinaciones para el acceso y recopilación de información se realizaron con profesionales pertenecientes a la empresa SRK Consulting encargados de la supervisión.

## **Descripción de los aspectos constructivos y realidad problemática**

La ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco se ejecutará en tres (3) fases, las cuales considera las siguientes actividades:

### **Fase 1**

Son las obras de acondicionamiento del depósito previo a la colocación de relave filtrado en el vaso de almacenamiento.

En esta fase se considera la preparación del terreno de fundación del depósito, la construcción del dique de contención con enrocado, el canal de coronación, el sistema de drenaje y sub drenaje, y el sistema de impermeabilización.

Se ha estimado que la construcción de estas actividades tendrá una duración 6 meses. Los elementos mencionados pueden ubicarse en la Figura 3.

### **Fase 2**

Son las actividades de llenado del vaso del depósito con relave filtrado mezclado con material de préstamo en la proporción 3(R):1(MP).

En esta fase se considera la explotación de la cantera de suelo para la mezcla, los procesos de secado, mezclado y relleno compactado del material en el vaso de almacenamiento del depósito. Esta fase está dividida en tres etapas los cuales se muestran en la Figura 5.

Además, están incluidas la construcción de la poza de contingencia y el canal de evacuación del flujo hacia la quebrada.

De acuerdo a los datos operativos de CHSM y el volumen obtenido del diseño geométrico se obtuvo un tiempo de 2 años y 7 meses como vida útil del depósito.

### **Fase 3**

Son las actividades de cierre del depósito e instalación de la instrumentación geotécnica.

En esta fase se considera el encapsulamiento del depósito de relaves mediante la instalación de mantas de geomembrana de PVC  $e=2\text{mm}$ . La geomembrana será protegida de los efectos de la erosión pluvial y eólica mediante la conformación de una capa de material granular drenante. Finalmente se revegetará el depósito para recuperar toda el área afectada.

En esta fase también se incluyen la instalación de instrumentos geotécnicos (piezómetros, inclinómetros e hitos topográficos).

Se ha estimado que la construcción de estas actividades tendrá una duración 3 meses.

Para iniciar el proceso de mezclado el material de relave deberá tener un porcentaje de humedad en el rango de 10 a 12% y el material de préstamo en el rango de 8 a 10%.

Respecto a fallas de presas de relaves por eventos sísmicos en Chile (1965) y en el año 1952 en el depósito Casapalca-CENTROMIN se tuvo como efecto principal la licuación del material ante un evento sísmico y saturación de relave.

La tecnología y procesos actuales buscan implementar el proceso de disposición de relaves con contenidos de agua cada vez menores, mayor densidad y mayor concentración de sólidos. Las características mencionadas ayudan a obtener un depósito estable y con mejores condiciones geotécnicas.

## **Sobre la cimentación**

Previo a la construcción de la presa se realizó la limpieza y desbroce del terreno a fin de eliminar de esta zona todo el suelo natural superficial de mediana a baja resistencia, así como remover la corteza altamente meteorizada del basamento rocoso existente en el área. El área a ser desbrozada será aproximadamente 8 ha. La superficie después de la limpieza y desbroce del terreno y la habilitación del basamento rocoso, deberá ser uniforme de manera que se pueda obtener una buena adherencia entre la presa y la cimentación.

El desbroce de material suelto sobre la superficie del depósito se realiza en dos etapas, una etapa inicial que comprende un desbroce en un rango de 0.50 a 1 m de espesor mediante uso de maquinaria pesada (excavadora y tractor), usando procedimientos seguros y autorizados por la residencia y supervisión, evaluando la estabilidad de los taludes naturales, trayectorias de manantiales encontrados, así como factores climáticos.

Una segunda etapa el cual comprende un desbroce progresivo que comprende el retiro de material suelto conforme se culminan las capas (conformación del cuerpo del depósito)

Constructivamente el desbroce inicial ayuda a determinar y demarcar física y visualmente el área y establecer los límites de la superficie del depósito mediante la colocación de estacas e hitos topográficos.

El desbroce progresivo define y asegura que las capas de material compactado se adhieran al basamento rocoso existente.

Parte de la experiencia encontrada en esta etapa es el uso de material de desbroce progresivo como material de mezcla, previa clasificación, evaluación y aprobación

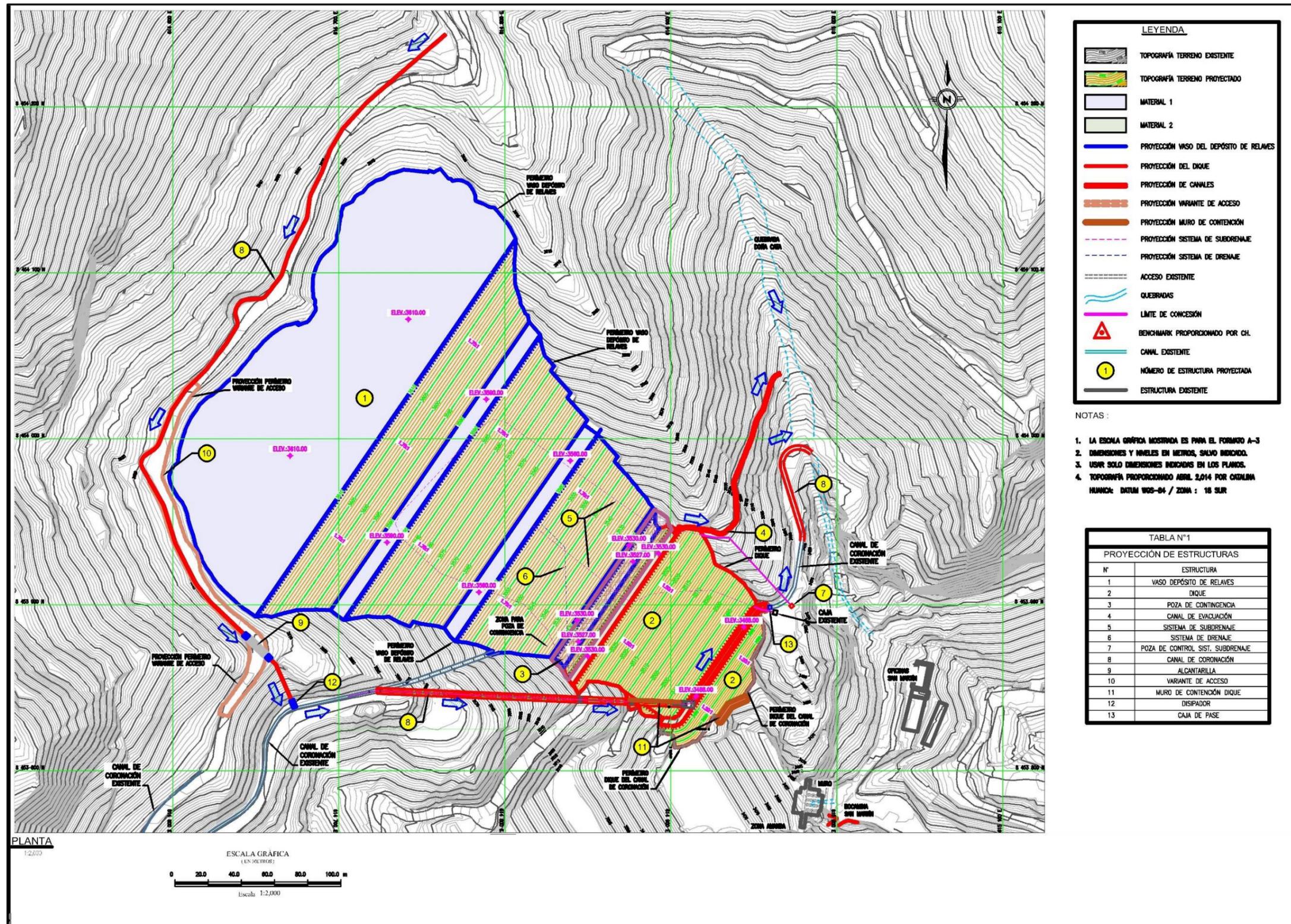
de la supervisión optimizando de esta manera el costo de transporte de material de préstamo y transporte de material de mezcla.

En el embalse se colocará relaves filtrados mezclados con material de cantera (material de préstamo), con una humedad máxima de 12 %, por lo tanto, no se espera la presencia de agua libre o nivel freático. Sin embargo, como un medio de seguridad se colocará un sistema de drenaje en la parte inferior del depósito (aguas arriba del pedraplén), para drenar las aguas de exudación y manantiales estacionales.

Durante la ejecución de los sistemas de drenaje se encontraron ciertas variaciones en la trayectoria de los manantiales naturales, ante esta situación se realizaron las modificaciones del caso usando el criterio y experiencia profesional existente realizando las consultas respectivas y coordinaciones con la supervisión en obra. Los cambios y modificaciones durante la ejecución son registrados en el cuaderno de obra, estos registros incluyen una descripción de la situación y dificultad técnica encontrada, así como bosquejos y descripción de la solución tomada y aprobada.

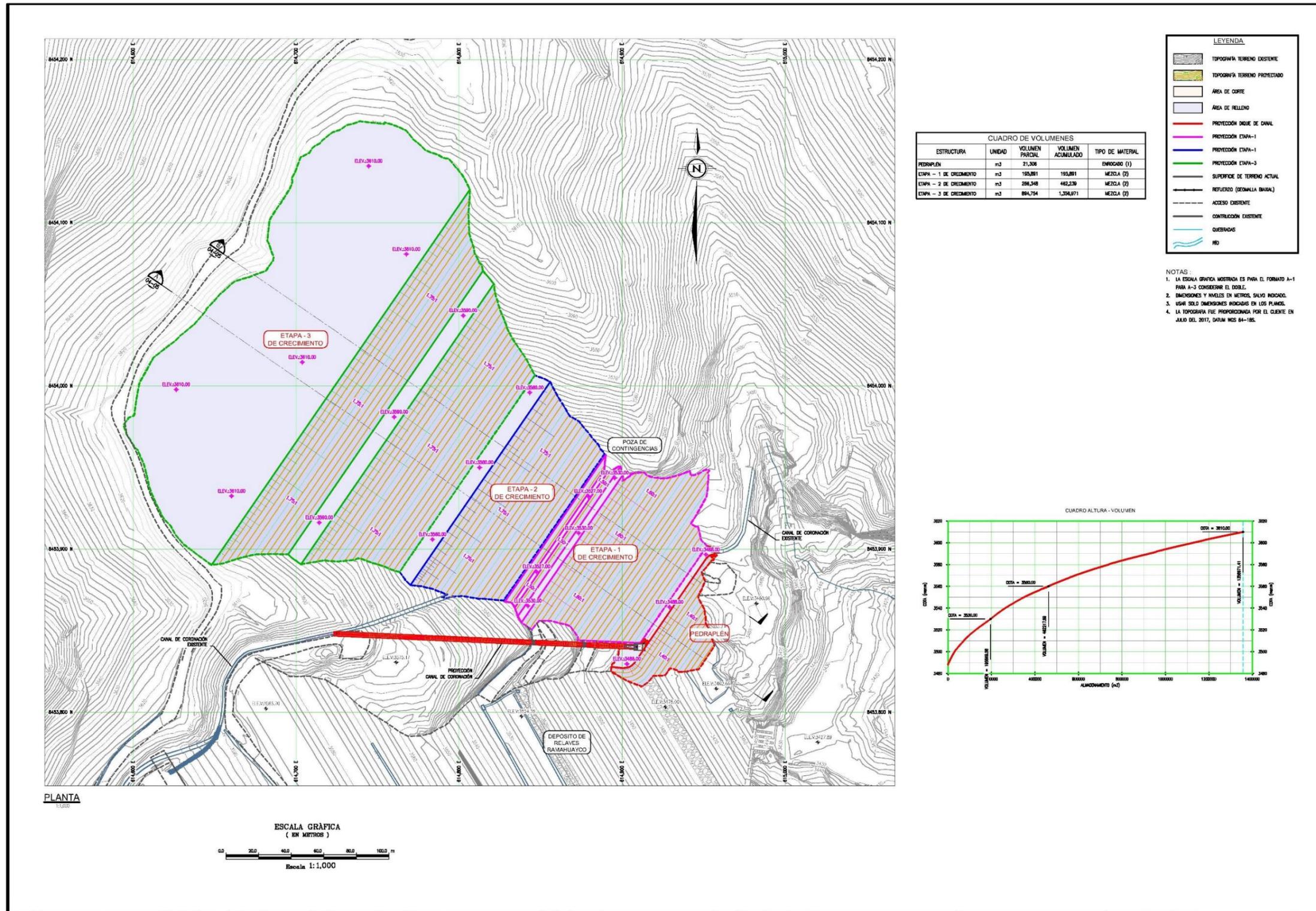
Figura 3 Arreglo General.

Fuente: SRK Consulting sede Perú (antes SVS). Proyecto de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.



**Figura 4 Diseño Geométrico (Planta)**

Fuente: SRK consulting. Proyecto de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.



**Figura 5 Diseño Geométrico Inicial (secciones)**

Fuente: SRK consulting. Proyecto de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

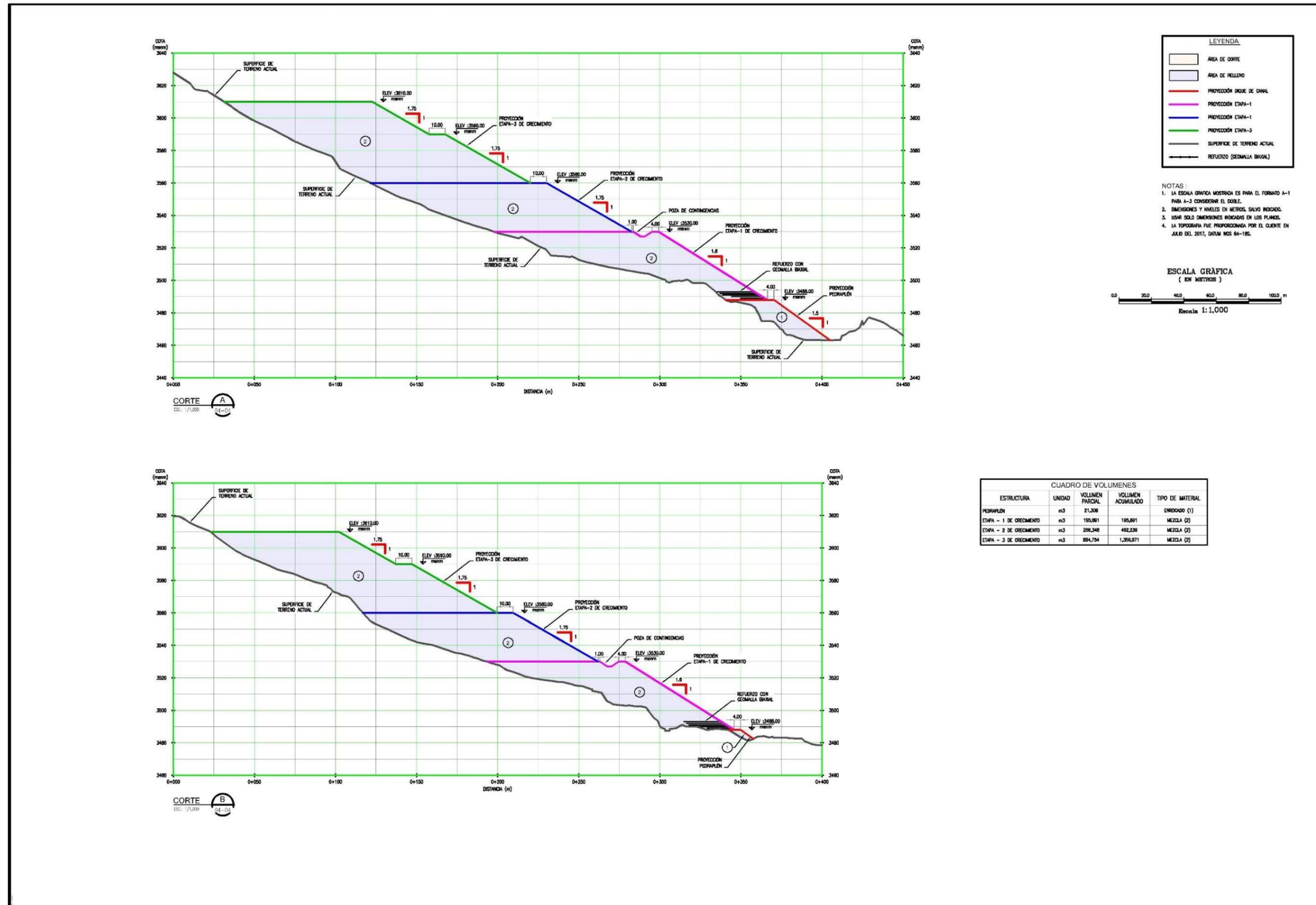
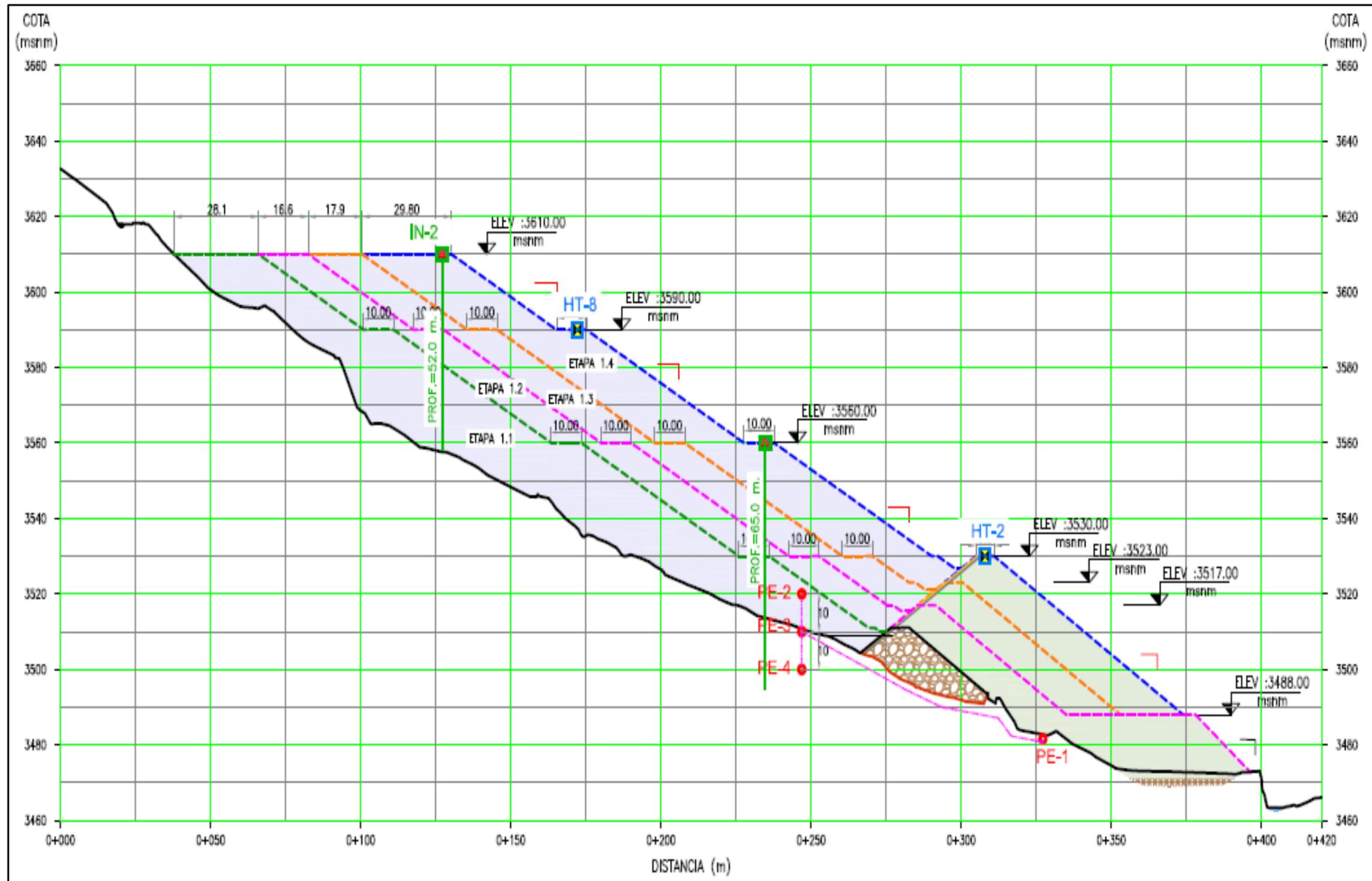


Figura 6 Diseño Geométrico actualizado al 2019 (secciones)

Fuente: SRK consulting. Proyecto de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.



### **Construcción de pedraplén y depósito**

El pedraplén se construirá con material de enrocado provenientes de las canteras estudiadas en el proyecto de ampliación, la colocación del enrocado deberá ejecutarse de tal manera que se garantice que los espacios vacíos sean menores al 25% del volumen colocado, para lo cual se conformarán en capas de 0.75 a 1.00 m, según el requerimiento y disponibilidad de equipos.

Para el control de la cantidad de vacíos se realizará en obra el ensayo de determinación de densidad por reemplazo con agua, en cada capa de 1 m de espesor.

Sobre la construcción del depósito el relave filtrado (R) que se colocará en el cuerpo del depósito será mezclado con material de préstamo (MP) en la siguiente proporción en volumen: 3(R):1(MP). El material de préstamo (MP) provendrá de canteras aprobadas, el cual, mezclado con relave filtrado, debidamente homogenizado mediante excavadoras o mezcladoras de suelos, será densificado en capas horizontales de espesor uniforme mediante el uso de rodillos compactadores vibratorios hasta alcanzar una densidad mínima del 95% de la máxima densidad seca (ensayo Proctor modificado). La colocación del material se realizará mediante capas horizontales de 30 cm de espesor del material en estado compactado.

De manera complementaria y no menos importantes es la construcción de accesos los cuales son ejecutados siguiendo el manual de diseño geométrico de carreteras vigente en el Perú, los accesos vehiculares y peatonales son de carácter temporal y ayudan en la construcción progresiva del cuerpo del depósito.

El alineamiento horizontal de los accesos se adecua al relieve de la zona optimizando esta actividad de manera que se minimice el movimiento de material. Se considero en las vías de acceso un ancho de calzada de 6.00 m y una máxima pendiente de 12.5%.

De manera complementaria y rutinaria se realiza una limpieza o nivelación con equipo motonivelador de los accesos, después de las horas de lluvia intensa que se presentan en la zona del depósito de relaves.

Esta actividad genera un mejoramiento a la vía de acceso logrando una actividad segura contra accidentes y reduce los tiempos de traslado de material.

## **Materiales**

Los materiales usados para la construcción del depósito (ampliación Ramahuayco) son principalmente el relave proveniente de la planta de beneficio y el material de préstamo mezclados en una proporción 3(R):1(MP).

Material de relave sale de la prensa de filtrado en una humedad que varía de 17 a 20 % el cual es transportado de forma diaria hacia las zonas de secado hasta llegar a una humedad de 15% aproximadamente y luego son transportados a las zonas de secado final y mezclado como se indica en la Figura 7.

De manera complementaria y al mismo tiempo el material de préstamo incluido en la mezcla es extraído de una cantera autorizada denominada “Cantera Sánchez”, material extraído por medios mecánicos mediante el uso de maquinaria pesada (excavadoras tractores y martillos hidráulicos) y transportado y colocado en las zonas de mezclado.

Según experiencia en obra no es recomendable realizar la mezcla en la zona de compactado, debido a que las vibraciones y movimiento de material pueden dañar las estabilidad y espesor de las capas concluidas y aprobadas anteriormente.

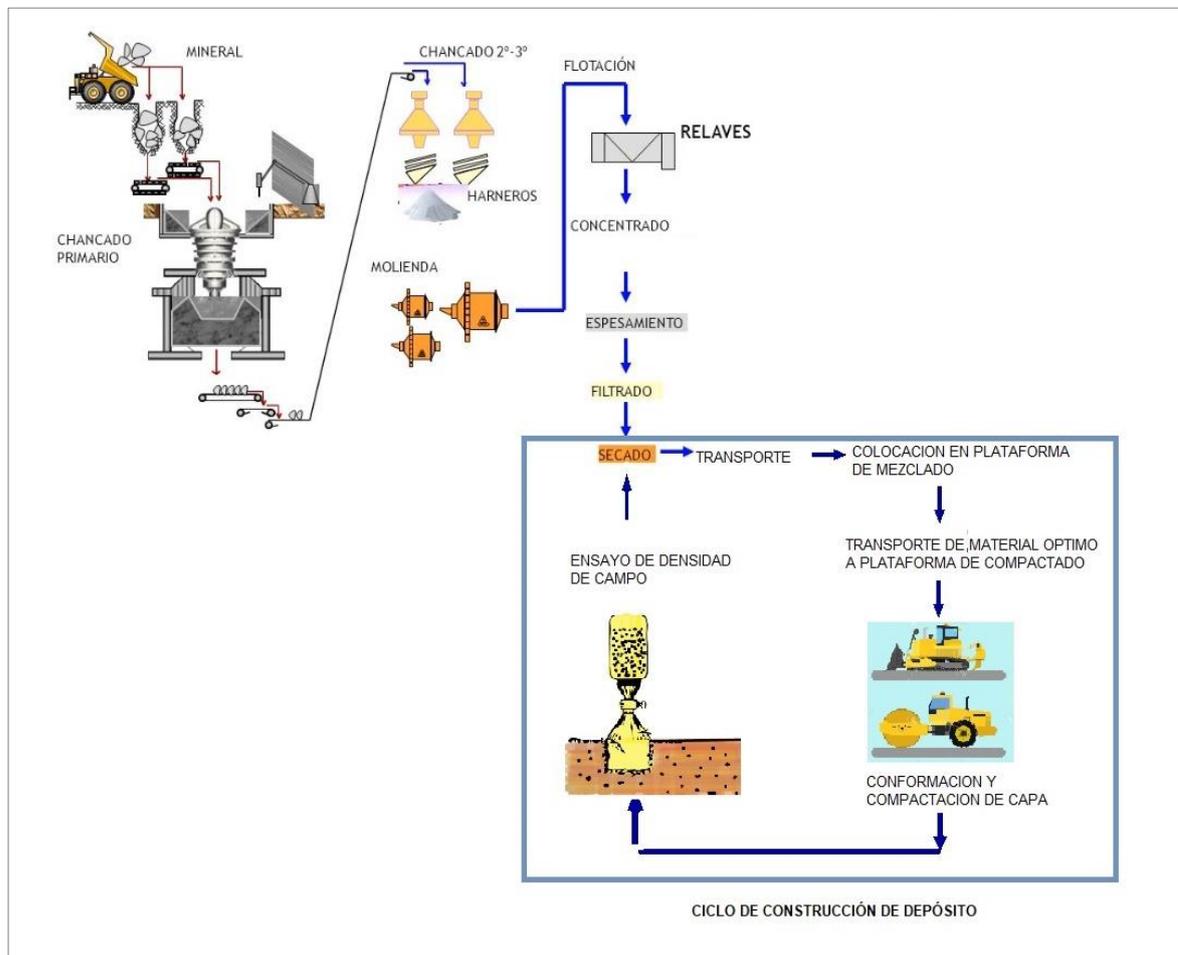
El material mezclado es apilado en volúmenes en forma de conos y tapados con mantas de pvc en caso de lluvias. Si el material mezclado se encuentra visualmente uniforme y en el óptimo contenido de humedad (9 a 10%) es transportado hacia la zona de conformación y compactado de capa.

Es importante mencionar la intervención de materiales de filtro tipo 1 (grava tamaño máximo 2”) y tipo 2 (grava tamaño máximo de 2 a 4”) necesarios para la estabilidad del depósito los cuales aseguran la conducción y traslado de aguas de manantiales naturales, así como posibles filtraciones de agua de lluvia entre el cuerpo del depósito y el basamento rocoso. Estas aguas se acopian en pozas de control y

monitoreo, estas son de dos tipos, aguas naturales (no contacto) y aguas ácidas (aguas de contacto).

Sobre el material de geosintético se colocarán geomembranas de polietileno de alta densidad HDPE y de baja densidad lineal LLDPE e= 2mm. Así como geotextil no tejido de 300 gr/m<sup>2</sup> de densidad.

Las actividades y procesos que se realizan en la zona de trabajo pueden resumirse en la siguiente figura.



**Figura 7 Ciclo de conformación de capas del depósito de relaves posterior al ciclo de procesamiento de minerales**

Fuente: Propia.

### **3.2.2 Ensayos realizados para el diseño del depósito**

El método usado en la mezcla es el gráfico y analítico para ello es necesario que los materiales cumplan con las siguientes características:

- Relave filtrado: (%grava:0%, %arena:42.71, %finos:57.29 %humedad:16.5, Peso específico: 2.20 g/cm<sup>3</sup>)
- Material de préstamo (%humedad:7.8 - 8.5, %grava:63.44, arena:14.06, finos:22.50, Peso específico: 2.64 g/cm<sup>3</sup>)
- Mezcla en proporción (3:1): (%grava:19.95, %arena:32.72, %finos:47.33 %humedad 10.0, Peso específico: 2.59 g/cm<sup>3</sup>)

### **3.2.3 Ensayos de control durante la supervisión de la construcción del depósito**

Los ensayos realizados durante la construcción del cuerpo del depósito son los siguientes:

- Análisis Granulométrico (ASTM D-6913)
- Límite Líquido (ASTM D-4318)
- Límite Plástico (ASTM D-4318)
- Densidad de Campo (ASTM D-1556)
- Contenido de Humedad (ASTM D-2216)
- Gravedad Específica (ASTM C-127)
- Próctor Modificado (ASTM D-1557)

### **3.2.4 Estructuras hidráulicas para el sistema de drenaje y subdrenaje**

Las estructuras hidráulicas que se construyeron alrededor del cuerpo de relave filtrado compactado fueron en su mayoría en concreto armado ( $F'c$ : 245 Kg/cm<sup>2</sup>,  $F'c$ : 4200 Kg/cm<sup>2</sup>, cemento tipo I) y comprenden los siguientes:

- Canales de coronación de sección rectangular.
- Canales de sección rectangular.
- Pozas de contingencia en concreto.
- Pozas de cambio de dirección en concreto.
- Pozas de contingencia temporales.
- Cunetas en concreto simple.
- Rápida de concreto armado.
- Disipadores de concreto armado.

Estas estructuras complementan el sistema de drenaje y subdrenaje que se construye en el inicio y durante la construcción (construcción progresiva) del cuerpo del depósito.

El sistema de drenaje está compuesto por un canal de coronación en sección rectangular un canal con pendiente pronunciada (rápida) una estructura de disipación y canales de sección rectangular hacia la zona de entrega final.

Estos canales trasladan un caudal máximo de 5.34 m<sup>3</sup>/s con periodo de retorno de 1000 años.

El sistema de subdrenaje lo compone un sistema de tuberías perforada y no perforada en una configuración del tipo “espina de pescado”, la colocación de material de filtro (tipo 1 y 2) y el uso de geomembranas de pvc y geotextiles no tejidos.

La geomembrana corresponde a una de pvc de 2mm de espesor usada en pozas de contingencia, zanjas de anclaje, protección de filtro tipo 1 y parte del cuerpo (material de mezcla).

El geotextil de una densidad de 300 g/m<sup>2</sup>, usado como protección de geomembranas evitando el punzonamiento y envolviendo las tuberías perforadas para que el material fino no obstruya el paso del agua en las perforaciones.

Las tuberías son de HDPE de doble pared de diámetro 7" para la construcción de una alcantarilla que recolecta las aguas de lluvia natural en el canal de coronación.

Las tuberías de HDPE que corresponden al sistema de subdrenaje son del tipo perforado y no perforado en diámetro de 6".

Los diseños de filtros fueron realizados según lo establecido en la parte 633 del Manual Nacional de Ingeniería (Part 633 National Engineering Handbook)

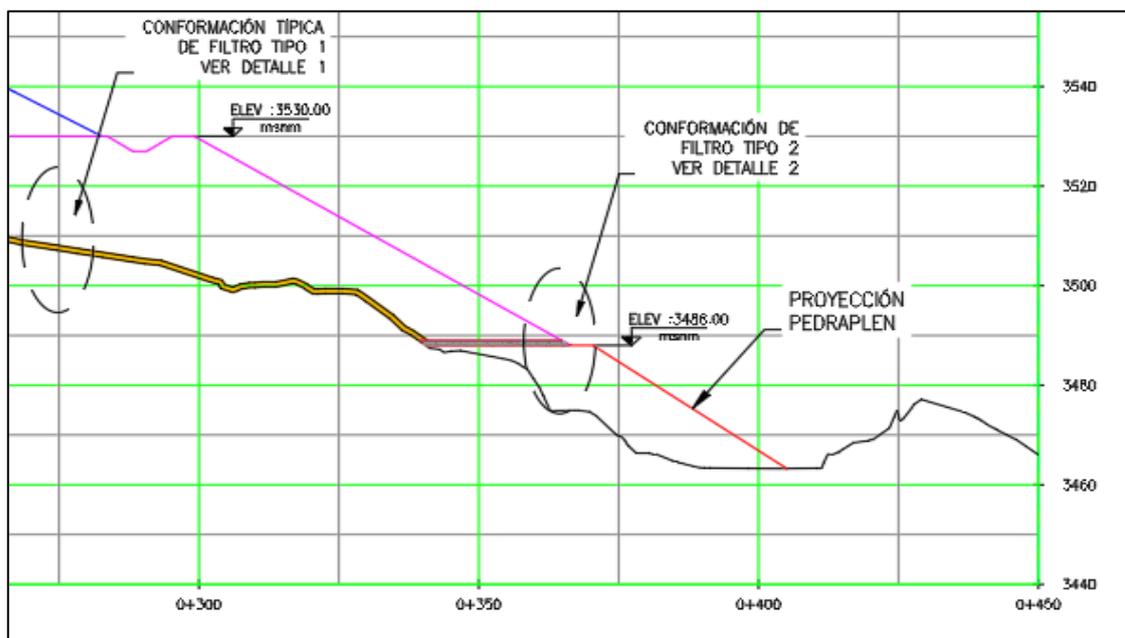


Figura 8 Diseño y ubicación de filtro

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, plano 1.1.4.3.12.

De la Figura 8 se puede observar que el filtro tipo 1 se usó como material de transición entre el material de cuerpo (mezcla relave y préstamo) y la superficie rocosa de cimentación el detalle de su colocación se muestra en la figura 9.

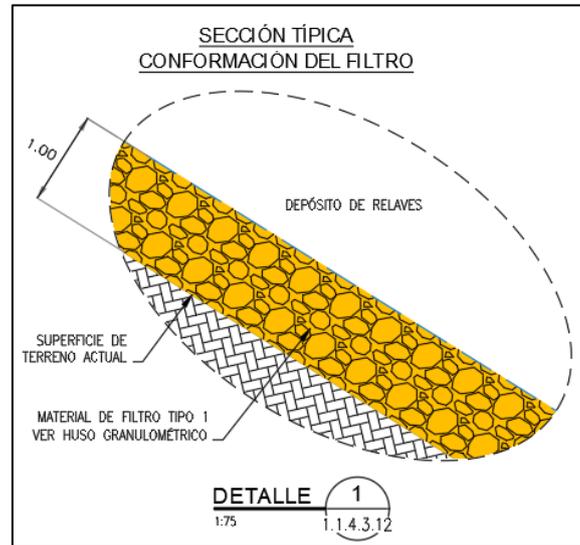


Figura 9 Diseño de filtro – filtro tipo 1

Fuente: Diseño de filtro – Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, plano 1.1.4.3.12.

El material de filtro tipo 2 usado como intermedio entre el material del cuerpo (mezcla relave y préstamo) y un material de transición-pedraplén, se muestra y se detalla en la figura 8 y figura 10.

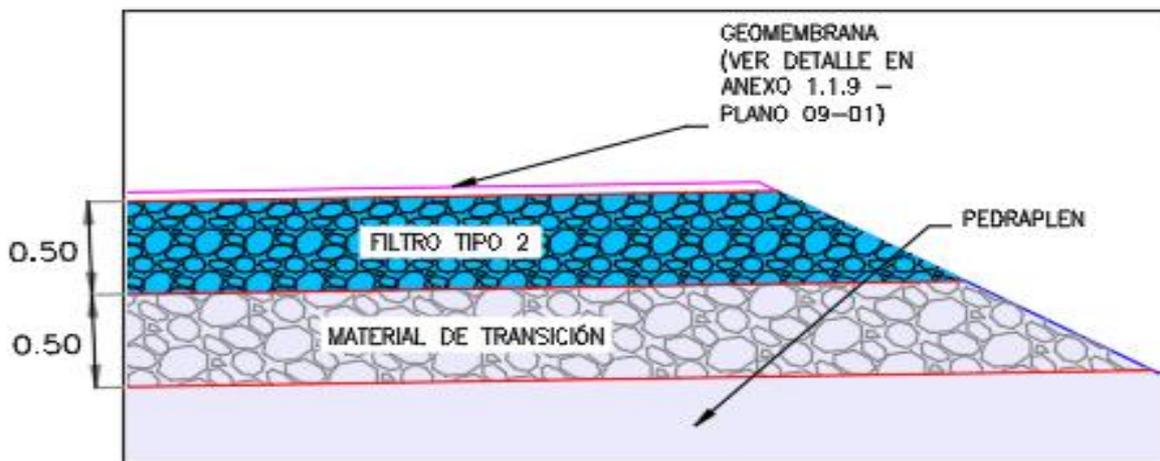


Figura 10 Ubicación de filtro tipo 2

Fuente: Diseño de filtro – Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, plano 1.1.4.3.12.

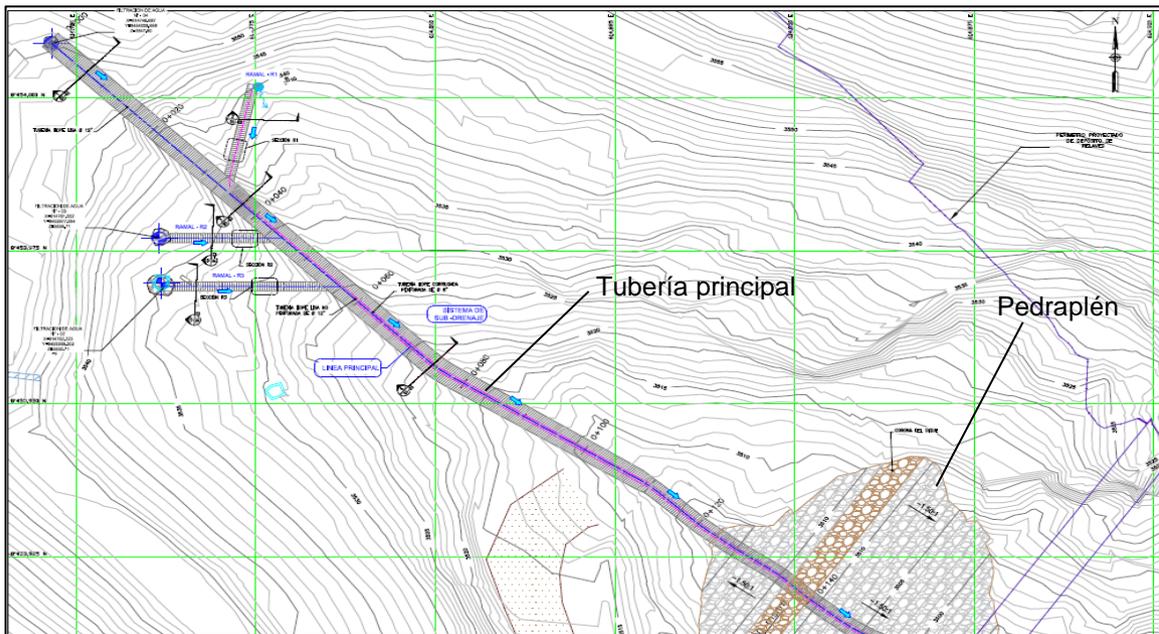


Figura 11 Sistema de subdrenaje - distribución espina de pescado  
 Fuente: Sistema de subdrenaje – Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, plano 7-02

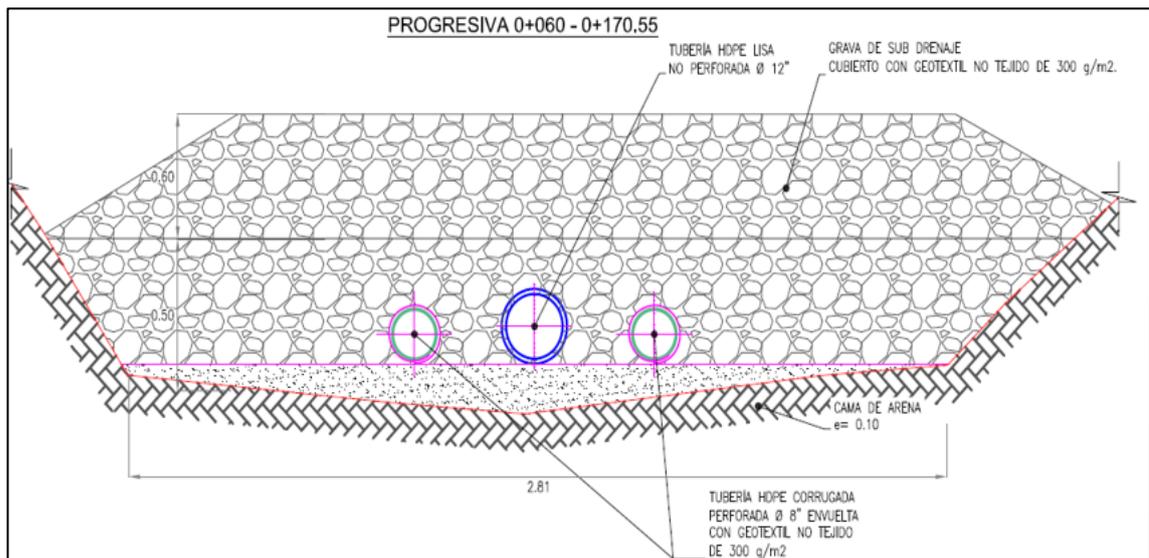


Figura 12 Sistema de tuberías para el subdrenaje  
 Fuente: Sistema de subdrenaje – Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, plano -7-02

La figura 12 muestra la tubería principal de 12” en polietileno de alta densidad hdpe (High Density Polyethylene) no perforada en la parte central y dos tuberías en hdpe

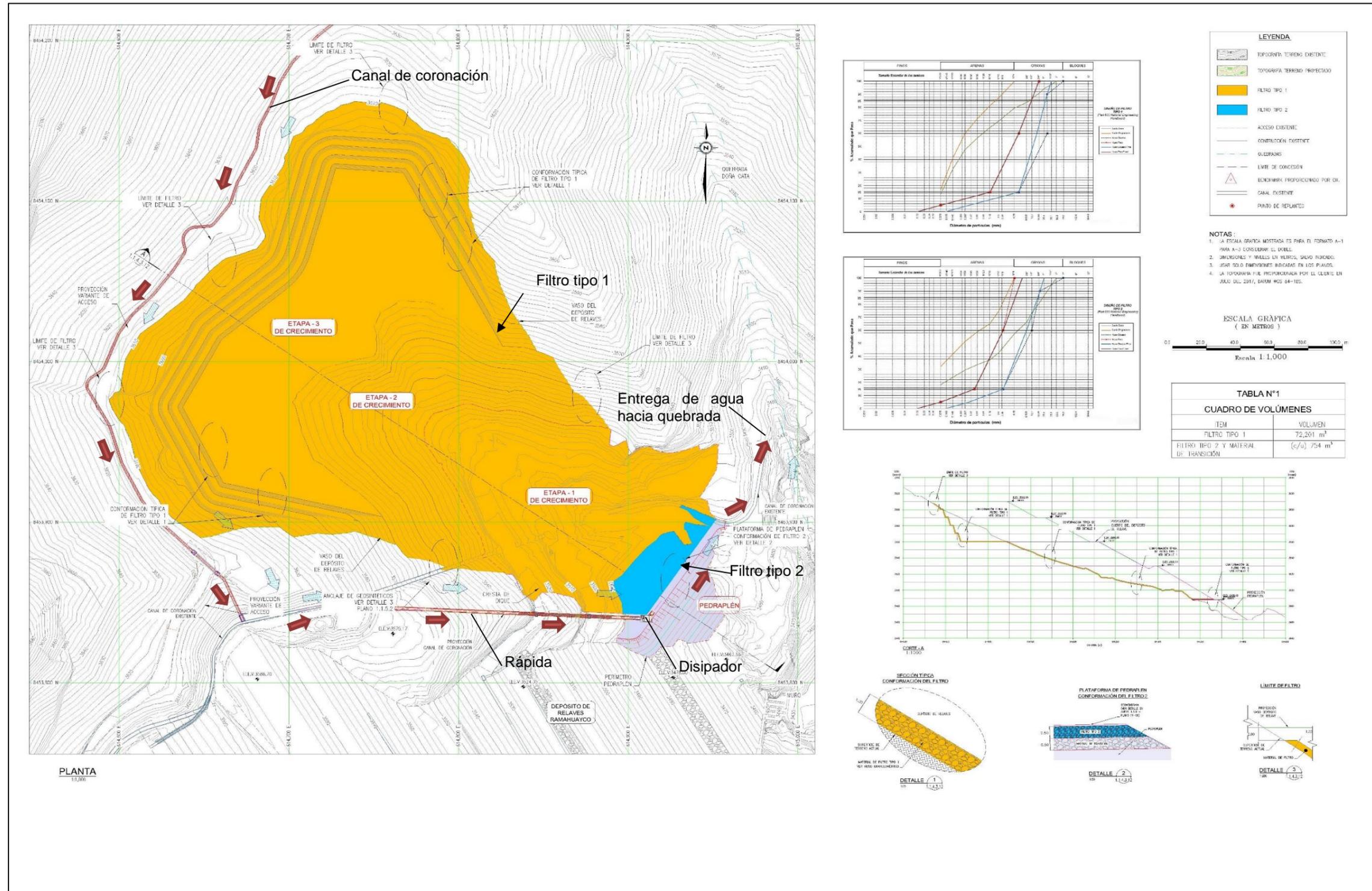
perforada en diámetro de 8" envuelta en geotextil no tejido de 300 g/m<sup>2</sup>. todas las tuberías asentadas sobre una cama de arena de 10cm de espesor.

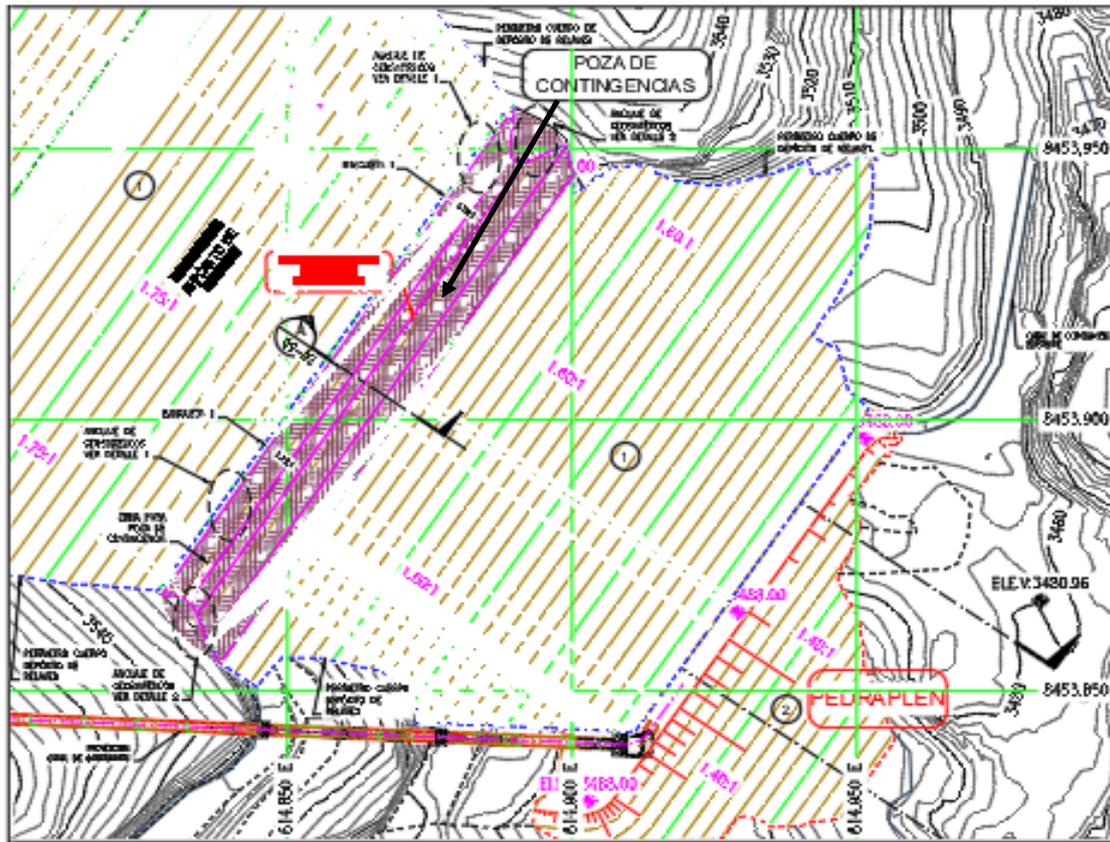
La tubería de 12" principal transporta las aguas recolectadas por las fuentes naturales o manantiales (aguas de no contacto), estas son transportadas y entregadas a la quebrada más cercana (Doña Cata)

Las tuberías perforadas de 8" recolectan aguas de contacto (aguas con posibilidad de contacto con relave) es decir aguas de lluvia que se infiltran en el interior del cuerpo en la zona entre el terreno natural y el filtro tipo 1. Estas aguas son transportadas hacia pozas temporales de control.

**Figura 13 Diseño y ubicación de filtros.**

Fuente: SRK Consulting sede Perú (antes SVS). Proyecto de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.



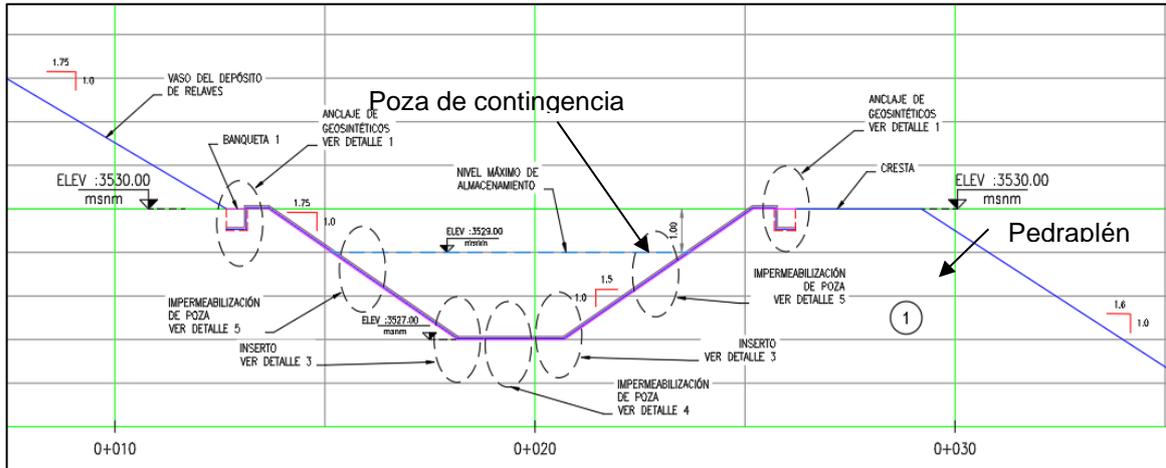


**Figura 14 Sistema de tuberías para el subdrenaje**

Fuente: Sistema de subdrenaje – Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, plano -7-02

La Figura 15 muestra la ubicación la poza de contingencia que retenía las aguas superficiales de lluvia y los filtros ubicados en el interior del cuerpo se encargan de coleccionar las aguas de infiltración.

La poza de contingencia tendrá un carácter temporal y estará recubierta con geomembrana de 2 mm protegida con geotextil.



**Figura 15 Sistema de tuberías para el subdrenaje – sección transversal**

Fuente: Sistema de subdrenaje – Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, plano -7-02.

Esta poza de contingencia será retirada en cuanto se produzcan los siguientes recrecimientos de capas en las etapas constructivas siguientes.

### 3.2.5 Presentación de modelos numéricos del depósito de relaves usando el programa Slide.v6. 005

#### Estabilidad Física

En ingeniería estructural, el factor de seguridad es usualmente definido como la razón entre la carga de colapso (resistente) y la carga de trabajo. Para estructuras de suelo, sin embargo, esta definición no es siempre útil.

En presas la mayoría de la carga es causada por el peso del suelo y un incremento en el peso del suelo no necesariamente conducirá al colapso. En efecto, un talud puramente de suelo friccionante no fallará en una prueba en la que su propio peso es incrementado (como una prueba centrífuga). Por tanto, una definición apropiada del factor de seguridad es:

$$FS = \frac{S_{disponible}}{S_{requerido}}$$

“S” representa la resistencia al corte, la razón entre la resistencia verdadera con la resistencia mínima necesaria para el equilibrio es el factor de seguridad que es convencionalmente usado en mecánica de suelos. Considerando la condición estándar de coulomb el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{c + \sigma_n \tan \emptyset}{c_r + \sigma_n \tan \emptyset_r}$$

Donde  $c$  y  $\emptyset$  son parámetros de resistencia y  $\sigma_n$  es el esfuerzo normal actual. Los parámetros  $c_r$  y  $\emptyset_r$  son los parámetros de resistencia reducidos necesarios para mantener el equilibrio.

En la siguiente tabla se presenta los valores de los factores de seguridad mínimos de acuerdo al criterio del Cuerpo de Ingenieros de los EE. UU (USACE) y del MEM.

**Tabla 1 Valores de factores de seguridad mínimos admisibles**

| Condición        | Factor de seguridad |      |
|------------------|---------------------|------|
|                  | USACE               | MEM  |
| Estático         | 1.5                 | 1.5  |
| Seudo - estático | 1.0                 | 1.2* |

Nota: (\*) Sismo máximo con periodo de retorno de 100 años.

**Tabla 2 Valores de Factores de Seguridad de Presa de Relaves**

| Factor de seguridad   |     | Estructuras afectadas por la Falla |
|-----------------------|-----|------------------------------------|
| Estático              | 1.5 | Depósito – material mezcla         |
| Seudo – estático 0.16 | 1.0 | Depósito – material mezcla         |

Fuente: Diseño Geotécnico - Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

Para fines de cierre la resistencia a largo plazo será mayor, garantizando la geometría actual y las condiciones de seguridad requeridas para el cierre del depósito de relaves filtrados.

Se debe indicar que un factor de seguridad seudo-estático mayor a 1.0 no significa que los taludes del depósito no se moverán durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes, asociados al sismo de diseño.

El depósito de relaves Ampliación Ramahuayco es estable para las secciones de análisis, si se considera un criterio de aceptabilidad de  $F_s > 1.5$ , el análisis seudo estático indica que el depósito es estable si se considera un coeficiente horizontal máximo de 0.16g y un criterio de aceptabilidad  $F_s > 1.0$ .

Para el modelo geotécnico del depósito se consideró un peso de 20 KN/m<sup>3</sup> y 31° de ángulo de fricción y 30 Kpa de cohesión.

### **3.2.6 Medidas de control durante la construcción del depósito**

Medidas importantes para asegurar la estabilidad física del depósito y seguir correctamente las labores de operación:

- Máximo contenido de finos en el relave de 65% bajo la malla N°200, en un rango de 60 a 65% de finos.
- Contenido de sólidos en relave debe ser como mínimo 88% o su equivalente en agua de 16%, rango de sólidos entre 88 y 89%.
- Mezcla de relave y material de préstamo deberá ser homogénea de preferencia en plantas de mezclado.
- Los relaves mezclados deben ser compactados a una humedad máxima de compactación de 12%.
- Densidad mínima de compactación debe ser del 95% del Proctor Modificado o una densidad seca mínima de 2.10 t/m<sup>3</sup>, la que sea mayor.
- Las plataformas de construcción de relaves filtrados deben tener una pendiente uniforme de 1% como mínimo hacia el interior del vaso, captando el flujo sobre la plataforma mediante filtros.
- En los controles anuales del depósito de relaves se debe verificar la densidad y humedad en profundidad del depósito de relaves, de forma que estos valores se encuentren en los rangos permisibles.
- Se debe retirar el material suelto existente en los taludes naturales de los lados izquierdo y derecho de la plataforma de compactación (vaso o cuerpo de almacenamiento)
- Riego y mantenimiento constante de las vías de acceso a la plataforma de compactación.
- Perfilado de talud del vaso de almacenamiento cata 9 capas o 3m de altura.

### 3.3 Metodología

La metodología usada en el desarrollo de proyectos de la empresa comunal constructora del depósito (EC-TACA) es el de construcción mediante ejecución de expediente técnico de obra y supervisión.

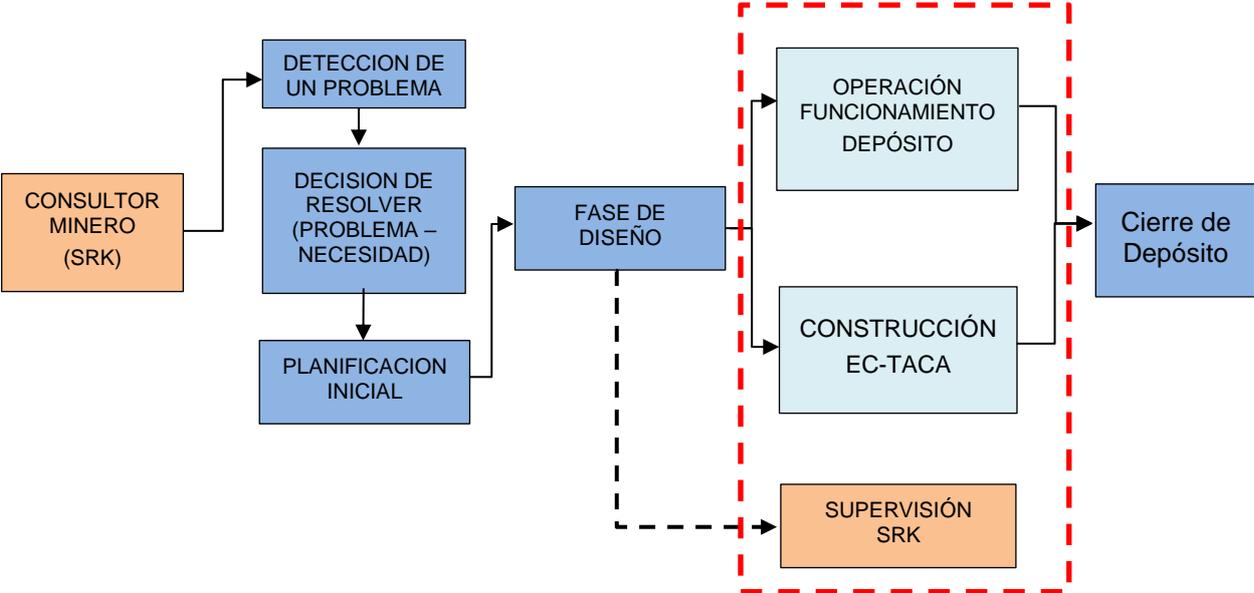


Figura 16 Esquema general del proceso proyecto - construcción  
Fuente: Propia

En la Figura 16 se observa el esquema general del método proyecto - construcción metodología usada durante la construcción del depósito, la zona marcado en rojo corresponde a actividades que se realizan al mismo tiempo, el tipo de construcción por etapas y optima planificación permite la operación y funcionamiento del depósito, La metodología usada en el desarrollo de proyectos de la empresa comunal constructora del depósito es el de construcción mediante ejecución de expediente técnico de obra por etapas bajo supervisión de la empresa responsable de diseño.

### **3.4 Aspectos éticos**

En este aspecto se afirma que los datos tomados sobre los resultados de los ensayos de control de materiales corresponden a los datos que obran en los informes del supervisor.

Los procedimientos ejecutados durante los ensayos corresponden a los procedimientos estandarizados, usando las herramientas y materiales indicados en el estándar correspondiente.

Los diseños de las obras hidráulicas corresponden a las obras ejecutadas salvo las modificaciones que se podrían realizar durante la ejecución debiendo estas tener la aprobación del supervisor y diseñador.

Los valores éticos utilizados en el desarrollo del presente informe son los siguientes:

-Honestidad, en la exposición de medidas de control y resultados de ensayos realizados, conclusiones.

-Responsabilidad y compromiso, en la ejecución, recopilación y obtención de la información de campo, así como ensayos y pruebas realizadas a los materiales en laboratorios instalados en obra.

-Respeto, a las autoridades y jefes que apoyaron durante la recopilación de información necesaria para la elaboración del presente informe.

-Justicia, en lo que respecta a ser equitativo en la distribución y desarrollo de información en el presente trabajo.

-Libertad para expresar opiniones en el centro de labores respecto al desarrollo del presente trabajo en base a la experiencia obtenida en la construcción del depósito.

## IV.RESULTADOS

### 4.1 Materiales y Ensayos Realizados

#### Material rocoso para pedraplén:

Resultados de ensayos por los siguientes métodos:

- Método de reemplazo por volumen de agua (ASTM D-5030)
- Ensayo granulométrico por tamizado (ASTM D-422)
- Contenido de Humedad (ASTM D-2116)

**Tabla 3 Resultados de ensayos en roca**

| Nº | Estructura | Fecha    | Cota (msnm) | Capa | Área promedio (m <sup>2</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Volumen acumulado (m <sup>3</sup> ) | % de vacíos | %de vacíos máximo |
|----|------------|----------|-------------|------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------|
| 1  | Pedraplén  | 19/05/19 | 3494.00     | 01   | 203.43                          | 203.43                    | 203.43                              | 24.86       | 25.00             |
| 2  | Pedraplén  | 19/05/19 | 3495.00     | 02   | 276.04                          | 276.04                    | 479.47                              | 21.84       | 25.00             |
| 3  | Pedraplén  | 20/05/19 | 3496.00     | 03   | 346.69                          | 346.69                    | 826.15                              | 19.22       | 25.00             |
| 4  | Pedraplén  | 20/05/19 | 3497.00     | 04   | 409.44                          | 409.44                    | 1235.59                             | 22.95       | 25.00             |
| 5  | Pedraplén  | 20/05/19 | 3498.00     | 05   | 469.60                          | 469.60                    | 1705.19                             | 22.61       | 25.00             |
| 6  | Pedraplén  | 20/05/19 | 3499.00     | 06   | 497.89                          | 497.89                    | 2203.08                             | 21.72       | 25.00             |
| 7  | Pedraplén  | 20/05/19 | 3500.00     | 07   | 515.85                          | 515.85                    | 2718.92                             | 21.54       | 25.00             |
| 8  | Pedraplén  | 20/05/19 | 3501.00     | 08   | 534.15                          | 534.15                    | 3253.07                             | 20.05       | 25.00             |
| 9  | Pedraplén  | 20/05/19 | 3502.00     | 09   | 545.28                          | 545.28                    | 3798.35                             | 22.47       | 25.00             |
| 10 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3503.00     | 10   | 552.21                          | 552.21                    | 4350.56                             | 22.49       | 25.00             |
| 11 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3504.00     | 11   | 560.77                          | 560.77                    | 4911.33                             | 22.30       | 25.00             |
| 12 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3505.00     | 12   | 572.40                          | 572.40                    | 5483.72                             | 21.52       | 25.00             |
| 13 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3506.00     | 13   | 576.90                          | 576.90                    | 6060.62                             | 21.73       | 25.00             |
| 14 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3507.00     | 14   | 578.25                          | 578.25                    | 6638.87                             | 22.26       | 25.00             |
| 15 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3508.00     | 15   | 570.56                          | 570.56                    | 7209.43                             | 23.02       | 25.00             |
| 16 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3509.00     | 16   | 520.47                          | 520.47                    | 7729.89                             | 21.73       | 25.00             |
| 17 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3510.00     | 17   | 416.39                          | 416.39                    | 8146.28                             | 22.53       | 25.00             |
| 18 | Pedraplén  | 20/05/19 | 3511.00     | 18   | 280.51                          | 280.51                    | 8426.78                             | 20.05       | 25.00             |

Fuente: Informe CQA - SRK - Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

Se realizará una evaluación de los procesos de ensayos con el objetivo de evaluar la variabilidad de los valores respecto a lo indicado en las especificaciones técnicas, para ello se ha realizado un análisis estadístico de los resultados obtenidos más importantes como la humedad, densidad y grado de compactación para ello se usarán los siguientes parámetros:

Índice de capacidad del proceso para un nivel de confianza del 95%.

$$Cp = \frac{LCS - LCI}{3.92 \times S}$$

$1.33 \leq Cp \longrightarrow$  Satisfactorio  
 $1.00 \leq Cp \leq 1.33 \longrightarrow$  Adecuado  
 $Cp \leq 1.00 \longrightarrow$  Inadecuado

**Tabla 4: Control de porcentaje de vacíos**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE PORCENTAJE DE VACIOS EN EL MATERIAL DE RELLENO |       |
|--|-------|
| Pruebas Realizadas   | 18.00 |
| Promedio General   | 21.94 |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 19.22 |
| Máximo Resultado Obtenido  | 24.86 |
| Desviación Estándar (S)  | 1.27  |
| Coefficiente de Variabilidad   | 5.79  |
| Tolerancia   | -     |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 25.75 |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 18.13 |
| Índice de capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%                     | 1.53  |

Fuente: SRK, 2019



Figura 17 Control de porcentaje de vacíos (ensayo del 01 al 018)

Fuente: SRK, 2019

Los valores de porcentaje de vacíos cumplen con lo indicado en las especificaciones (menor al 25%) los 18 valores de porcentaje de vacíos registrados el total cumple, por lo tanto, se indica que el proceso se encuentra bajo control (grado de confiabilidad considerado es de 95%) es decir que los procesos o actividades que controlan el tamaño de roca, la colocación y conformación de la capa rocosa en la plataforma del pedraplén están bajo control, obteniendo los resultados esperados.

**Material de mezcla para la construcción del vaso de almacenamiento o cuerpo:**

Resultados de ensayos por los siguientes métodos:

- Ensayo granulométrico por tamizado (ASTM D-422)
- Contenido de Humedad (ASTM D-2116)
- Límites de consistencia (ASTM D4318-17e1)
- Ensayo de compactación Proctor Modificado (ASTM D1557-12e1)
- Ensayo estándar para determinar la densidad del suelo in situ por el método del cono de arena (ASTM D1556/D1556M-15e1)

El promedio de densidad secas obtenidas es de 2.218 g/cm<sup>3</sup>.

El promedio de contenido de humedad natural en la mezcla es de 9.44%.

El promedio del grado de compactación obtenido es de 95.96%.

**Tabla 5 Resultados de ensayos en material de mezcla en el vaso de almacenamiento o cuerpo del depósito**

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm3) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima           | Campo |                     |                          |         |
| 07/07/2019 | 3506.10      | 01         | 0.35         | 8.38%          | 10.03% | 2.295            | 2.188 | 95.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3506.45      | 02         | 0.35         | 8.38%          | 9.96%  | 2.295            | 2.199 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3506.80      | 03         | 0.35         | 8.38%          | 10.09% | 2.295            | 2.210 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3507.15      | 04         | 0.35         | 8.38%          | 8.94%  | 2.295            | 2.189 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3507.50      | 05         | 0.35         | 8.38%          | 9.63%  | 2.295            | 2.207 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3507.85      | 06         | 0.35         | 8.38%          | 9.95%  | 2.295            | 2.209 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3508.20      | 07         | 0.35         | 8.38%          | 9.10%  | 2.295            | 2.205 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3508.55      | 08         | 0.35         | 8.38%          | 9.88%  | 2.295            | 2.192 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3508.90      | 09         | 0.35         | 8.38%          | 9.58%  | 2.295            | 2.220 | 96.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3509.25      | 10         | 0.35         | 8.38%          | 10.15% | 2.295            | 2.202 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3509.60      | 11         | 0.35         | 8.13%          | 9.39%  | 2.303            | 2.199 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3509.95      | 12         | 0.35         | 8.13%          | 10.04% | 2.303            | 2.198 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3510.30      | 13         | 0.35         | 8.13%          | 9.70%  | 2.303            | 2.210 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3510.65      | 14         | 0.35         | 8.13%          | 10.00% | 2.303            | 2.207 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3511.00      | 15         | 0.35         | 8.13%          | 8.77%  | 2.303            | 2.205 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/07/2019 | 3511.30      | 16         | 0.30         | 8.35%          | 8.46%  | 2.297            | 2.181 | 95.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3511.60      | 17         | 0.30         | 8.35%          | 9.46%  | 2.297            | 2.191 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3511.90      | 18         | 0.30         | 8.35%          | 9.28%  | 2.297            | 2.208 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3512.20      | 19         | 0.30         | 8.35%          | 9.18%  | 2.297            | 2.215 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3512.50      | 20         | 0.30         | 8.35%          | 9.17%  | 2.297            | 2.192 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3512.80      | 21         | 0.30         | 8.55%          | 9.40%  | 2.305            | 2.199 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3513.10      | 22         | 0.30         | 8.55%          | 9.19%  | 2.305            | 2.199 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3513.40      | 23         | 0.30         | 8.55%          | 8.27%  | 2.305            | 2.200 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3513.70      | 24         | 0.30         | 8.55%          | 8.86%  | 2.305            | 2.200 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3514.00      | 25         | 0.30         | 8.55%          | 8.59%  | 2.305            | 2.218 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3514.30      | 26         | 0.30         | 8.30%          | 8.65%  | 2.294            | 2.216 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm3) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima           | Campo |                     |                          |         |
| 20/07/2019 | 3514.65      | 27         | 0.35         | 8.30%          | 9.40%  | 2.294            | 2.196 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/07/2019 | 3515.00      | 28         | 0.35         | 8.30%          | 10.02% | 2.294            | 2.219 | 96.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/07/2019 | 3515.35      | 29         | 0.35         | 8.30%          | 8.98%  | 2.294            | 2.211 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/07/2019 | 3515.70      | 30         | 0.35         | 8.30%          | 9.12%  | 2.294            | 2.214 | 96.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/07/2019 | 3516.00      | 31         | 0.30         | 8.30%          | 9.76%  | 2.294            | 2.206 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/07/2019 | 3516.35      | 32         | 0.35         | 7.86%          | 9.67%  | 2.311            | 2.22  | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/07/2019 | 3516.70      | 33         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311            | 2.207 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/07/2019 | 3517.00      | 34         | 0.30         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311            | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/07/2019 | 3517.35      | 35         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311            | 2.201 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 27/07/2019 | 3517.70      | 36         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311            | 2.213 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 27/07/2019 | 3518.00      | 37         | 0.30         | 7.86%          | 9.89%  | 2.311            | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 27/06/2019 | 3518.35      | 38         | 0.35         | 7.86%          | 9.11%  | 2.311            | 2.221 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 28/07/2019 | 3518.70      | 39         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311            | 2.217 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 29/07/2019 | 3519.00      | 40         | 0.30         | 8.19%          | 9.13%  | 2.308            | 2.205 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 29/07/2019 | 3519.35      | 41         | 0.35         | 8.19%          | 9.28%  | 2.308            | 2.198 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/07/2019 | 3519.70      | 42         | 0.35         | 8.19%          | 8.66%  | 2.308            | 2.215 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/07/2019 | 3520.00      | 43         | 0.30         | 8.19%          | 8.77%  | 2.308            | 2.207 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 31/07/2019 | 3520.35      | 44         | 0.35         | 8.19%          | 8.74%  | 2.308            | 2.205 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/08/2019 | 3520.70      | 45         | 0.35         | 8.10%          | 9.43%  | 2.317            | 2.223 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/08/2019 | 3521.00      | 46         | 0.30         | 8.10%          | 9.27%  | 2.317            | 2.220 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/08/2019 | 3521.35      | 47         | 0.35         | 8.10%          | 9.14%  | 2.317            | 2.235 | 96.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/08/2019 | 3521.70      | 48         | 0.35         | 8.10%          | 9.80%  | 2.317            | 2.224 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/08/2019 | 3522.00      | 49         | 0.30         | 8.10%          | 9.43%  | 2.317            | 2.215 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/08/2019 | 3522.35      | 50         | 0.35         | 8.19%          | 9.21%  | 2.312            | 2.214 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/08/2019 | 3522.70      | 51         | 0.35         | 8.19%          | 9.17%  | 2.312            | 2.222 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/08/2019 | 3523.00      | 52         | 0.30         | 8.19%          | 8.56%  | 2.312            | 2.229 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/08/2019 | 3523.35      | 53         | 0.35         | 8.19%          | 9.54%  | 2.312            | 2.217 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/08/2019 | 3523.70      | 54         | 0.35         | 8.19%          | 9.36%  | 2.312            | 2.211 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm3) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------|------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo | Máxima           | Campo |                     |                          |         |
| 09/08/2019 | 3524.00      | 55         | 0.30         | 7.99%          | 7.65% | 2.324            | 2.225 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/08/2019 | 3524.35      | 56         | 0.35         | 7.99%          | 8.22% | 2.324            | 2.227 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/08/2019 | 3524.70      | 57         | 0.35         | 7.99%          | 9.75% | 2.324            | 2.225 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/08/2019 | 3525.00      | 58         | 0.30         | 7.99%          | 9.40% | 2.324            | 2.240 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/08/2019 | 3525.35      | 59         | 0.35         | 7.99%          | 8.27% | 2.324            | 2.217 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/08/2019 | 3525.70      | 60         | 0.35         | 8.18%          | 9.16% | 2.315            | 2.216 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/08/2019 | 3526.00      | 61         | 0.30         | 8.18%          | 9.64% | 2.315            | 2.206 | 95.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/08/2019 | 3526.35      | 62         | 0.35         | 8.18%          | 9.29% | 2.315            | 2.224 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3526.70      | 63         | 0.35         | 8.18%          | 9.19% | 2.315            | 2.220 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3527.00      | 64         | 0.30         | 8.52%          | 9.53% | 2.309            | 2.218 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3527.35      | 65         | 0.35         | 8.52%          | 8.74% | 2.309            | 2.221 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3527.70      | 66         | 0.35         | 8.52%          | 9.35% | 2.309            | 2.217 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/08/2019 | 3528.00      | 67         | 0.30         | 8.52%          | 9.14% | 2.309            | 2.219 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/08/2020 | 3528.35      | 68         | 0.35         | 8.52%          | 9.68% | 2.309            | 2.200 | 95.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/08/2019 | 3528.70      | 69         | 0.35         | 8.52%          | 9.39% | 2.309            | 2.234 | 96.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/08/2019 | 3529.00      | 70         | 0.30         | 8.28%          | 8.90% | 2.313            | 2.222 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/08/2019 | 3529.35      | 71         | 0.35         | 8.28%          | 8.76% | 2.313            | 2.228 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3529.70      | 72         | 0.35         | 8.28%          | 9.29% | 2.313            | 2.218 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3530.00      | 73         | 0.30         | 8.28%          | 9.45% | 2.313            | 2.227 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3530.35      | 74         | 0.35         | 8.28%          | 8.63% | 2.313            | 2.212 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3530.70      | 75         | 0.35         | 8.48%          | 8.60% | 2.319            | 2.212 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/08/2019 | 3531.00      | 76         | 0.30         | 8.48%          | 9.13% | 2.319            | 2.222 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/08/2019 | 3531.35      | 77         | 0.35         | 8.48%          | 9.50% | 2.319            | 2.222 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/08/2019 | 3531.70      | 78         | 0.35         | 8.48%          | 8.74% | 2.319            | 2.217 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/08/2019 | 3532.00      | 79         | 0.30         | 8.48%          | 9.09% | 2.319            | 2.214 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/08/2019 | 3532.35      | 80         | 0.35         | 8.46%          | 9.45% | 2.310            | 2.222 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 19/08/2019 | 3532.70      | 81         | 0.35         | 8.46%          | 8.47% | 2.310            | 2.214 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 19/08/2019 | 3533.00      | 82         | 0.30         | 8.46%          | 8.68% | 2.310            | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm3) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------|------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo | Máxima           | Campo |                     |                          |         |
| 19/08/2019 | 3533.35      | 83         | 0.35         | 8.46%          | 8.68% | 2.310            | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 19/08/2019 | 3533.70      | 84         | 0.35         | 8.46%          | 8.90% | 2.310            | 2.208 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3534.00      | 85         | 0.30         | 8.46%          | 8.16% | 2.310            | 2.210 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3534.35      | 86         | 0.35         | 8.71%          | 9.42% | 2.318            | 2.232 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3534.70      | 87         | 0.35         | 8.71%          | 9.50% | 2.318            | 2.214 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3535.00      | 88         | 0.30         | 8.71%          | 8.39% | 2.318            | 2.207 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3535.35      | 89         | 0.35         | 8.71%          | 9.50% | 2.318            | 2.225 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3535.70      | 90         | 0.35         | 8.67%          | 9.56% | 2.314            | 2.212 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3536.00      | 91         | 0.30         | 8.67%          | 9.85% | 2.314            | 2.221 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3536.35      | 92         | 0.35         | 8.67%          | 8.53% | 2.314            | 2.250 | 97.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/08/2019 | 3536.70      | 93         | 0.35         | 8.67%          | 9.49% | 2.314            | 2.228 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/08/2019 | 3537.00      | 94         | 0.30         | 8.67%          | 9.31% | 2.314            | 2.218 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/08/2019 | 3537.35      | 95         | 0.35         | 8.42%          | 9.34% | 2.315            | 2.218 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/08/2019 | 3537.70      | 96         | 0.35         | 8.42%          | 9.58% | 2.315            | 2.218 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/08/2019 | 3538.00      | 97         | 0.30         | 8.42%          | 9.43% | 2.315            | 2.236 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/08/2019 | 3538.35      | 98         | 0.35         | 8.42%          | 9.80% | 2.315            | 2.219 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/08/2019 | 3538.70      | 99         | 0.35         | 8.42%          | 9.17% | 2.315            | 2.225 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/08/2019 | 3539.00      | 100        | 0.30         | 8.35%          | 9.68% | 2.310            | 2.226 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/08/2019 | 3539.35      | 101        | 0.35         | 8.35%          | 9.24% | 2.310            | 2.223 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/08/2019 | 3539.70      | 102        | 0.35         | 8.35%          | 9.50% | 2.310            | 2.220 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 28/08/2019 | 3540.00      | 103        | 0.30         | 8.35%          | 9.56% | 2.310            | 2.219 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/08/2019 | 3540.35      | 104        | 0.35         | 8.35%          | 9.81% | 2.310            | 2.211 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/08/2019 | 3540.70      | 105        | 0.35         | 8.38%          | 9.27% | 2.304            | 2.213 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/08/2019 | 3541.00      | 106        | 0.30         | 8.38%          | 8.83% | 2.304            | 2.210 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/08/2019 | 3541.35      | 107        | 0.35         | 8.38%          | 8.93% | 2.304            | 2.205 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/08/2019 | 3541.70      | 108        | 0.35         | 8.38%          | 9.05% | 2.304            | 2.05  | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 03/09/2019 | 3542.00      | 109        | 0.30         | 8.38%          | 9.38% | 2.304            | 2.215 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 04/09/2019 | 3542.35      | 110        | 0.35         | 8.43%          | 9.12% | 2.306            | 2.214 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm3) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------|------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo | Máxima           | Campo |                     |                          |         |
| 05/09/2019 | 3542.70      | 111        | 0.35         | 8.43%          | 9.20% | 2.306            | 2.212 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 05/09/2019 | 3543.00      | 112        | 0.30         | 8.43%          | 9.83% | 2.306            | 2.219 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/09/2019 | 3543.35      | 113        | 0.35         | 8.43%          | 9.12% | 2.306            | 2.228 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/09/2019 | 3543.70      | 114        | 0.35         | 8.43%          | 9.27% | 2.306            | 2.204 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/09/2019 | 3540.00      | 115        | 0.30         | 8.12%          | 9.10% | 2.311            | 2.215 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/09/2019 | 3544.35      | 116        | 0.35         | 8.12%          | 9.70% | 2.311            | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/09/2019 | 3544.70      | 117        | 0.35         | 8.12%          | 9.66% | 2.311            | 2.227 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/09/2019 | 3545.00      | 118        | 0.30         | 8.12%          | 9.57% | 2.311            | 2.209 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/09/2019 | 3545.35      | 119        | 0.35         | 8.12%          | 9.68% | 2.311            | 2.215 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/09/2019 | 3545.70      | 120        | 0.35         | 8.37%          | 9.97% | 2.320            | 2.229 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/09/2019 | 3546.00      | 121        | 0.30         | 8.37%          | 9.17% | 2.320            | 2.217 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/09/2019 | 3546.35      | 122        | 0.35         | 8.37%          | 9.63% | 2.320            | 2.217 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/09/2019 | 3546.70      | 123        | 0.35         | 8.37%          | 9.31% | 2.320            | 2.235 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/09/2019 | 3547.00      | 124        | 0.30         | 8.37%          | 9.63% | 2.320            | 2.227 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/09/2019 | 3547.35      | 125        | 0.35         | 8.16%          | 9.37% | 2.309            | 2.212 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/09/2019 | 3547.70      | 126        | 0.35         | 8.16%          | 9.26% | 2.309            | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/09/2019 | 3548.00      | 127        | 0.30         | 8.16%          | 9.43% | 2.309            | 2.229 | 96.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/09/2019 | 3548.35      | 128        | 0.35         | 8.16%          | 9.49% | 2.309            | 2.212 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/09/2019 | 3548.70      | 129        | 0.35         | 8.16%          | 9.44% | 2.309            | 2.219 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/09/2019 | 3549.00      | 130        | 0.30         | 8.31%          | 9.66% | 2.313            | 2.213 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/09/2019 | 3549.35      | 131        | 0.35         | 8.31%          | 9.52% | 2.313            | 2.221 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/09/2019 | 3549.70      | 132        | 0.35         | 8.31%          | 9.71% | 2.313            | 2.221 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/09/2019 | 3550.00      | 133        | 0.30         | 8.31%          | 9.67% | 2.313            | 2.215 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/09/2019 | 3550.35      | 134        | 0.35         | 8.31%          | 9.46% | 2.313            | 2.260 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/06/19   | 3550.70      | 135        | 0.35         | 8.28%          | 9.36% | 2.311            | 2.210 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/09/2019 | 3551.00      | 136        | 0.30         | 8.28%          | 9.41% | 2.311            | 2.220 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/09/2019 | 3551.35      | 137        | 0.35         | 8.28%          | 9.50% | 2.311            | 2.227 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/09/2019 | 3551.70      | 138        | 0.35         | 8.28%          | 9.66% | 2.311            | 2.224 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm3) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------|------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo | Máxima           | Campo |                     |                          |         |
| 24/09/2019 | 3552.00      | 139        | 0.30         | 8.28%          | 9.55% | 2.311            | 2.228 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/09/2019 | 3552.35      | 140        | 0.35         | 7.97%          | 9.53% | 2.317            | 2.228 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/09/2019 | 3552.70      | 141        | 0.35         | 7.97%          | 9.41% | 2.317            | 2.235 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/09/2019 | 3553.00      | 142        | 0.30         | 7.97%          | 9.57% | 2.317            | 2.230 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/09/2019 | 3553.35      | 143        | 0.35         | 7.97%          | 9.93% | 2.317            | 2.231 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/10/2019 | 3553.70      | 144        | 0.35         | 7.97%          | 9.88% | 2.317            | 2.227 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 02/10/2019 | 3554.00      | 145        | 0.30         | 7.83%          | 9.68% | 2.334            | 2.230 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 03/10/2019 | 3554.35      | 146        | 0.35         | 7.83%          | 9.47% | 2.334            | 2.244 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 04/10/2019 | 3554.70      | 147        | 0.35         | 7.83%          | 9.67% | 2.334            | 2.234 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 05/10/2019 | 3555.00      | 148        | 0.30         | 7.83%          | 9.54% | 2.334            | 2.244 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 05/10/2019 | 3555.35      | 149        | 0.35         | 7.83%          | 9.69% | 2.334            | 2.24  | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/10/2019 | 3555.70      | 150        | 0.35         | 7.86%          | 9.60% | 2.332            | 2.23  | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/10/2019 | 3556.00      | 151        | 0.30         | 7.86%          | 9.72% | 2.332            | 2.231 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/10/2019 | 3556.35      | 152        | 0.35         | 7.86%          | 9.72% | 2.332            | 2.247 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/10/2019 | 3556.70      | 153        | 0.35         | 7.86%          | 9.44% | 2.332            | 2.247 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/10/2019 | 3557.00      | 154        | 0.30         | 7.86%          | 9.58% | 2.332            | 2.243 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/10/2019 | 3557.35      | 155        | 0.35         | 8.34%          | 9.63% | 2.306            | 2.212 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/10/2019 | 3557.70      | 156        | 0.35         | 8.34%          | 9.50% | 2.306            | 2.209 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/10/2019 | 3558.00      | 157        | 0.30         | 8.34%          | 9.92% | 2.306            | 2.212 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/10/2019 | 3558.35      | 158        | 0.35         | 8.34%          | 9.71% | 2.306            | 2.217 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/10/2019 | 3558.70      | 159        | 0.35         | 8.34%          | 9.55% | 2.306            | 2.215 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/10/2019 | 3559.00      | 160        | 0.30         | 8.28%          | 9.49% | 2.317            | 2.226 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/10/2019 | 3559.35      | 161        | 0.35         | 8.28%          | 9.95% | 2.317            | 2.216 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/10/2019 | 3559.70      | 162        | 0.35         | 8.28%          | 9.61% | 2.317            | 2.243 | 96.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/10/2019 | 3560.00      | 163        | 0.30         | 8.28%          | 9.61% | 2.317            | 2.228 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/10/2019 | 3560.35      | 164        | 0.35         | 8.28%          | 9.75% | 2.317            | 2.226 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/10/2019 | 3560.70      | 165        | 0.35         | 8.27%          | 9.48% | 2.319            | 2.227 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/10/2019 | 3561.00      | 166        | 0.30         | 8.27%          | 9.66% | 2.319            | 2.219 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm3) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima           | Campo |                     |                          |         |
| 24/10/2019 | 3561.35      | 167        | 0.35         | 8.27%          | 9.53%  | 2.319            | 2.224 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/10/2019 | 3561.70      | 168        | 0.35         | 8.27%          | 9.54%  | 2.319            | 2.228 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/10/2019 | 3562.00      | 169        | 0.30         | 8.27%          | 9.57%  | 2.319            | 2.235 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/10/2019 | 3562.35      | 170        | 0.35         | 8.23%          | 9.58%  | 2.317            | 2.223 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 29/10/2019 | 3562.70      | 171        | 0.35         | 8.23%          | 10.04% | 2.317            | 2.227 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/10/2019 | 3563.00      | 172        | 0.30         | 8.23%          | 9.98%  | 2.317            | 2.222 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 31/10/2019 | 3563.35      | 173        | 0.35         | 8.23%          | 9.80%  | 2.317            | 2.229 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/11/2019 | 3563.70      | 174        | 0.35         | 8.23%          | 9.64%  | 2.317            | 2.233 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/11/2019 | 3564.00      | 175        | 0.30         | 8.26%          | 9.61%  | 2.307            | 2.218 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 02/11/2019 | 3564.35      | 176        | 0.35         | 8.26%          | 9.69%  | 2.307            | 2.214 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 03/11/2019 | 3564.70      | 177        | 0.35         | 8.26%          | 10.06% | 2.307            | 2.21  | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 04/11/2020 | 3565.00      | 178        | 0.30         | 8.26%          | 9.87%  | 2.307            | 2.222 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/11/2019 | 3565.35      | 179        | 0.35         | 8.26%          | 9.83%  | 2.307            | 2.221 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/11/2019 | 3565.70      | 180        | 0.35         | 8.16%          | 9.71%  | 2.312            | 2.222 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/11/2019 | 3566.00      | 181        | 0.30         | 8.16%          | 9.61%  | 2.312            | 2.232 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/11/2019 | 3566.35      | 182        | 0.35         | 8.16%          | 9.90%  | 2.312            | 2.216 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/11/2019 | 3566.70      | 183        | 0.35         | 8.16%          | 10.03% | 2.312            | 2.212 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/11/2019 | 3567.00      | 184        | 0.30         | 8.16%          | 9.87%  | 2.312            | 2.217 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/11/2019 | 3567.35      | 185        | 0.35         | 8.06%          | 9.62%  | 2.315            | 2.231 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/11/2019 | 3567.70      | 186        | 0.35         | 8.06%          | 9.67%  | 2.315            | 2.230 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/11/2019 | 3568.00      | 187        | 0.30         | 8.06%          | 9.60%  | 2.315            | 2.227 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/11/2019 | 3568.35      | 188        | 0.35         | 8.06%          | 9.66%  | 2.315            | 2.227 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/11/2019 | 3568.70      | 189        | 0.35         | 8.06%          | 9.79%  | 2.315            | 2.238 | 96.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/11/2019 | 3569.00      | 190        | 0.30         | 8.30%          | 9.75%  | 2.315            | 2.229 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/11/2019 | 3569.35      | 191        | 0.35         | 8.30%          | 9.75%  | 2.315            | 2.229 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 29/11/2019 | 3569.70      | 192        | 0.35         | 8.30%          | 9.33%  | 2.315            | 2.221 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/11/2019 | 3570.00      | 193        | 0.30         | 8.30%          | 9.92%  | 2.315            | 2.217 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 02/12/2019 | 3570.35      | 194        | 0.35         | 8.30%          | 9.57%  | 2.315            | 2.226 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 08/12/2019 | 3570.70      | 195        | 0.35         | 8.32%          | 10.14% | 2.309                         | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/12/2019 | 3571.00      | 196        | 0.30         | 8.32%          | 10.10% | 2.309                         | 2.202 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/12/2019 | 3571.35      | 197        | 0.35         | 8.32%          | 10.17% | 2.309                         | 2.198 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/12/2019 | 3571.70      | 198        | 0.35         | 8.32%          | 10.16% | 2.309                         | 2.198 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/12/2019 | 3572.00      | 199        | 0.30         | 8.32%          | 10.17% | 2.309                         | 2.202 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/12/2019 | 3572.35      | 200        | 0.35         | 8.23%          | 9.96%  | 2.309                         | 2.247 | 97.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/12/2019 | 3572.70      | 201        | 0.35         | 8.23%          | 9.84%  | 2.309                         | 2.237 | 96.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/12/2019 | 3573.00      | 202        | 0.30         | 8.23%          | 9.54%  | 2.309                         | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/12/2019 | 3573.35      | 203        | 0.35         | 8.23%          | 9.68%  | 2.309                         | 2.206 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/12/2019 | 3573.70      | 204        | 0.35         | 8.23%          | 9.58%  | 2.309                         | 2.214 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/12/2019 | 3574.00      | 205        | 0.30         | 8.53%          | 9.58%  | 2.319                         | 2.223 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/12/2019 | 3574.35      | 206        | 0.35         | 8.53%          | 9.61%  | 2.319                         | 2.229 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

Fuente: Informe CQA - SRK - Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

Se realizará una evaluación de los procesos de ensayos con el objetivo de evaluar la variabilidad de los valores respecto a lo indicado en las especificaciones técnicas, para ello se ha realizado un análisis estadístico de los resultados obtenidos más importantes como la humedad, densidad y grado de compactación para ello se usarán los siguientes parámetros:

Índice de capacidad del proceso para un nivel de confianza del 95%.

$$Cp = \frac{LCS - LCI}{3.92 \times S}$$

1.33 ≤ Cp → Satisfactorio

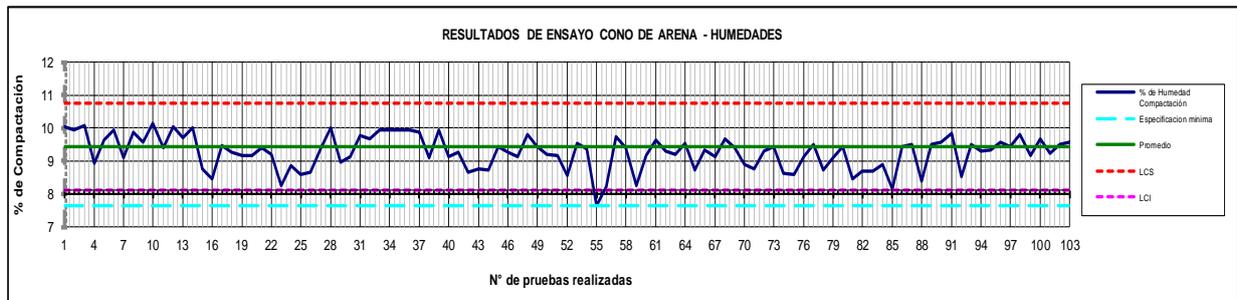
1.00 ≤ Cp ≤ 1.33 → Adecuado

Cp ≤ 1.00 → Inadecuado

**Tabla 6: Control de humedades (ensayo 01-206)**

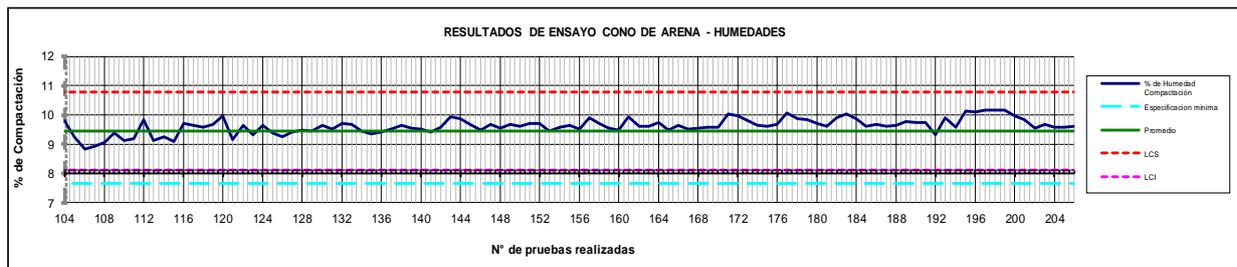
| <b>EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN EL MATERIAL DE MEZCLA</b> |       |
|--|-------|
| Pruebas Realizadas   | 206.0 |
| Promedio General   | 9.44  |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 7.65  |
| Máximo Resultado Obtenido  | 10.17 |
| Desviación Estándar (S)  | 0.44  |
| Coefficiente de Variabilidad   | 4.67  |
| Tolerancia   | -     |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 10.77 |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 8.12  |
| Índice de capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%                                   | 1.53  |

Fuente: SRK, 2019



**Figura 18 Control de humedades (ensayo del 01 al 103)**

Fuente: SRK, 2019



**Figura 19 Control de humedades (ensayo del 103 al 206)**

Fuente: SRK, 2019

**Tabla 7: Control de compactación (ensayo 01-206)**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE COMPACTACIÓN EN EL MATERIAL DE MEZCLA |       |
|---|-------|
| Pruebas Realizadas  | 206.0 |
| Promedio General  | 95.96 |
| Mínimo Resultado Obtenido   | 95.00 |
| Máximo Resultado Obtenido   | 97.30 |
| Desviación Estándar (S)   | 0.38  |
| Coefficiente de Variabilidad  | 0.40  |
| Tolerancia  | -     |
| Límite de Control Superior (LCS)  | 97.10 |
| Límite de Control Inferior (LCI)  | 94.82 |
| Índice de capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%            | 1.53  |

Fuente: SRK, 2019

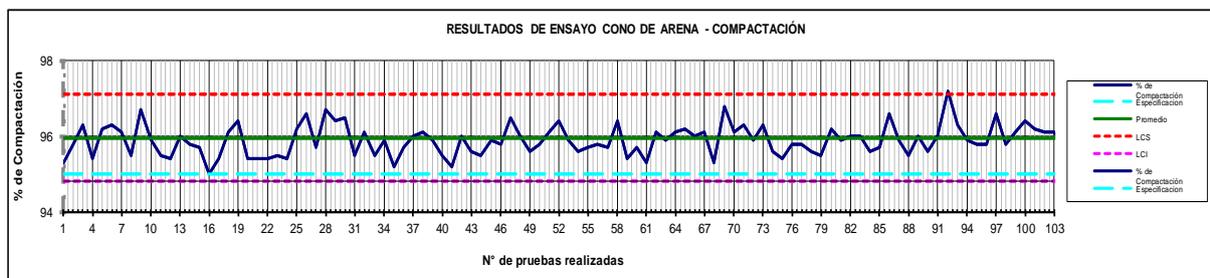


Figura 20 Control de compactación (ensayo del 001 al 103)

Fuente: SRK, 2019



Figura 21 Control de compactación (ensayo del 104 al 206)

Fuente: SRK, 2019

**Tabla 8: Control de densidades (ensayo 01-206)**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE DENSIDAD OBTENIDA EN CAMPOY DENSIDAD DE DISEÑO |       |
|--|-------|
| Pruebas Realizadas   | 206.0 |
| Promedio General   | 2.218 |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 2.181 |
| Máximo Resultado Obtenido  | 2.250 |
| Desviación Estándar (S)  | 0.01  |
| Coefficiente de Variabilidad   | 0.54  |
| Tolerancia   | -     |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 2.25  |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 2.18  |
| Índice de capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%                     | 1.53  |

Fuente: SRK, 2019

Se realizaron 206 ensayos, pero para efectos de visualizar mejor los resultados se dividió en dos grupos de 103 ensayos.

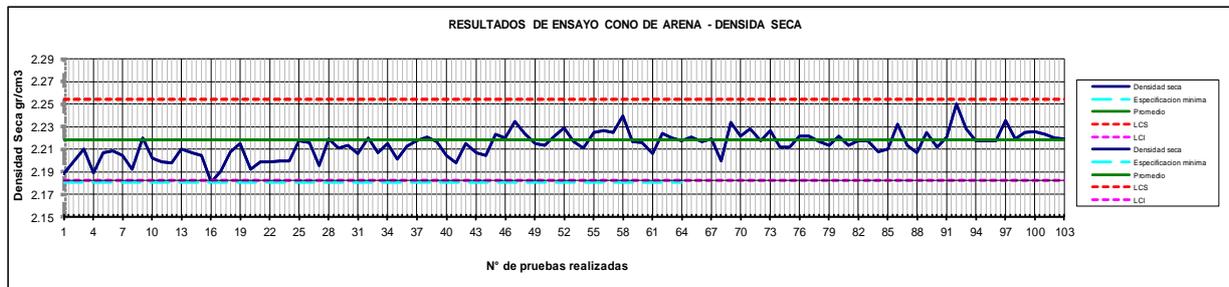


Figura 22 Control de compactación (ensayo del 001 al 103)

Fuente: SRK, 2019

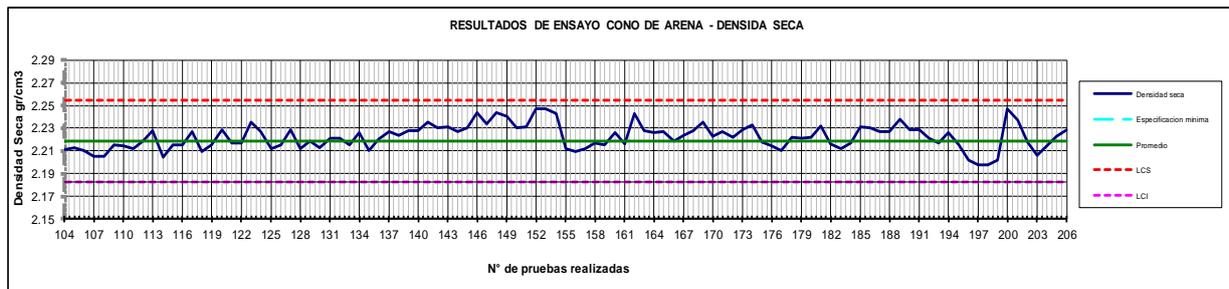


Figura 23 Control de compactación (ensayo del 104 al 206)

Fuente: SRK, 2019

## Control de concreto durante la construcción de las obras de arte:

De acuerdo al plan de control de calidad del concreto, se elaboraron 40 muestras durante los trabajos de construcción de las estructuras siguientes:

- Canal de coronación 1.
- Rápida 1.
- Alcantarilla de cruce de accesos.
- Cajas de cambio de dirección y cajas disipadoras.

El principal parámetro de medición que define la calidad del concreto es el de la resistencia a la compresión, estos resultados superan la resistencia a la compresión de 245 kg/cm<sup>2</sup>, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto**

| N° | FECHA DE OBTENCIÓN | ESTRUCTURA  | AREA (CM2) | CARGA DE ROTURA (kg) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 7 DÍAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 14 DÍAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DÍAS (kg/cm2) |
|----|--------------------|---|------------|----------------------|---|--|--|
| 01 | 17/02/2019         | Rápida 01 - losa y muro   | 180.27     | 58070.0              | 222.0                                       | 240.0  | 332.0  |
| 02 | 24/02/2019         | Canal de Coronación 01 caja de salida para alcantarillado - Losa  | 180.27     | 56991.5              | 232.0                                       | 276.0  | 316.0  |
| 03 | 25/02/2019         | Canal de Coronación 01 Caja de Salida para Alcantarillado - Muro  | 179.08     | 56470.0              | 238.0                                       | 286.0  | 315.0  |
| 04 | 26/02/2019         | Canal de Coronación 01 cantarilla y caja de salida Losa y Muro    | 180.86     | 73330.0              | 308.0                                       | 354.0  | 405.0  |
| 05 | 28/02/2019         | Canal de Coronación 01 caja de entrega para alcantarillado - Losa | 179.67     | 73330.0              | 270.0                                       | 318.0  | 408.0  |
| 06 | 01/03/2019         | Canal de Coronación 01 caja de entrega para alcantarillado - Muro | 180.86     | 68760.0              | 239.0                                       | 306.0  | 380.0  |
| 07 | 08/03/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 181.46     | 68525.0              | 232.0                                       | 312.0  | 378.0  |
| 08 | 14/03/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 179.67     | 71020.0              | 221.0                                       | 324.0  | 395.0  |
| 09 | 23/03/2019         | Rápida 01 - losa  | 181.58     | 61490.0              | 193.0                                       | 271.0  | 339.0  |
| 10 | 25/03/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 181.46     | 66920.0              | 205.0                                       | 269.0  | 369.0  |
| 11 | 27/03/2019         | Rápida 01 - Muro  | 178.84     | 59975.0              | 202.0                                       | 251.0  | 335.0  |
| 12 | 30/03/2019         | Rápida 01 - losa  | 178.08     | 59965.0              | 207.0                                       | 264.0  | 335.0  |

| N° | FECHA DE OBTENCIÓN | ESTRUCTURA   | AREA (CM2) | CARGA DE ROTURA (kg) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 7 DÍAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 14 DÍAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DÍAS (kg/cm2) |
|----|--------------------|--|------------|----------------------|---|--|--|
| 13 | 31/03/2019         | Rápida 01Caja disipador - losa                             | 179.50     | 61302.0              | 220.0                                       | 275.0  | 342.0  |
| 14 | 01/04/2019         | Rápida 01 - Muro   | 179.67     | 66217.0              | 224.0                                       | 299.0  | 369.0  |
| 15 | 03/04/2019         | Rápida 01 - losa   | 179.67     | 65810.0              | 215.0                                       | 312.0  | 366.0  |
| 16 | 07/04/2019         | Rápida 01 - Muro   | 178.49     | 65755.0              | 227.0                                       | 297.0  | 368.0  |
| 17 | 08/04/2019         | Rápida 01 - Muro   | 180.27     | 68640.0              | 228.0                                       | 290.0  | 381.0  |
| 18 | 12/04/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                       | 180.27     | 69150.0              | 239.0                                       | 294.0  | 384.0  |
| 19 | 14/04/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                       | 181.46     | 67735.0              | 189.0                                       | 265.0  | 373.0  |
| 20 | 08/04/2019         | Rápida 01 - Muro   | 180.86     | 69105.0              | 228.0                                       | 281.0  | 382.0  |
| 21 | 20/04/2019         | Rápida 01 - losa   | 180.86     | 69535.0              | 210.0                                       | 280.0  | 384.0  |
| 22 | 22/04/2019         | Rápida 01 - losa   | 180.27     | 54123.0              | 212.0                                       | 290.0  | 300.0  |
| 23 | 24/04/2019         | Rápida 01 - Muro   | 179.08     | 54323.0              | 223.0                                       | 279.0  | 303.0  |
| 24 | 26/04/2019         | Rápida 01 - Muro   | 181.46     | 55523.0              | 206.0                                       | 283.0  | 306.0  |
| 25 | 25/08/2019         | Rápida 01 techo  | 180.86     | 46490.0              | 177.0                                       | 234.0  | 257.0  |
| 26 | 02/10/2019         | Construcción de alcantarilla de la rápida 01 Losa          | 180.86     | 45525.0              | 186.0                                       | 232.0  | 252.0  |
| 27 | 04/10/2019         | Construcción de alcantarilla de la rápida 01 - Cuerpo      | 177.90     | 44740.0              | 190.0                                       | 227.0  | 251.0  |
| 28 | 19/10/2019         | Construcción de la caja de desvío de la rápida 01 - Cuerpo | 179.67     | 45445.0              | 178.0                                       | 232.0  | 253.0  |
| 29 | 22/10/2019         | Construcción de la rápida 01 - Losa                        | 179.67     | 45295.0              | 174.0                                       | 231.0  | 252.0  |
| 30 | 23/10/2019         | Construcción de la rápida 01 - Muro                        | 179.08     | 45395.0              | 164.0                                       | 233.0  | 253.0  |
| 31 | 01/11/2019         | Construcción de la rápida 01 - Losa                        | 179.67     | 45685.0              | 184.0                                       | 235.0  | 254.0  |
| 32 | 05/11/2019         | Caja disipadora 0+749.74 de la rápida 01 - Muro            | 178.49     | 46140.0              | 189.0                                       | 231.0  | 259.0  |
| 33 | 06/11/2019         | Caja disipadora 0+749.74 de la rápida 01 - Techo           | 180.27     | 49020.0              | 186.0                                       | 230.0  | 272.0  |
| 34 | 07/11/2019         | Rápida 01 - Losa   | 182.06     | 48200.0              | 194.0                                       | 233.0  | 265.0  |
| 35 | 11/11/2019         | Rápida 01 - Muro   | 180.27     | 48030.0              | 197.0                                       | 239.0  | 266.0  |

Fuente: SRK, 2019

Se ha realizado un análisis estadístico de los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión en el concreto.

Índice de capacidad del proceso para un nivel de confianza del 95%.

$$Cp = \frac{LCS-LCI}{3.92xS}$$

- $1.33 \leq Cp$        $\longrightarrow$       Satisfactorio  
 $1.00 \leq Cp \leq 1.33$        $\longrightarrow$       Adecuado  
 $Cp \leq 1.00$        $\longrightarrow$       Inadecuado

**Tabla 10: Control a la compresión del concreto – 7 días**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION – 7 DIAS |        |
|--|--------|
| Pruebas Realizadas   | 35.0   |
| Promedio General   | 211.69 |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 164.00 |
| Máximo Resultado Obtenido  | 308.00 |
| Desviación Estándar (S)  | 28.54  |
| Coficiente de Variabilidad   | 13.48  |
| Tolerancia   | -      |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 297.31 |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 126.06 |
| Índice de capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%           | 1.53   |

Fuente: SRK, 2019

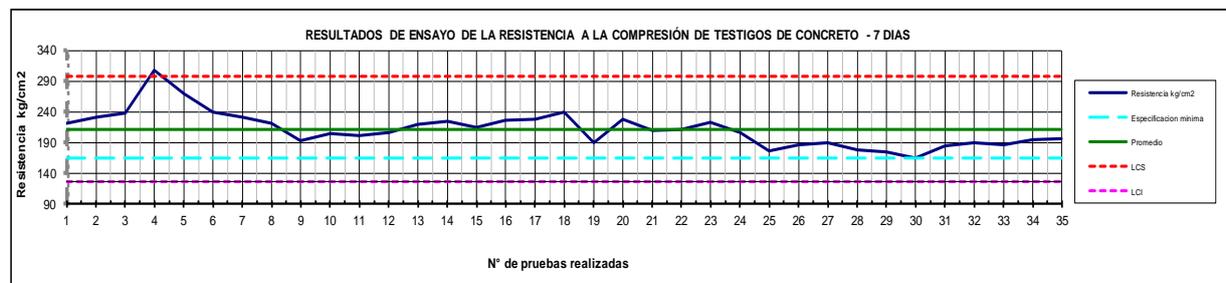


Figura 24 Control a la resistencia a la compresión del concreto – 7 días.

Fuente: SRK, 2019

**Tabla 11: Control a la compresión del concreto – 14 días**

| <b>EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION – 14 DIAS</b> |        |
|--|--------|
| Pruebas Realizadas   | 35.0   |
| Promedio General   | 270.66 |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 227.00 |
| Máximo Resultado Obtenido  | 354.00 |
| Desviación Estándar (S)  | 33.32  |
| Coefficiente de Variabilidad   | 12.31  |
| Tolerancia   | -      |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 370.61 |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 170.70 |
| Índice de capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%                   | 1.53   |

Fuente: SRK, 2019

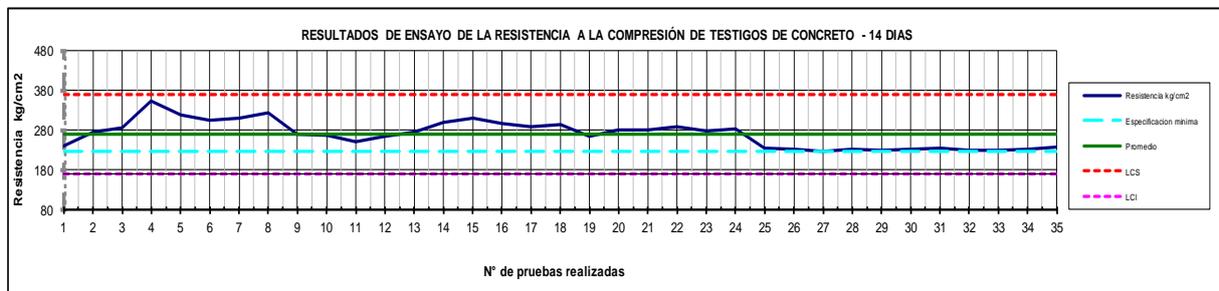


Figura 25 Control a la resistencia a la compresión del concreto – 14 días.

Fuente: SRK, 2019

**Tabla 12: Control a la compresión del concreto – 28 días**

| <b>EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION – 28 DIAS</b> |        |
|--|--------|
| Pruebas Realizadas   | 35.0   |
| Promedio General   | 325.69 |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 251.00 |
| Máximo Resultado Obtenido  | 408.00 |
| Desviación Estándar (S)  | 54.19  |
| Coefficiente de Variabilidad   | 16.64  |
| Tolerancia   | -      |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 488.27 |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 163.10 |
| Índice de capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%                   | 1.53   |

Fuente: SRK, 2019

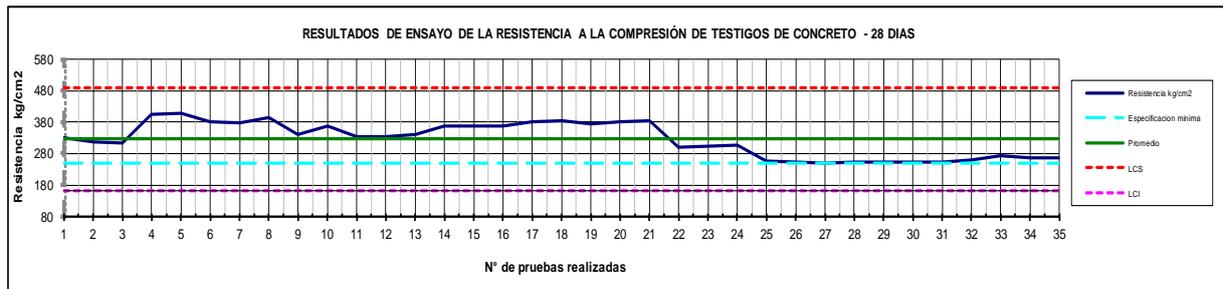


Figura 26 Control a la resistencia a la compresión del concreto – 28 días.

Fuente: SRK, 2019

Los resultados obtenidos en la figura 26 indican que los valores de resistencia a la compresión son mayores a la resistencia de 245 kg/cm<sup>2</sup>.

## **4.2 Tratamiento y optimización de mezcla**

En base a la experiencia obtenida durante la construcción del depósito se puede mencionar lo siguiente:

La planta de beneficio emite diariamente material de relave, este material es colocado en canchas o parcelas de secado de contingencia situadas en las cercanías de la planta, esto debido a que en temporadas de lluvias las actividades de transporte y compactación en el depósito de relaves se reducen.

En temporadas secas la prioridad de transporte de relaves es en las canchas de secado temporal, este material es trasladado hacia la zona de secado cercana al depósito.

El tratamiento y manejo de estos relaves es de suma importancia debido a que se trata de un material contaminante, por lo que debe ser trasladado evitando derrames y caídas. El personal que controla los equipos y distribuye la colocación de material de relave en la zona de secado deberá estar capacitado en la labor y usar en todo momento sus elementos de protección, primordialmente el respirador.

Las actividades primordiales para lograr optimizar la mezcla el cual es el material principal en la construcción del cuerpo o vaso de almacenamiento son los siguientes:

En horas de lluvia el material de préstamo con la humedad óptima para mezclar (“préstamo seco”) deberá ser protegido con mantas de pvc y agrupado en conos.

Bajo las mismas condiciones climáticas el material mezclado y en estado óptimo de humedad deberá ser protegido con mantas de pvc.

Después de las horas de lluvia se deberá inspeccionar y evaluar el estado de los accesos y se realizarán labores de mantenimiento según sea necesario.

La actividad de retiro de material suelto y material orgánico en la zona del vaso de almacenamiento se realiza en coordinación con las labores de transporte y compactado de material de mezcla.

Una manera de optimizar estas dos labores después de las lluvias, es el de hacer labores en paralelo mientras se realiza el mantenimiento y secado de material de relave y préstamo se realiza el desbroce y retiro de material suelto, del mismo modo la construcción de nuevos accesos. Esta forma de ejecutar las actividades permite tener el vaso de almacenamiento listo para seguir compactando.

Para optimizar la explotación y obtención de material de préstamo en la cantera autorizada y reducir los tiempos de transporte a la zona de mezclado se realiza el mantenimiento de la vía de acceso, se adiciona equipos como martillos hidráulicos para realizar la explotación en bancos de manera eficiente en la cantera.

En material suelto que se retira de los taludes rocosos del vaso de almacenamiento (lado derecho e izquierdo) produce material gravoso que mezclado con el material de préstamo y relave contiene características que cumplen como material de mezcla autorizado logrando incrementar el material de préstamo óptimo y reduciendo el transporte de material desde la cantera hacia la zona de mezcla.

El material de desbroce a retirar de la zona del vaso de almacenamiento posee rocas de tamaño aprovechable para el pedraplén, estos son trasladados a zona de acopio de roca. Este material también es aprovechado para reparación de vías de acceso ante las intensas lluvias.

En años anteriores al 2019 también se uso para el secado de relave de forma rápida y eficiente el uso de cal para disminuir la humedad del relave, según los ensayos

realizados en esa época se indica que se pudo reducir en el rango 1 a 1.5% la humedad del relave, estos procedimientos generan un incremento en el presupuesto inicial, así que implementar el uso de cal en la mezcla debe ser evaluado económicamente antes de aprobar su uso.

En temporada seca el riego de las vías para mitigar la emisión de polvo o material particulado es fundamental debido a posibles conflictos y molestias con las comunidades cercanas a la labor.

Reducir los tiempos de ensayos de campo para verificar el cumplimiento de las propiedades y características geotécnicas del material compactado (aprobar una capa) es fundamental, porque en ese momento los equipos de transporte (volquetes) deberán distribuirse a otras actividades como traslado de material de préstamo o relave, y algunos equipos se detienen.

Para un área promedio de 800 m<sup>2</sup> este tiempo de ensayos realizados en la capa compactada puede demorar entre 30 a 50 minutos.

#### **4.3 Estabilidad física - Presentación de modelos numéricos del depósito de relaves usando el programa Slide.v6. 005**

El factor de seguridad para la estabilidad física del depósito son los siguientes:

- Factor de seguridad en condiciones estáticas: 1.5.
- Factor de seguridad mínimo para condiciones pseudo-estáticas de cierre: 1.0.

El estudio de peligro geológico de la quebrada concluye que la zona es de baja peligrosidad. En las laderas afloran rocas y los depósitos superficiales son delgados, así mismo se tiene que estas son estables y no se ha encontrado evidencias de procesos geodinámicos antiguos.

La estabilidad a corto plazo y largo plazo del depósito de relaves está relacionada con los posibles eventos sísmicos y máximas avenidas que pueden ocurrir durante la operación y construcción del depósito, así como en la etapa de cierre, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) establece que un diseño de depósito de relaves debe emplearse un evento sísmico con periodo de retorno de 475 años y avenida máxima probable con periodo de retorno de 500 años.

El estudio de peligro sísmico realizado para este depósito ha determinado una aceleración sísmica máxima de 0.34g para un periodo de retorno de 475 años.

El estudio de peligro geológico de la quebrada concluye que la zona es de baja peligrosidad. En las laderas afloran rocas y los depósitos superficiales son delgados, así mismo se tiene que estas son estables y no se ha encontrado evidencias de procesos geodinámicos antiguos.

El nivel freático es uno de los factores que afectan la estabilidad del depósito si este cubre el cuerpo del depósito genera reducción en las propiedades en condiciones no drenadas de los materiales compactados. Para el control del nivel freático se zonificó

la zona de cimentación con filtros de subdrenaje cubiertas con mantas de geomembrana, los flujos son captados por los filtros transportándolos hacia pozas de control para una entrega final hacia la quebrada cercana (Doña Cata)

El dique de contención se separa del vaso mediante un sistema de impermeabilización en el talud aguas arriba lo que asegura que cualquier aumento en la presión de poros no se transmita al dique. Los flujos superficiales serán captados con el sistema hidráulico (sistema de drenaje) construido sobre el depósito.

La seguridad física y química de la relavera está relacionada con su estabilidad física, hidrológica y química. Los taludes del depósito se han diseñado con métodos estáticos y pseudo-estático y será capaz de soportar una aceleración sísmica máxima de 0.34g.

#### Modelamiento Geomecánico

En la siguiente tabla se muestra los comportamientos y parámetros de resistencia de los materiales que conforman el proyecto: cimentación dique y vaso de almacenamiento (material mezclado relave- préstamo)

**Tabla 13 Valores y parámetros considerados para el modelamiento del depósito**

| Material   | Comportamiento | $\gamma$<br>kN/m <sup>3</sup> | Cohesión c<br>(kPa) | Angulo de fricción<br>$\phi$ |
|--|----------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Vaso de Almacenamiento<br>Grava Arcillosa mezclado con relaves (1:3), Compactado | Drenado        | 20                            | 30                  | 31                           |
| Dique - Enrocado   | Drenado        | 22                            | 0                   | 44                           |
| Cimentación -Roca meteorizada  | Drenado        | 22                            | 250                 | 40                           |

Fuente: Diseño Geotécnico - Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

## **Geometría del depósito de relaves**

Se divide en dos elementos estructurales:

Dique (pedraplén) y Vaso de almacenamiento (depósito o cuerpo)

### Dique (3530 msnm)

El dique de contención será construido con material rocoso y presenta las siguientes características:

Cota de corona: 3530 msnm

Ancho de corona: 6m

Longitud de corona: 110m

Talud aguas arriba: 1.5: 1 (H:V)

Talud aguas abajo: 1.5:1 (H: V)

Volumen de enrocado: 164 543 m<sup>3</sup>

Volumen de material de filtro tipo 1: 2 356 m<sup>3</sup>

Volumen de material de filtro tipo 2: 2 356 m<sup>3</sup>

### Depósito o vaso de almacenamiento

Las características para el depósito son las siguientes:

Cota de plataforma superior 3610 msnm

Ancho de plataforma: variable

Longitud de plataforma: 270 m

Altura Máxima 83 m

Talud aguas abajo: 1.75:1 (H: V)

Volumen de almacenamiento: 1 608 684 m<sup>3</sup>

## Resultados de los análisis de estabilidad usando programa de elementos finitos.

### Condiciones Estáticas:

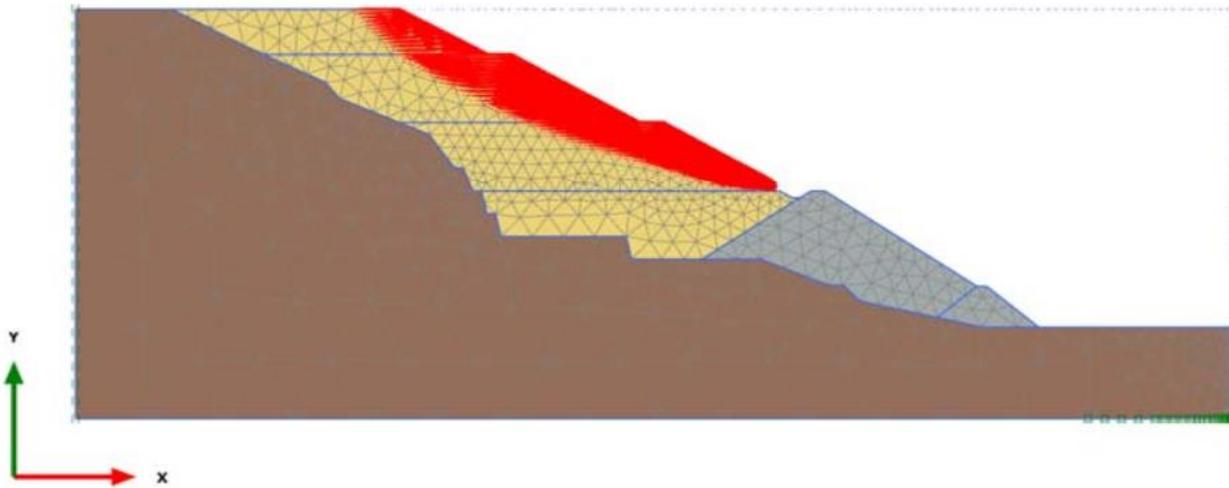


Figura 27 Modelamiento de depósito – sección transversal

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.

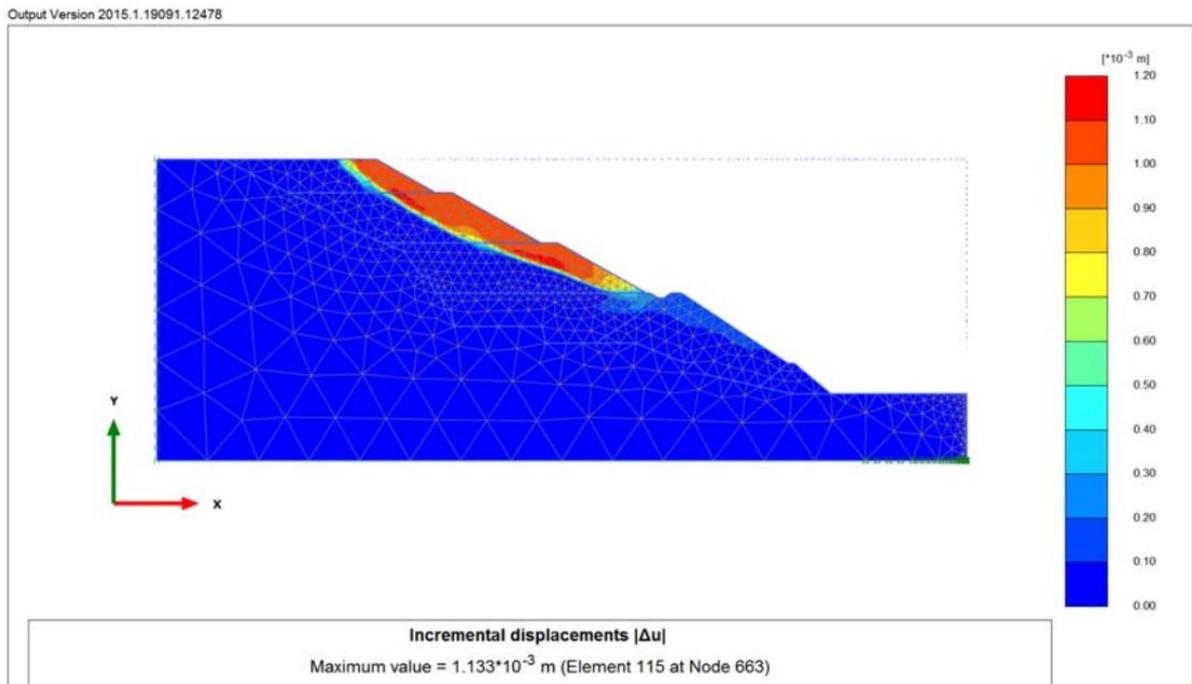


Figura 28 Desplazamiento incremental – sección transversal

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.

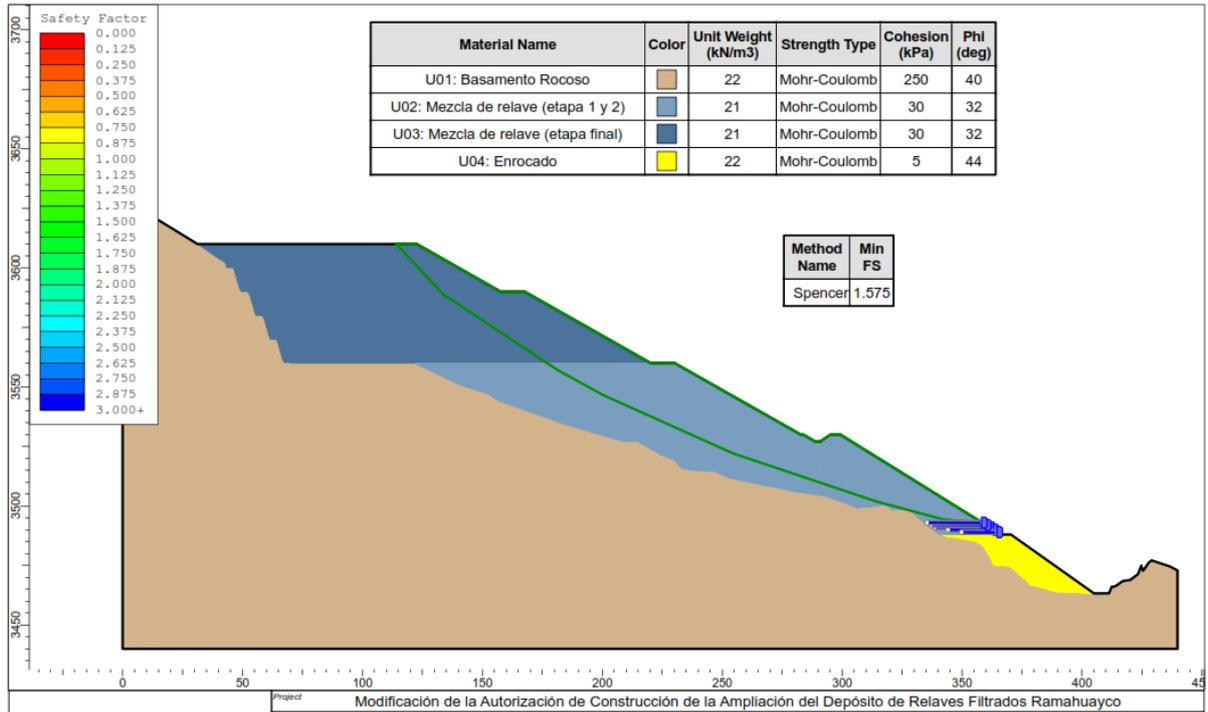
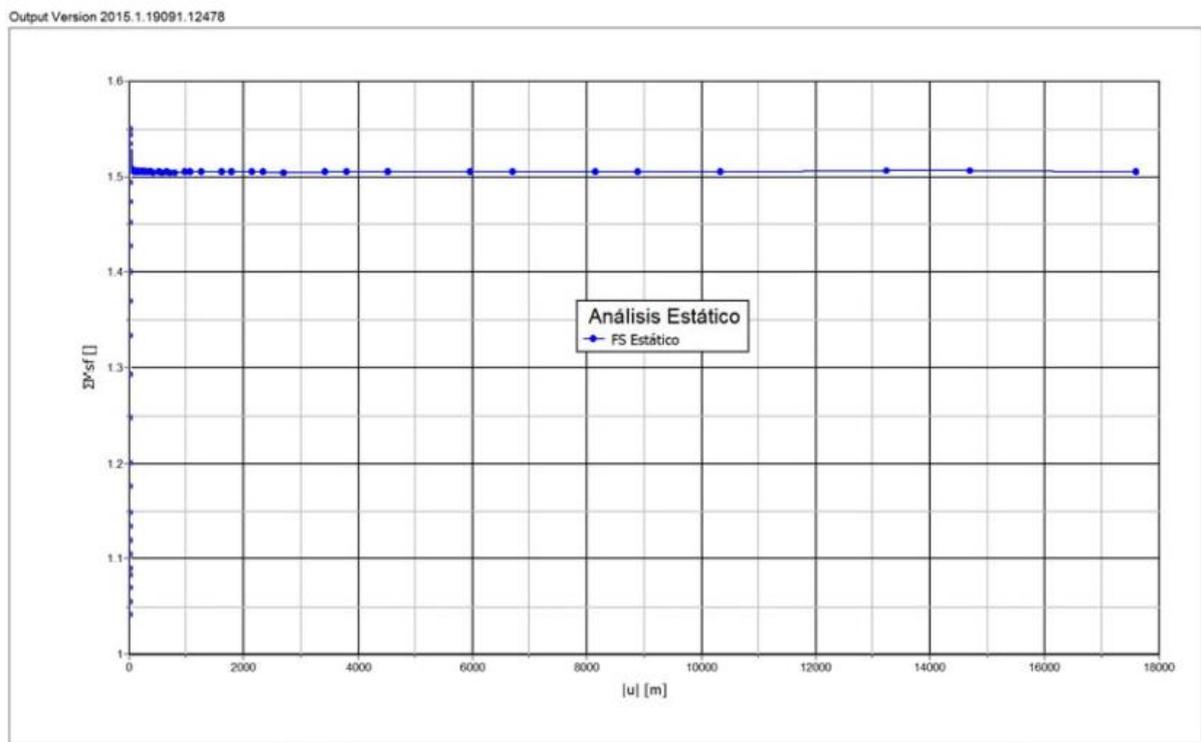


Figura 29 Análisis estático- sección transversal

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.



**FS= 1.51 (estático)**

Figura 30 Factor de seguridad -Condiciones estáticas

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.

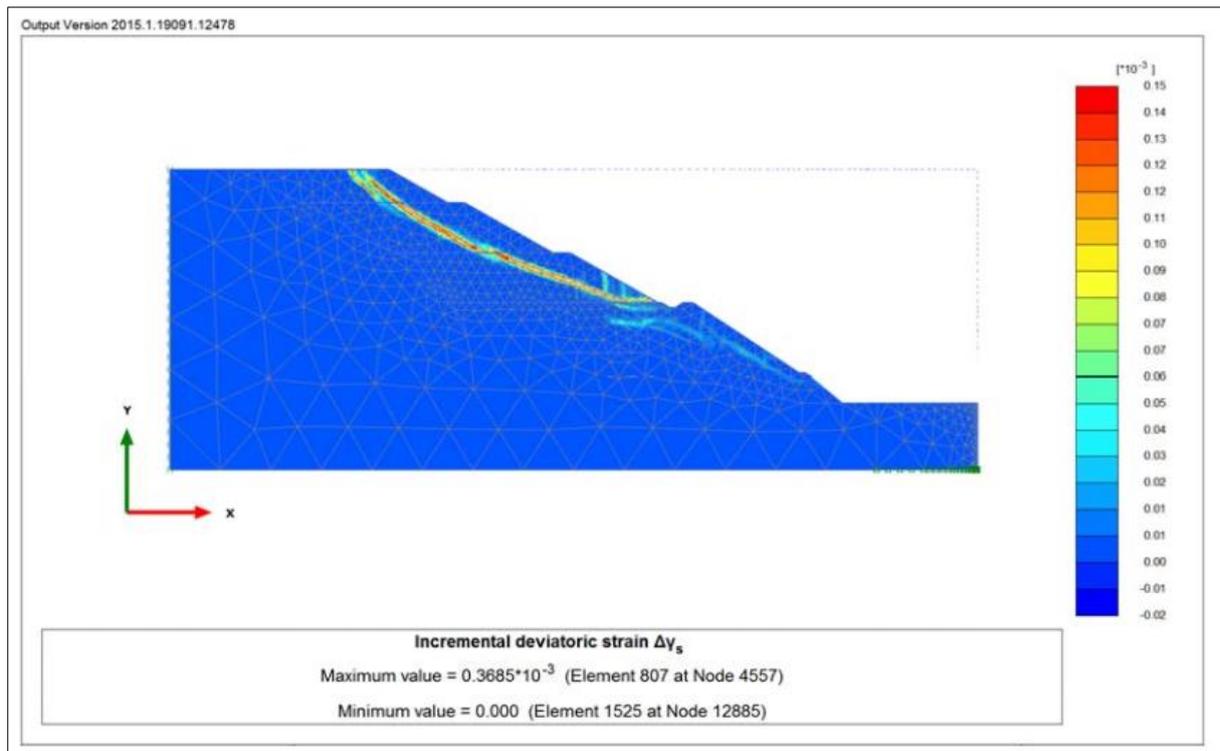


Figura 31 Incremento en la desviación de esfuerzos– sección transversal

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.

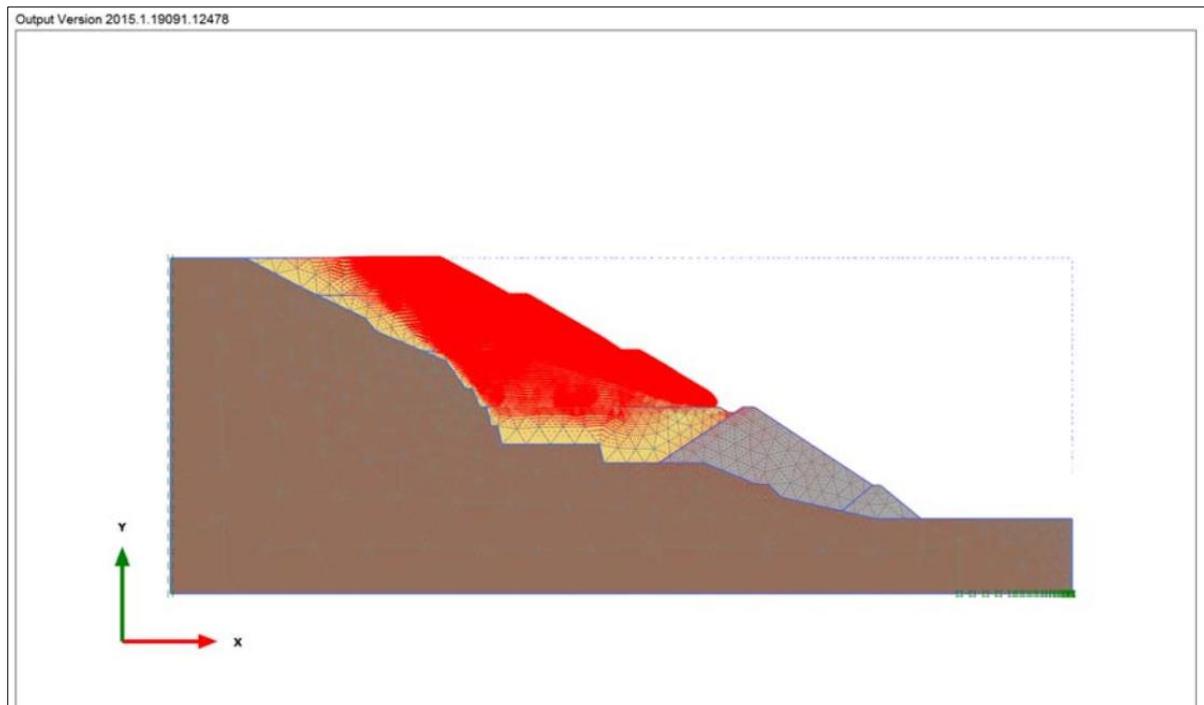
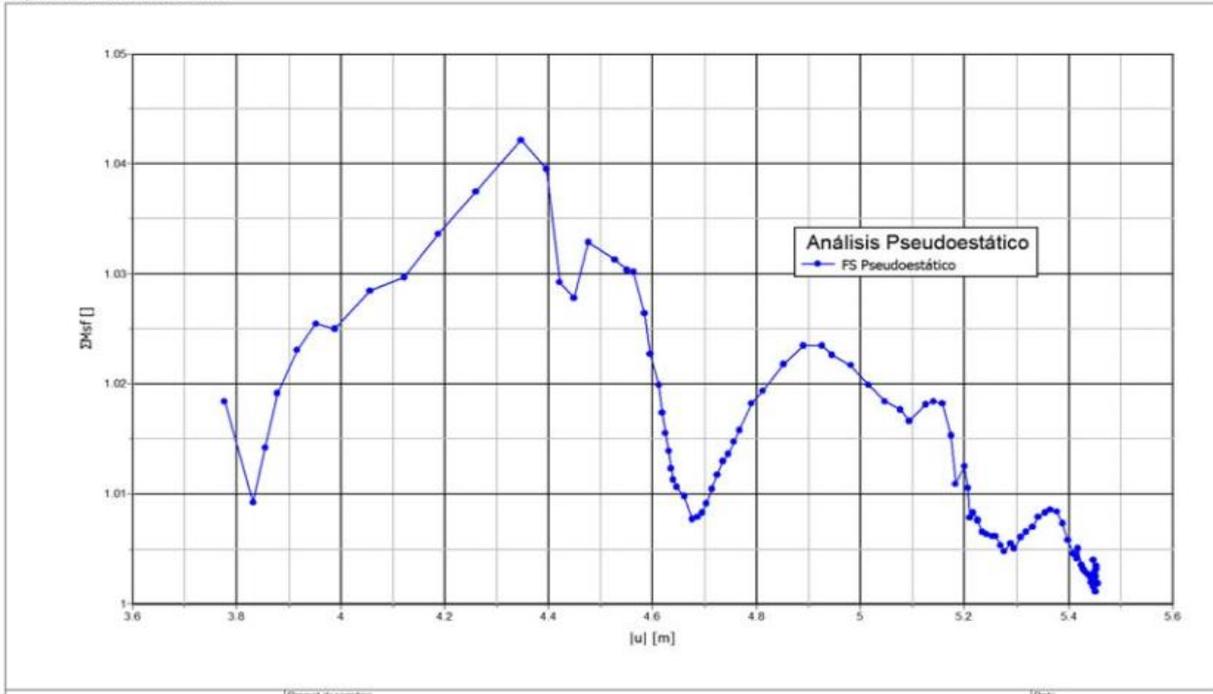


Figura 32 Análisis pseudo-estático– sección transversal

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.



**FS= 1.00 (pseudoestático)**

Figura 33 Factor de seguridad -Condiciones estáticas

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.

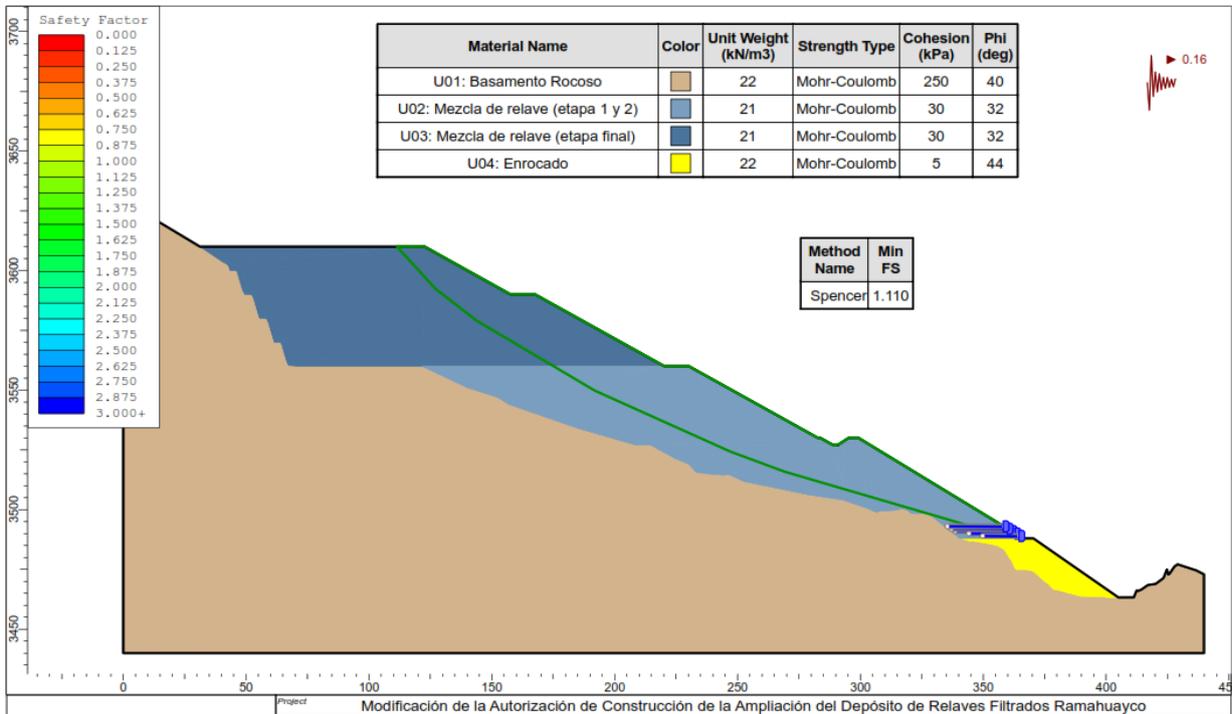


Figura 34 Análisis pseudo-estático- sección transversal

Fuente: Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco, Análisis de estabilidad.

#### 4.4 Medidas de Control durante la construcción

Como resultado de la experiencia obtenida durante las labores durante la construcción del depósito se mencionan las medidas de control más importantes:

- Máximo contenido de finos en el relave de 65% bajo la malla N°200, en un rango de 60 a 65% de finos.

Si un volumen relave llega a la plataforma de secado con más del 65% de finos el tiempo de secado de este material se incrementará debido a la dificultad en la separación y evaporación del agua del material sólido.

- Contenido de sólidos en relave debe ser como mínimo 88% o su equivalente en agua de 16%, rango de sólidos entre 88 y 89%.

Con estos porcentajes de partículas sólidas en el relave aseguramos el traslado y la trabajabilidad del material con equipos mecánicos.

- Mezcla de relave y material de préstamo deberá ser homogénea de preferencia en plantas de mezclado.

Las plantas de mezclado nos brindan condiciones para desarrollar una mezcla uniforme entre el material de relave y material de préstamo además que facilita la supervisión y monitoreo de los volúmenes en la mezcla.

- Los relaves mezclados deben ser compactados a una humedad máxima de compactación de 12%.

El resultado de los ensayos Proctor modificado nos indican una curva donde se indica la máxima densidad y el porcentaje de humedad máxima en la mezcla.

- Densidad mínima de compactación debe ser del 95% del Proctor Modificado o una densidad seca mínima de  $2.10 \text{ t/m}^3$ , la que sea mayor.

Los valores obtenidos durante los ensayos en la plataforma de compactación deberán ser similares o algo mayores a los parámetros de densidad considerados

en el diseño del depósito y los modelos numéricos que aseguran un factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudo estáticas.

Es decir que el grado de compactación obtenido con el ensayo Próctor Modificado deberá ser mayor o igual al 95% y la densidad seca en  $2.10 \text{ t/m}^3$ .

- Las plataformas de construcción de relaves filtrados deben tener una pendiente uniforme de 1% como mínimo hacia el interior del vaso, captando el flujo sobre la plataforma mediante filtros.

Este porcentaje es importante para evitar que el agua de lluvia se almacene en la plataforma de compactado (generándose pequeñas pozas) y se pueda direccionar estas aguas hacia los lados izquierdo y derecho del cuerpo o vaso de almacenamiento donde se tienen cunetas temporales que llevan las aguas hacia pozas temporales aguas abajo.

- En los controles anuales del depósito de relaves se debe verificar la densidad y humedad en profundidad del depósito de relaves, de forma que estos valores se encuentren en los rangos permisibles.

Estos controles se realizan por medio de perforaciones de 100 a 150 metros de profundidad en los cuales se extraen muestras no alteradas para posteriormente ensayar en laboratorio y determinar los valores de densidad y humedad, verificando los parámetros establecidos.

- Se debe retirar el material suelto existente en los taludes naturales de los lados izquierdo y derecho de la plataforma de compactación (vaso o cuerpo de almacenamiento)

Esta actividad es importante y cumple dos funciones lograr que las capas compactadas del cuerpo o vaso de almacenamiento se adhieran a los lados

izquierdo y derecho (base rocosa) y que el material suelto retirado se podría utilizar para el mezclado con relave, para ello se realiza un muestreo de material y se determina si tiene la granulometría apropiada en caso contrario se determina la proporción a usar o se puede desestimar su uso.

- Riego y mantenimiento constante de las vías de acceso a la plataforma de compactación.

La actividad de riego es importante para controlar la polución y emisión de material particulado el cual es un factor contaminante al medio ambiente y el mantenimiento de vías ayuda a tener las vías de acceso libre de lodo en temporadas de lluvia.

- Perfilado de talud del vaso de almacenamiento cata 9 capas o 3m de altura.

La actividad de perfilado ayuda a tener la superficie terminada del cuerpo o vaso de almacenamiento limpio de piedras de mayor a 4" de diámetro y ayuda a mantener la geometría del depósito, los taludes de diseño y la estabilidad física del depósito.

En la etapa de operación y en el cierre del depósito es necesario contar con elementos de control para monitorear su comportamiento, por lo que se plantea un esquema que comprende; doce hitos de control topográfico para verificar deformaciones visibles, diez piezómetros eléctricos para el control de nivel freático, dos inclinómetros para el control de deformaciones y un piezómetro abierto para el control de flujo aguas abajo del depósito.

## V. CONCLUSIONES

Las conclusiones generadas por experiencia en el aspecto de la estabilidad física del depósito de relaves son las siguientes:

- Para autorizar y aprobar la construcción de un depósito de relaves con taludes relativamente elevados y que acumulen un volumen significativo de almacenamiento, es necesario y fundamental evaluar y analizar la zona de emplazamiento o cimentación del depósito, en este caso se deberán analizar las condiciones geológicas, geotécnicas, morfología, calidad del material de cimentación, estanqueidad y estabilidad de laderas, para su realización.

La zona deberá ser irregular, diferentes relieves locales y encañonado, de flancos escarpados, sector abierto aguas arriba y sección en “V” aguas abajo.

La roca de cimentación deberá ser competente y con suelo denso (para el presente depósito la densidad de  $22 \text{ Kn/m}^3$ ).

- Los actuales programas de elementos finitos permiten agilizar la parte de diseño y ver varias opciones en el momento de definir la geometría del depósito los taludes los anchos de las banquetas o plataformas. Del mismo modo ayudan a definir la mejor manera de construir en etapas, es decir la mejor secuencia constructiva.

Por ejemplo, una secuencia inicial contemplaba completar al 100% el pedraplén para luego conformar un volumen de material de mezcla, esta secuencia inicial fue modificada debido a que en obra no se tenía la facilidad de obtener el 100% del volumen de roca para finalizar el pedraplén, la nueva secuencia plantea solo construir un 30% de volumen rocoso para el pedraplén y continuar con otro volumen de material de mezcla.

Esta nueva secuencia genera un nuevo modelo de estabilidad y por lo tanto un nuevo análisis, el cual se agiliza con el uso actual de software en elementos finitos.

- Durante la construcción de este tipo de depósitos es importante garantizar la evacuación rápida de aguas superficiales (presencia de lluvias) en el vaso de almacenamiento. El sistema de drenaje desempeña una labor importante en este aspecto.

La construcción de canales de coronación, pozas, alcantarillas, rápidas y disipadores, así como cunetas temporales construidas de forma progresiva es decir que se ensamblan y retiran conforme se incrementa la altura del depósito son adecuadas para la evacuación rápida de las aguas y continuar de manera rápida las labores después de las horas de lluvia.

- Los parámetros o medidas de control para la construcción del depósito de relaves influyen en la estabilidad física del depósito, el control del drenaje y subdrenaje es fundamental evita la influencia del nivel freático, la tubificación o erosión interna, y posible licuación del suelo granular al presentarse dos factores importantes; saturación del material y la existencia de una fuerza externa como la fuerza sísmica.
- La manipulación correcta de los equipos y materiales en obra agiliza la conclusión de las actividades y optimiza la operación del depósito en su conjunto. Cumpliendo estándares de seguridad, medio ambiente y construcción.
- El volumen disponible de material de filtro es uno de las medidas importante en el control de la construcción del depósito, el material de filtro tipo 1 y 2 son obtenidos de una cantera situada a 3 horas de la zona de construcción, anticipando a los problemas que se pueden presentar en el transporte de este material se contrato una empresa de la comunidad como proveedor especialmente para el transporte de este material. Se dispuso de un técnico de suelos para el control de calidad de este material, tanto del material en cantera como durante el ingreso del camión volquete que traslada este material.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se deberá acopiar y proteger el material con óptimo contenido de humedad (material seco) para proyectar los volúmenes a compactar en el mes y cumplir con las metas y proyecciones trazadas.
- Es primordial la capacitación del personal en temas de manejo y cuidado de relaves y procedimientos de construcción del depósito para el personal obrero y conductores de equipos livianos y pesados previniendo de esta manera los accidentes al personal a los equipos y al proceso u operación.
- Las capas de material a compactar deberán tener una geometría tal que cumpla con estar apoyado en los taludes de roca desde el estribo izquierdo hacia el derecho, es decir que la capa a compactar deberá estar apoyada en ambos extremos en los taludes de roca. El no cumplimiento de esta geometría no garantiza una capa estable ante un posible evento sísmico.
- El material de filtro en la zona de contacto del talud rocoso y el material compactado (contorno de plataforma de compactación) deberá tener 1 metro de altura y 1 metro de ancho y deberá ser apisonado con equipo liviano en la superficie alta del volumen de filtro colocado.
- La inclusión de cal en la preparación del material a compactar y reducción rápida de la humedad del relave deberá estar evaluado y aprobado antes de su uso. El personal debidamente capacitado y con implementos adecuados para su manipulación.
- Se recomienda la paralización total de las labores ante la proximidad de tormentas eléctricas y lluvias.

## VII.REFERENCIAS

1. ALVA HURTADO JORGE. (2006). Análisis de estabilidad de taludes. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú.
2. ASTM (American Society for Testing and Materials). (1997). "Annual Book of ASTM Standards", Vol. 04.08, "Soil and Rock; Dimension Stone, Synthetics".
3. GUTIERREZ BRIONES JORGE E. (1994). Presas de Tierra y Enrocamiento, resistencia a la falla por infiltración (primera edición). Lima - Perú.
4. BOWLES JOSEPH E. (1997). Foundation Analysis and Design. Fifth Edition. McGraw Hill.
5. RAÚL J. MARSAL, DANIEL RESÉNDIZ NÚÑEZ (1975). Presas de Tierra y Enrocamiento, editorial Limusa (primera edición). México, D.F.
6. DANKHE, G.L. (1976). Citado en Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (1998). Metodología de la investigación. (segunda edición). México, D.F.: Mc Graw Hill de México.
7. MEILI CARVAJAL, CÉSAR PASTÉN, FELIPE CAMPOS, CHRISTIAN IHLE, DIANA COMTE, JOSE CAMPAÑA, JORGE TRONCOSO, SEBASTIÁN JARA, ÁNGELA OBLASSER (2018). X congreso SOCHIGE. Chile.
8. NELSON A. RAMÍREZ MORANDÉ, Servicio Nacional de Geología y Minería Departamento de seguridad Minera. (2007). Guía Técnica de Operación y control de depósitos de relaves, Chile.
9. DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES MINEROS (2006). Guía para la elaboración de planes de cierre de Minas, Perú.

10. ERIK A, RENNAT, SHEHER MILLER (1997). Guía Ambiental para la estabilidad de taludes de desechos sólidos en minas. Lima - Perú.
11. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (2018). Guía metodológica para Evaluación de la estabilidad física de instalaciones Mineras Remanentes, Chile
12. 10º CONGRESO NACIONAL DE MINERÍA, Colegio de Ingenieros del Perú (2016). 10 mejores trabajos de investigación y tecnología minera. Lima - Perú.
13. YANET VÁZQUEZ BALLESTER, ROGER ALMENARES PEÑA, VIRGINIA NAVARRO ALEMÁN (2017). 8va Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín, Cuba.
14. GONZALO ALBERTO BARRIOS PARGA (2012), Análisis Sísmico 2D de una presa de relaves espesados considerando la existencia de grietas por desecación. Chile
15. MIRIAM ESTEFANI SUAREZ PALACIOS (2019), Diseño de Dique modelando la estabilidad del talud con tratamiento de relave en la unidad minera Mahr Túnel N°6 Volcan S.A.A Yauli – La oroya, 2018, , Lima - Perú.
16. OSORIO MOGOLLÓN RODRIGO ENRIQUE, NAVARRO ZAVALA ALEX JESÚS (2018). X congreso SOCHIGE. Análisis Comparativo de Deformaciones por Sismo en la Presa de Relave en abandono Yauliyacu Nuevo, Lima Perú.
17. DENIS OMAR ALMERCOC PALOMINO. (2014). Construcción de Dique con tratamiento de relave en mina Catalina Huanca -Región Ayacucho, Lima- Perú.
18. Huaña Gonzales Orlando (2015). Diseño de Depósitos de Relaves Filtrados, Perú.

19. AGUIRRE RAMOS ROBERTO EDUARDO (2017), Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N°5 de la concesión de beneficio belén de Minera Titan del Perú S.R.L. Lima - Perú.
20. DE LA CRUZ CCAHUAYPIÑA EVERSON (2015). Análisis de estabilidad mediante el uso de programa Slide v.2005 con aplicación al embalse Cuchoquesara – Ayacucho- Perú.
21. SANCHEZ MENDOZA, ALBERTO MICHAEL, TAZA ROJAS ANGEL ALBERTO JUNIOR (2017). Análisis de estabilidad sísmica para una presa utilizando relave grueso con el método de suelo armado (Huachocolpa uno – Huancavelica - Perú.
22. CARMEN ESTELA VILCA VASQUEZ (2019). Respuesta de la estabilidad física del confinamiento de relaves de cobre con la innovación de la deposición de relaves espesados o en pasta, Arequipa – Perú.
23. MEILI IGNACIA CARVAJAL ARROYO (1975). Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves Presas de Tierra y Enrocamiento, Santiago de Chile. Chile.
24. Valenzuela Toro Pamela (2015). Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves, Chile.
25. CARDENAS CHARA CARLOS ALBERTO (2018), Optimización de las humedades de los relaves filtrados en la unidad minera Catalina Huanca S.A.C., Arequipa Perú.
26. GEOFFREY BLIGHT (2010), Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities, CRC Taylor & Francis Group, London, UK.
27. ROBIN FELL, PATRICK MACGREGOR, DAVID STAPLEDON & GRAEME BELL (2005), Geotechnical Engineering of Dams, Taylor & Francis Group, London, UK.
28. U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1994), Technical Report - Design and Evaluation of Tailings Dams, Washington, U.S.A.

29. CANADIAN DAM ASSOCIATION (2007), Dam Safety Guidelines, Canada.
30. UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION (1994), Design of Small Dams, U.S.A
31. JOHN DUNNICLIFF (1994), Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, Jhon Wiley & Sons, U.S.A
32. US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2003), Slope Stability – Engineer Manual, Washington, U.S.A
33. US ARMY CORPS OF ENGINEERS (1995), Construction Control for Earth and Rock-Fill Dams – Engineer Manual, Washington, U.S.A
34. US ARMY CORPS OF ENGINEERS (1993), Seepage Analysis and Control for Dams – Engineer Manual, Washington, U.S.A
35. DAMS SAFETY COMMITTEE (2010), Tailings Dams, Australia.
36. ANIL K. CHOPRA (2020), Earthquake Engineering for Concrete Dams, Wiley Blackwell, U.S.A.
37. NEFTALI SARMIENTO, MIGUEL ROMO, SERGIO A. MARTINEZ, HUMBERTO MARENGO (2004), Seismic behavior of Concrete-Faced Rockfill Dams, considering a spatial variation of motions along the rigid base, Vancouver, Canada.

## VIII. DECLARACION JURADA

Yo, Aguirre Flores Osiel Faruk con DNI N° 45969850 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en el presente informe de suficiencia son auténticos y veraces. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 30 noviembre del 2020.



---

AGUIRRE FLORES OSIEL FARUK

DNI: 45969850

## IX. ANEXOS

### Anexo 1

Resumen ejecutivo para la Modificación de autorización de construcción  
Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

SRK Consulting (Peru)

Modificación de la Autorización de Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco  
Resumen Ejecutivo

Pag. 2-1

## 2 Geología

### 2.1 Generalidades

Se realizó un mapeo geológico en detalle de la zona de interés con el objeto de caracterizar el material de cimentación de la estructura a construirse, y a su vez determinar los peligros geológicos involucrados. Se hizo también un análisis hidrogeológico para caracterizar los niveles freáticos presentes en la zona de construcción de la ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

La evaluación geológica del proyecto empezó con levantamientos geológicos detallados de las zonas de interés y la búsqueda de antecedentes y trabajos previos en la zona. Durante el levantamiento se registraron los siguientes aspectos: rasgos geomorfológicos, principales tipos litológicos, depósitos superficiales, elementos geoestructurales, agentes geodinámicas y potenciales peligros geológicos.

Para la realización del estudio geológico se contó con la siguiente información:

- Hoja Geológica Boletín N° 70: Cuadrángulo de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chavíña. Hoja 28-O. (INGEMMET, 1996).
- Depósito de Relaves Ramahuayco (SVS, 2010).
- Depósito de Relave Amanda I y Amanda II (SVS, 2007).
- Geodinámica de la Cuanca Scollani (SVS, 2010).
- Resultados de perforaciones diamantinas con ensayos de permeabilidad y pruebas de bombeo tipo Air Lift (SVS, 2014).

### 2.2 Geología Regional

El área estudiada se ubica en la región sur del territorio peruano, desde el punto de vista regional, el proyecto se emplaza en el flanco oriental de la unidad morfoestructural reconocida como Cordillera Occidental.

Según el mapa geológico del cuadrángulo de Chincheros (INGEMMET, BOLETIN N° 70), hoja 28-O. En la zona del proyecto se han identificado tres unidades litológicas principales, Grupo Mitu, Grupo Pucara, y rocas intrusivas que corresponden a stocks clasificadas como Pórfido Cuarzo Monzonítico y diorita, y depósitos cuaternarios recientes; cuyas características se describen a continuación:

El Grupo Mitu (Según Palacios O. Klink B.A., et al.) está constituida principalmente por areniscas de color rojizo, de grano fino a medio, intercaladas con conglomerados rojo amarillento, con clastos de granito rosado a veces gneisoidal, calizas y cuarcitas, englobados dentro de una matriz areniscosa de color gris rojizo; con una edad que va desde 270M.a. a cerca de 210 M.a., lo que lo ubica en el Permiano.

El Grupo Pucara (Según Mc Laughlin, D. H. (1924)), está constituida por una potente serie calcárea conformada por intercalaciones de calizas gris en bancos gruesos, proporciones subordinadas de areniscas, yeso y lutitas en capas delgadas; con una

edad correspondiente a Triásico superior – Jurásico inferior, que subyace en discordancia al Grupo Mitu.

Las rocas intrusivas que presenta corresponden a stocks clasificadas como Pórfido Cuarzo Monzonítico, de color blanco amarillento a rosado pálido, según el nivel de meteorización, el cual en la zona de estudio esta intruyendo al conglomerado Mitu y Caliza Pucara; y diorita de color gris oscuro a verdoso con tonalidades amarillentas por meteorización, el cual se presenta como sills y diques dentro de la caliza Pucará.

## 2.3 Geología Local

La zona de emplazamiento de la ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco estaría sobre tres (03) unidades litológicas: Grupo Mitu, Grupo Pucará y el intrusivo. El mapeo geológico de superficie permitió generar tres (03) secciones geológicas de la zona de interés del proyecto, presentados en los planos 02-01 a 02-03.

Hacia la parte baja de la cuenca aflora el Grupo Mitu, compuesto por conglomerados de grano grueso, ligeramente meteorizado.

El grupo Pucara está compuesto principalmente por caliza, y comprendería la mayor cantidad de material sobre la cual se emplazará la extensión Ramahuayco. En la quebrada de emplazamiento se ha subdividido en cuatro miembros. Estos miembros se encuentran representados en el plano geológico con los subíndices clz1, clz2, clz3 y clz4:

La unidad inferior (TrJi-pu/clz1) está en contacto con el intrusivo y su color es marrón a marrón amarillento dependiendo del grado de alteración. Aflora principalmente en la zona baja del área de interés. Litológicamente está compuesto por estratos de caliza de 30 a 100 cm de espesor intercalado con capas delgadas de limolitas que por alteración se han transformado en arcillas.

La unidad intermedia (TrJi-pu/clz2) son estratos gruesos (100 cm de espesor) de calizas gris oscuras y duras, intercalada con lutitas y limolitas de color gris amarillento por la argilización. Aflora en el sector medio del área de interés. El macizo rocoso se encuentra moderadamente fracturada y ligeramente meteorizada.

La tercera unidad (TrJi-pu/clz3) está compuesta por estratos de caliza dolomítica de 0.5 a 1.0 m de espesor, de color gris oscuro, grano medio y dura a muy dura; se presenta fresca a ligeramente meteorizada y moderadamente fracturada. Aflora en el sector medio del área de interés.

La cuarta unidad (TrJi-pu/clz4) está compuesta de delgadas capas de caliza color gris pardo, con intercalaciones de lutitas, medianamente densa, intensamente fracturada y altamente meteorizada. Aflora en el sector medio alto del área de interés.

El pórfido Monzogranítico de Cuarzo, es un stock intrusivo que está aflorando en la parte baja de la zona del proyecto. El pórfido es de color blanco amarillento a rosado

pálido, según el nivel de meteorización; es duro en estado sano y moderadamente duro donde está parcialmente argilitizado, y está moderadamente fracturado.

La diorita aflora la parte superior de la zona de emplazamiento del proyecto. Esta roca intrusiva se presenta como sills y diques dentro de la caliza Pucará. La diorita es de color gris oscuro a verdoso con tonalidades amarillentas por meteorización, textura fina, equigranular y dura; está muy fracturada y moderadamente meteorizada.

El conglomerado Sacclani que tiene una formación sedimentaria detrítica de color rojizo está constituida por conglomerados gruesos a finos y matriz de arenisca con finos; que yacen en bancos gruesos muy compactos y ligeramente cementados, que le permite mantenerse en escarpas abruptas. Aflora al inmediatamente al Este de la zona de interés.

## 2.4 Hidrogeología

La zona de ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco implica la quebrada Machuccato con una orientación de NO-SE, parte de la microcuenca Mishca. Este depósito de relaves estará emplazado sobre calizas del Grupo Pucara con intercalaciones de limolitas, lutitas, están intruidas por pequeños sills de diorita. Mientras en la parte inferior al pie de la quebrada Machuccato se encuentra el contacto con el Grupo Mitu compuesto por conglomerados.

Para determinar el índice de permeabilidad, se han realizado tres perforaciones diamantinas, en los cuales se han ejecutado ensayos in situ tipo Lugeon, Lefranc y pruebas de bombeo Air Lift. Además, se ha instalado piezómetro tipo Casagrande. El nivel freático promedio se encuentra en la cota de 3500 msnm, confirmado por los piezómetros P-AN-1 = 32.38 m, P-AN-2=51.80 m y el P-AN-3=34.50 m respectivamente.

La tendencia general en los primeros 40 metros es que los índices de permeabilidad varían en el rango de  $10E-03$  a  $10E-04$  cm/s y en cuanto a la profundización, los valores de permeabilidad disminuyen considerablemente de  $10E-05$  a  $10E-06$  cm/s. En la zona de Amanda, Ramahuayco y quebrada Machuccato la tendencia es muy similar. Recientemente se ha ejecutado pruebas de permeabilidad en areniscas del Grupo Mitu, la tendencia es impermeable.

### 3 Geotecnia

Se realizó una campaña de investigaciones geotécnicas para conocer las condiciones del terreno de fundación, relaves y material de cantera, estos se pueden observar en el capítulo 7.1.2.2. Investigaciones geotécnicas.

El depósito contiene dos elementos principales: un pedraplén en la parte inferior (conformado con enrocado y/o concreto roado) y un terraplén conformado por el material mezcla en la proporción de 1:3 de material de cantera con relaves filtrados.

Las características de este material de mezcla se han identificado en 21 kN/m<sup>3</sup> de peso unitario, 31° de ángulo de fricción, 30 kPa de cohesión. El material de enrocado a utilizar en la construcción del dique tendrá 44° de ángulo de fricción, sin cohesión y con un peso de 22 kN/m<sup>3</sup>.

El análisis de estabilidad de taludes implica determinar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo, determinándose un factor de seguridad que se define como:

$$FS = \frac{\tau_r}{\tau_d}$$

Dónde:

FS: factor de seguridad

$\tau_r$ : Resistencia cortante promedio del suelo

$\tau_d$ : Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

Los análisis de estabilidad de los taludes del depósito de relaves se evaluaron siguiendo la metodología del equilibrio límite (MEL) y utilizando el procedimiento de Spencer. El análisis fue realizado con la ayuda del programa de computadora SLIDE V7.0 que permite la visualización gráfica de las superficies potenciales de fallas analizadas.

Para la condición seudo-estática se consideró un coeficiente sísmico de 0.16 resultado del estudio de riesgo sísmico, equivalente a sismo con periodo de retorno de 475 años (sismo de cierre).

En la Tabla 3.1 se presenta los valores de los factores de seguridad mínimos de acuerdo al criterio del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU (USACE) y del MEM.

**Tabla 3.1: Valores de factores de seguridad mínimos admisibles**

| Condición      | Factor de Seguridad |      |
|----------------|---------------------|------|
|                | USACE               | MEM  |
| Estático       | 1.5                 | 1.5  |
| Seudo-estático | 1.0                 | 1.2* |

Nota: \* Sismo máximo con periodo de retorno de 100 años

Los análisis de estabilidad de los taludes del depósito de relaves se evaluaron con el software SLIDE V7.0 el cual permite la visualización gráfica de la superficie de falla crítica.

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de los factores de seguridad obtenidos y en el Anexo 1.1.4.1 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad.

**Tabla 3.2: Factores de seguridad de presa de relaves**

| Sección   | Factor de seguridad     |       | Estructuras afectadas por la falla |
|-----------|-------------------------|-------|------------------------------------|
| Sección A | Estático (k=0.00)       | 1.575 | Deposito – material mezcla.        |
|           | Seudo-estático (k=0.16) | 1.110 | Deposito – material mezcla.        |
| Sección B | Estático (k=0.00)       | 1.566 | Deposito – material mezcla.        |
|           | Seudo-estático (k=0.16) | 1.107 | Deposito – material mezcla.        |

Para fines de cierre la resistencia a largo plazo será mayor, garantizando la geometría actual y las condiciones de seguridad requeridas para el cierre del depósito de relaves filtrados.

Se debe indicar que un factor de seguridad seudo-estático mayor a 1.0 no significa que los taludes del depósito no se moverán durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes, asociados al sismo de diseño.

El depósito de relaves Ramahuayco es estable para las secciones de análisis, si se considera un criterio de aceptabilidad de FS>1.5, el análisis seudo estático indica que el deposito es estable si se considera un coeficiente horizontal máximo de 0.16g y un criterio de aceptabilidad FS>1.0.

Se recomienda calibrar el modelo durante la etapa de construcción con los resultados del monitoreo, de manera de confirmar y/o verificar los desplazamientos esperados.

## 4 Hidrología

SVS elaboro un estudio hidrológico detallado para el proyecto Depósito de relaves filtrados Ramahuayco el 2008 y se actualizo en posteriores estudios que se desarrollaron hasta el año 2012. Se ha tenido en cuenta también los estudios sustentatorios que presento Catalina Huanca a las consultas realizadas por el ANA y el ALA en el 2011.

El área de estudio para el proyecto Ampliación Ramahuayco es parte del área estudiada anteriormente para el proyecto Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco.

Los periodos de evaluación para el estudio han sido de 200, 500, 1000 y 10000 años con adición del flujo hiperconcentrado.

Según el estudio de la hidrologia regional del Perú (IILA-SENAMHI – UNI, 1983) el área del proyecto se ubica dentro de la zona hidrológica 4A, en la cual el nivel de precipitación es constante. Las dos estaciones que se encuentran cercanas al área del proyecto y dentro de la misma zona hidrológica son: Querbamba que tiene como coordenadas E73°50', S14°01' y cota de 3502 msnm; y Huacaña que tiene las coordenadas E73°53', S14°10' y cota de 3150 msnm. En esta misma área hidrológica, se encuentran las estaciones Chipao y Aucara.

La cuenca colectora correspondiente al depósito de relaves propuesto y está localizada en sector alto andino y/o valle interandino del departamento de Ayacucho.

La cuenca aportante al área del Proyecto, está constituida por diversas microcuencas de escasa extensión y taludes estables en general. Para el tratamiento preventivo de las microcuencas antes mencionadas, es posible realizar un programa de revegetación en los sectores donde la presencia de suelos lo permita, con la finalidad de incrementar la seguridad de las obras al limitarse la ocurrencia de fenómenos de deslizamientos hacia los cauces respectivos.

Los parámetros geomorfológicos del sistema son los siguientes:

- Área: 1.613 km<sup>2</sup>
- Perímetro: 8.05 km
- Índice de compacidad: 1.79
- Factor de forma: 0.26
- Cota máxima: 4030 msnm
- Cota mínima: 3400 msnm
- Pendiente media: 0.225 m/m
- Rectángulo equivalente:
  - L mayor = 2.64 Km
  - L menor = 1.41 Km
- Densidad de drenaje: 1.54 km/km<sup>2</sup>

El suelo posee por lo general, un mediano grado de permeabilidad.

En esta región, de la vertiente del Atlántico, el patrón de precipitaciones y consecuentemente de descargas máximas presenta un sesgo estacional típico.

Las características de la cuenca Sacclani se puede observar en el plano 1.1.2.4.5.2. contenido en el anexo 1.1.2.4.5. y en la siguiente Tabla.

**Tabla 4.1: Características de la cuenca Sacclani**

| Cuenca                                | Área de cuenca (ha) |
|---------------------------------------|---------------------|
| Canal 1 (Cuenca A3)                   | 7.7                 |
| Canal 2 (Cuencas A2 y A3)             | 62.2                |
| Canal 3 (Cuencas A1, A2 y A3)         | 97.6                |
| Canal 4 (Cuencas A1, A2, A3 y A5)     | 155.8               |
| Canal 5 (Cuencas A1, A2, A3, A5 y A6) | 172.1               |
| Canal 6 (Cuenca A7)                   | 6.5                 |
| Canal 7 (cuenca Sanchez)              | 2.9                 |
| Superficie del depósito               | 7.7                 |

Los análisis de precipitación extrema, fueron realizados para un periodo de 200 años (operaciones), conforme a la normatividad vigente, para condiciones de cierre 500 años, 1000 años y un periodo excepcional de 10,000 años.

El método de cálculo utilizado para la determinación de la precipitación extrema, es el análisis estadístico de los registros de la estación Querobamba, mediante el modelo SSP, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica; el modelo IILA – SENAMHI –UNI, sólo se utilizó para identificar la zona hidrológica en la que se ubica el área del Proyecto.

Para la estimación de precipitaciones extremas, habiéndose seleccionado la distribución más representativa, los registros fueron analizados mediante el programa HEC SSP, formulado por el Hydrologic Engineering Center, adscrito al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica.

Este programa ejecuta, previamente, la evaluación de datos dudosos (outsiders) y genera, además de la curva de probabilidad teórica de ocurrencia de los eventos extremos, una curva de probabilidad esperada. Esta última curva, conforme a lo explicado en el Bulletin 17B del antes referido Hydrologic Engineering Center, pretende contrarrestar las distorsiones introducidas por la extensión de los registros.

**Tabla 4.2: Precipitación extrema en estaciones**

| Estación   | Precipitación Tr = 200 años (mm) | Precipitación Tr = 500 años (mm) | Precipitación Tr = 1000 años (mm) | Precipitación Tr = 10000 años (mm) |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Querobamba | 48.88                            | 52.10                            | 53.9                              | 61.20                              |

El tiempo de concentración se evaluó conforme al modelo propuesto el Soil Conservation Service de los Estados Unidos de Norteamérica, en función del área, la longitud máxima y la pendiente de la cuenca.

La Tabla 4.3, contiene los valores de precipitación extrema típica para las sub cuencas analizadas, incluyendo tanto las cuencas aportantes de la quebrada Saccllani, correspondientes a períodos medios de recurrencia de 200, 500, 1000 y 10000 años. Los registros de cálculo de la precipitación extrema en cuencas se pueden ver en el anexo 1.1.2.4.2.5. Con el título "Cálculo de precipitación en cuencas".

**Tabla 4.3: Precipitación extrema en cuencas**

| Cuenca                               | Estación pluviométrica | Área de cuenca (ha) | Precipitación extrema (mm) |          |           |            |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|----------|-----------|------------|
|                                      |                        |                     | Tr = 200                   | Tr = 500 | Tr = 1000 | Tr = 10000 |
| Canal 1 – Cuenca A3                  | Querobamba             | 7.7                 | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |
| Canal 2 – Cuencas A2 y A3            | Querobamba             | 62.2                | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |
| Canal 3 – Cuencas A1, A2, A3         | Querobamba             | 97.6                | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |
| Canal 4 – Cuencas A1, A2, A3, A5     | Querobamba             | 155.8               | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |
| Canal 5 – Cuencas A1, A2, A3, A5, A6 | Querobamba             | 172.1               | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |
| Canal 6 – Cuenca A7                  | Querobamba             | 6.5                 | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |
| Canal 7 – Cuenca Sanchez             | Querobamba             | 2.9                 | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |
| Superficie del Depósito              | Querobamba             | 7.7                 | 22.1                       | 23.5     | 24.4      | 27.7       |

La cuenca colectora en el área del Proyecto está conformada por una serie de micro cuencas. La microcuenca de mayor extensión cuenta con sólo 0.58 km<sup>2</sup> de superficie y la cuenca total con 1.61 km<sup>2</sup> de extensión.

Para el análisis de caudales en el sistema de canales colectores, se ha considerado la cuenca integral, para mejor ajustarse a la operación real del sistema, a diferencia de los cálculos originales en que se procesó independientemente cada una de las microcuencas que componen la cuenca del sistema (cuando se consideró un sistema de drenaje específico para cada micro cuenca).

**Tabla 4.4: Caudales extremos en cuencas**

| Cuenca                               | Estación pluviométrica | Área de cuenca (ha) | Caudal extremo (m <sup>3</sup> /s) |          |           |            |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|----------|-----------|------------|
|                                      |                        |                     | Tr = 200                           | Tr = 500 | Tr = 1000 | Tr = 10000 |
| Canal 1 – Cuenca A3                  | Querobamba             | 7.7                 | 0.19                               | 0.20     | 0.21      | 0.24       |
| Canal 2 – Cuencas A2 y A3            | Querobamba             | 62.2                | 1.53                               | 1.62     | 1.69      | 1.91       |
| Canal 3 – Cuencas A1, A2, A3         | Querobamba             | 97.6                | 2.40                               | 2.55     | 2.65      | 3.00       |
| Canal 4 – Cuencas A1, A2, A3, A5     | Querobamba             | 155.8               | 3.83                               | 4.07     | 4.22      | 4.80       |
| Canal 5 – Cuencas A1, A2, A3, A5, A6 | Querobamba             | 172.1               | 4.23                               | 4.49     | 4.67      | 5.30       |
| Canal 6 –                            | Querobamba             | 6.5                 | 0.16                               | 0.17     | 0.18      | 0.20       |

| Cuenca                   | Estación pluviométrica | Área de cuenca (ha) | Caudal extremo (m <sup>3</sup> /s) |          |           |            |
|--------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|----------|-----------|------------|
|                          |                        |                     | Tr = 200                           | Tr = 500 | Tr = 1000 | Tr = 10000 |
| Cuenca A7                |                        |                     |                                    |          |           |            |
| Canal 7 – Cuenca Sanchez | Querobamba             | 2.9                 | 0.07                               | 0.08     | 0.08      | 0.09       |
| Superficie del Depósito  | Querobamba             | 7.7                 | 0.19                               | 0.20     | 0.21      | 0.24       |

Los caudales sólidos que potencialmente discurrirían por la quebrada, en donde se ubica el depósito de relaves, fueron evaluados considerando la ocurrencia de derrumbes y consecuentes flujos hiperconcentrados en el cauce de la quebrada.

La estimación del transporte sólido en flujos hiperconcentrados (ocurrencia de eventos de deslizamientos o flujos de lodos y rocas), es extremadamente insegura y para su estimación se pueden aplicar diversas fórmulas de estimación. Todas estas fórmulas son función, exclusivamente, de la pendiente del cauce y del caudal líquido.

Se ha considerado el transporte sólido de las microcuencas que conforman el sistema, aplicando modelos de estimación de flujos hiperconcentrados. Los caudales obtenidos han sido adicionados a los caudales líquidos, en el escenario de 1000 años de recurrencia media, para comparar los caudales totales en este escenario con los eventuales caudales líquidos del escenario de 10000 años de recurrencia media.

Es de acotarse que, debido a las características geológicas de las microcuencas asociadas al área del Proyecto, es improbable la ocurrencia de eventos significativos de flujo hiperconcentrado (huaycos) en los cauces de las mismas.

| Cuencas        | Tr = 1000 años                     |                                   | Caudal total (m <sup>3</sup> /s) | Tr = 10000 años                    |                                  | Diseño Caudal total (m <sup>3</sup> /s) |
|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
|                | Caudal líquido (m <sup>3</sup> /s) | Caudal sólido (m <sup>3</sup> /s) |                                  | Caudal líquido (m <sup>3</sup> /s) | Caudal total (m <sup>3</sup> /s) |   |
| A3             | 0.21                               | 0.11                              | 0.32                             | 0.24                               | 0.32                             |   |
| A2+A3          | 1.09                               | 0.54                              | 2.23                             | 1.91                               | 2.23                             |   |
| A1+A2+A3       | 2.05                               | 0.54                              | 3.19                             | 2.99                               | 3.19                             |   |
| A1+A2+A3+A5    | 4.23                               | 0.67                              | 4.90                             | 4.78                               | 4.90                             |   |
| A1+A2+A3+A5+A6 | 4.67                               | 0.67                              | 5.34                             | 5.26                               | 5.34                             |   |
| A7             | 0.16                               | 0.15                              | 0.33                             | 0.20                               | 0.33                             |   |

En esta "Modificación de la Autorización de Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco" no se realizara modificaciones al sistema hidráulico por lo que las estructuras seguirán con las siguientes características:

- Rápida 1: de 1.20 m x 0.60 m de sección interna
- Canal 3: de 1.20 m x 1.20 m de sección
- Canal 4: de 1.10 x 1.10 m de sección
- Rápida 2: de 1.10 m x 0.80 m
- Canal 5: de 1.10 x 1.10 m de sección
- Rápida 3: de 1.10 m x 0.80 m

En conclusión, el sistema hidráulico planteado para el proyecto "Modificación de la Autorización de Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados

## 5 Diseño Civil

### 5.1 Generalidades

El diseño Civil para el estudio considera las normas y reglamentos que se utilizan para estructuras de este tipo.

Como obras civiles se ha considerado las siguientes estructuras: Conductos (canales y rápidas) con sus obras de arte para derivar las aguas de escorrentía y proteger el depósito de relaves de eventuales avenidas máximas, accesos para la operación y construcción del depósito de relaves.

El diseño de las estructuras e instalaciones a nivel de Ingeniería de Detalle de la Relavera estará regido por los siguientes criterios básicos:

- Asegurar que las instalaciones críticas tengan un margen de diseño apropiado para el riesgo involucrado.
- Maximizar la seguridad.
- Minimizar los riesgos y la vulnerabilidad mediante el uso de tecnología comprobada.
- Minimizar las actividades de construcción y reducción de trabajo en el lugar de la obra.
- Optimizar los gastos de capital sin disminuir los estándares de calidad

### 5.2 Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico y estructural de los canales se encuentra ampliamente descrito en el Estudio hidrológico y diseños hidráulicos. Las estructuras hidráulicas de protección y derivación de la escorrentía, se han considerado conforme a los siguientes criterios:

- Diseñar con el caudal máximo probable para un evento con un periodo de retorno característico de 500 años, conforme a lo previsto en la normatividad vigente para el cierre de depósitos de relaves e instalaciones de alto riesgo, sin embargo por las condiciones especiales del depósito se ha diseñado las estructuras con un tiempo de retorno de 1000 años.
- Conseguir la captación total de las aguas de escorrentía, dentro de los niveles de riesgo aceptados.
- Construir secciones de canales con capacidad suficiente para el flujo de las avenidas excepcionales provenientes de la sub cuenca.
- Asegurar velocidades de descarga de los sistemas de derivación, suficientemente bajas, que no generen alteración a las condiciones naturales del cauce receptor.

tendrá una pendiente máxima de 12% y un radio mínimo de curvatura de 15 m para una velocidad de 20 km/hr

## **5.4 Aspectos Constructivos**

### **5.4.1 Tratamiento de la Cimentación**

Previo a la construcción de la presa se deberá efectuar la limpieza y desbroce del terreno a fin de eliminar de esta zona todo el suelo natural superficial de mediana a baja resistencia, así como remover la corteza altamente meteorizada del basamento rocoso existente en el área. El área a ser desbrozada será aproximadamente 8 ha.

La superficie después de la limpieza y desbroce del terreno y la habilitación del basamento rocoso, deberá ser uniforme de manera que se pueda obtener una buena adherencia entre la presa y la cimentación.

En el embalse se colocara relaves filtrados mezclados con material de cantera, con una humedad máxima de 12 %, por lo tanto no se espera la presencia de agua libre o nivel freático. Sin embargo, como un medio de seguridad se está colocando un sistema de drenaje en la parte inferior del depósito (aguas arriba del pedraplén), para drenar las aguas de exudación y manantiales estacionales.

### **5.4.2 Construcción del pedraplén y depósito**

El pedraplén se construirá con material de enrocado provenientes de las canteras estudiadas, así como también se podrá utilizar materiales con mejores características geotécnicas como el concreto rolado. La colocación del enrocado deberá ejecutarse de tal manera que se garantice que los espacios vacíos sean menores al 25% del volumen colocado, para lo cual se conformarán en capas de 0.75 a 1.00 m, según el requerimiento y disponibilidad de equipos.

El relave filtrado (R) que se colocará en el cuerpo del depósito será mezclado con material de préstamo (MP) en la siguiente proporción en volumen: 3(R):1(MP). El material de préstamo (MP) provendrá de canteras aprobadas, el cual mezclado con relave filtrado, debidamente homogenizado mediante excavadoras o mezcladoras de suelos, será densificado en capas horizontales de espesor uniforme mediante el uso de rodillos compactadores vibratorios hasta alcanzar una densidad mínima del 95% de la máxima densidad seca. La colocación del material se realizará mediante capas horizontales de 30 cm de espesor del material en estado compactado.

Las estructuras se construirán de acuerdo a lo indicado en los planos, especificaciones técnicas, manual de CQA y de acuerdo al orden establecido en el manual de operaciones

### **5.4.3 Fases constructivas**

La ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco se ejecutará en tres (3) fases, las cuales considera las siguientes actividades:

#### **Fase 1**

Son las obras de acondicionamiento del depósito previo a la colocación de relave filtrado.

En esta fase se considera la preparación del terreno de fundación del depósito, la construcción del pedraplén con enrocado, el canal de coronación, el sistema de drenaje y sub drenaje, y el sistema de impermeabilización.

Se ha estimado que la construcción de estas actividades tendrá una duración 4 meses y 10 días.

A continuación se describe los datos geométricos de los principales componentes a ejecutarse en esta primera fase.

**Preparación de la cimentación**

(Ver plano 04-06)

- Limpieza y desbroce: 7.53 Ha

**Canal de coronación**

(Ver planos 05-01 al 05-19)

- Canal 1
  - o Longitud: 507 m
  - o Dimensiones internas: 0.60 (B) x 0.80 (H)
  - o Revestimiento: concreto
- Rápida 1
  - o Longitud: 180 m
  - o Dimensiones internas: 1.20 (B) x 1.10 (H)
  - o Revestimiento: concreto
- Canal 2
  - o Longitud: 101 m
  - o Dimensiones internas: 1.20 (B) x 1.20 (H)
  - o Revestimiento: concreto
- Canal 3
  - o Longitud: 72 m
  - o Dimensiones internas: 1.80 (B) x 1.80 (H)
  - o Revestimiento: concreto

**Pedraplén**

(Ver plano 04-07)

- Material: enrocado
- Volumen de relleno: 41,306 m<sup>3</sup>
- Talud de relleno: 1.4(H):1(V)
- Altura de pedraplén: 14.20 m
- Cota de cresta: 3488 msnm

**Sistema de subdrenaje**

(Ver plano 07-01)

- o Tubería HDPE 6" perforada: 97.4 m

- o Tubería HDPE 6" sin perforar: 17.6 m

**Sistema de drenaje**

(Ver plano 07-02)

- Tubería HDPE 6" perforada: 131.6 m
- Tubería HDPE 6" sin perforar: 38.0 m

**Sistema de impermeabilización del pedraplén**

(Ver plano 09-01 al 09-02)

- Geomembrana PVC e=2 mm: 1,508 m<sup>2</sup>
- Geotextil 300 gr/m<sup>2</sup>: 1,508 m<sup>2</sup>

**Instrumentación geotécnica**

(Ver planos 11-01 y 11-02)

- Instalación de piezómetros eléctricos: 10 u

**Fase 2**

Son las actividades de llenado del cuerpo del depósito con relave filtrado mezclado con material de préstamo en la proporción 3(R):1(MP).

En esta fase se considera la explotación de la cantera de suelo para la mezcla, los procesos de secado, mezclado y relleno compactado del material en el vaso de almacenamiento del depósito.

Además están incluidas la construcción de la poza de contingencia y el canal de evacuación del flujo hacia la quebrada.

De acuerdo a los datos operativos de CHSM y el volumen obtenido del diseño geométrico se obtuvo un tiempo de 2 años y 10 meses como vida útil del depósito.

A continuación se describe los datos geométricos en la confirmación del depósito a ejecutarse en esta fase.

**Conformación de Mezcla 3(R):1(MP)**

(Ver planos 04-10)

- Material: Mezcla 3(R):1(MP)
- Volumen de material de préstamo (25%): 429,786.5 m<sup>3</sup>
- Volumen de relave (75%): 1'289,359.5 m<sup>3</sup>
- Volumen de mezcla: 1'719,146 m<sup>3</sup>
- Talud de relleno: 1.75(H):1(V)
- Cota de plataforma superior: 3610 msnm
- Numero de banquetas: 2
- Ancho de banquetas: 10 m

**Fase 3**

Son las actividades de cierre del depósito e instalación de la instrumentación geotécnica.

En esta fase se considera el encapsulamiento del depósito de relaves mediante la instalación de mantas de geomembrana de PVC e=2mm. La geomembrana será protegida de los efectos de la erosión pluvial y eólica mediante la conformación de una capa de material granular drenante. Finalmente se revegetara el depósito para recuperar toda el área afectada.

En esta fase también se incluyen la instalación de instrumentos geotécnicos (piezómetros, inclinómetros e hitos topográficos).

Se ha estimado que la construcción de estas actividades tendrá una duración 3 meses y 10 días.

A continuación se describe los datos geométricos de los principales componentes a ejecutarse en esta fase de cierre.

#### **Cobertura de cierre**

(Ver planos 12-01 y 12-02)

|                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| - Geomembrana PVC e=2 mm:           | 61,163 m <sup>2</sup>  |
| - Geotextil 300 gr/m <sup>2</sup> : | 122,326 m <sup>2</sup> |
| - Cobertura con material granular:  | 12,233 m <sup>3</sup>  |
| - Conformación de top soil:         | 12,233 m <sup>3</sup>  |

#### **Instrumentación geotécnica**

(Ver planos 11-01 al 11.3)

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| - Instalación de inclinómetros:      | 2 u  |
| - Instalación de hitos topográficos: | 12 u |

## 6 Operación

### 6.1 Datos Operacionales

En el diseño del Proyecto se han considerado los siguientes datos operacionales:

- Días de operación por año: 360 días.
- Producción nominal diaria: 3,000 TMD
- Producción Anual: 1'080,000 TMD
- Relación de relaves/míneral: 0.80
- Producción nominal diaria de relaves: 2400 TMD
- Relación de relaves Factor de diseño: 1
- Humedad de colocación: 12%.
- Proporción de relave en Mezcla: 75%.
- Densidad de la Mezcla: 2.10 t/m<sup>3</sup>.
- Volumen de la Mezcla (Vaso): 1'719,146 m<sup>3</sup>
- Vida Útil:  $(1'719,146 \times 2.1 \times (1 - 0.12) \times 0.75 / 0.8) / 3000 = 992$  días = 2.76 años

### 6.2 Distribución y Disposición de Relaves Filtrados

#### 6.2.1 Filosofía de Operación

El depósito de relaves filtrados será una operación de carguío de los relaves desde el área de apilamiento a la salida del filtro prensa. Este carguío será mediante un cargador frontal o excavadora y será cargado en camiones de 15 m<sup>3</sup> de capacidad y con capacidad mínima de llevar cargas de 30 t. Se estima que la cantidad regular de camiones a utilizar será de 10 y en momentos puntuales se podría requerir 2 camiones adicionales. Los relaves cargados en los camiones tendrán una humedad promedio de 16%. Se deberá considerar el contar con un camión stand by en caso de que algunos de los de la operación normal no esté operativo. CHSM deberá definir la cantidad, tipo y modelo de camión que se ajuste a sus operaciones.

Los relaves tendrán un ciclo de carga-transporte-mezclado-deseccación-escarificado y compactación de 3 días como mínimo. El espesor de capa máximo después de compactado deberá ser como máximo 0.35 m y alcanzar un grado de compactación mínimo de 95% del Proctor estandar o a una densidad seca de compactación de 2.1 t/m<sup>3</sup> como mínimo y la humedad de compactación deberá ser como máximo 12%. Durante la operación del depósito de relaves.

El procedimiento antes aplicado se seguirá durante toda la operación del depósito de relaves hasta conformar la geometría indicada en los planos que considera taludes 1.75H:1V en el depósito.

## 7 Cierre

El objetivo principal del cierre de un depósito de relaves es asegurar su estabilidad física y química en el largo plazo, es decir, evitar fallas del talud ante un evento natural extremo y minimizar la generación de polvo por erosión eólica. El proyecto Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco se ha diseñado para que permanezca estable en el corto y largo plazo. Los diseños planteados en este estudio deberán ser evaluados en las actualizaciones del plan de cierre de mina.

Tal como lo requiere el Reglamento de Cierre de Minas, el Plan de Cierre incluye la planificación de las actividades de cierre progresivo y final de sus instalaciones existentes.

Es importante señalar que la naturaleza de los Planes de Cierre es dinámica y que está sujeta a cambios de acuerdo a las variaciones posibles dentro del desarrollo de cualquier operación minera, como serían por ejemplo las modificaciones internas en los planes de minado, la variación en el precio de los metales, el aumento o la disminución del precio de los combustibles, nuevos proyectos mineros, situaciones sociales o políticas favorables o adversas, entre otras, razón por la cual el reglamento de cierre de minas contempla que se introduzcan estos cambios a través de las auditorías, los reportes semestrales y las actualizaciones periódicas al Plan de Cierre exigidos por el MEM.

En cuanto a la estabilidad física, se plantea un dique de contención de forma tal que permita a la estructura alcanzar los factores de seguridad mínimos permisibles recomendados por el MEM. Mantenimiento de los canales de escorrentías y sistemas de drenaje. El camino de acceso será escarificado toda la superficie y se mantendrán los sistemas de drenaje instalados en los cauces naturales.

Para garantizar la estabilidad ante un evento hidrológico extremo y evitar el contacto del agua con el relave, se ha diseñado un sistema de conductos de drenaje con el fin de derivar las aguas superficiales de escorrentía, evitando así que la estabilidad de la estructura de las presas no sea afectada. El caudal máximo probable fue determinado en 5.34 m<sup>3</sup>/s para el período de retorno de 1000 años adicionando un caudal sólido, el cual es superior al característico de 500 años previsto en la normatividad vigente para el cierre de depósitos de relaves e instalaciones de alto riesgo. Dentro de la superficie del depósito se ha diseñado un pequeño sistema para evacuar las aguas pluviales.

Para proteger el depósito de relaves de erosiones eólicas y pluviales, y homogenizar la apariencia de la superficie final del Depósito de relaves con el entorno natural, se ha diseñado una cobertura con suelo natural inerte de 0.4 m de espesor mínimo, constituida por grava arenosa ligeramente arcillosa con un porcentaje de finos menor a 30%, de 20 cm. de espesor y 20 cm de TOPSOIL.

## Anexo 2

Informe CQA - SRK - Modificación de autorización de construcción Ampliación del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

### 4.2 Control geométrico

Los controles geométricos nos permitirán controlar en obra los niveles, taludes de corte y relleno, lo cual nos permitirá visualizar el avance progresivo de la obra en cada componente; y nos permitirá medir cantidades de obra alcanzadas en un determinado periodo.

En conformidad a los planos del expediente emitido por SRK Consulting (Peru) SA - (Antes SVS Ingenieros SA), se ha ejecutado el control geométrico obteniendo los perfiles de campo, durante el avance de la construcción se verifica la conformación de capas y sus respectivas cotas, el área de control de la supervisión durante el periodo 11 de enero del 2019 al 31 de diciembre del 2019 se muestra en los planos as built que se adjuntan en el anexo 18.

### 4.3 Control geotécnico del depósito de la zona Machuccato

El control geotécnico se ha ejecutado de acuerdo con lo indicado en las especificaciones técnicas y el manual CQA del proyecto, para los siguientes componentes operativos:

#### 4.3.1 Control del dique (Enrocado del Cuerpo de Dique)

Se verifico la granulometría, densidades y el contenido de humedad de cada capa conformada, siguiendo las siguientes normas:

- Ensayo granulométrico por tamizado (ASTM D6913/D6913M-17)
- Ensayo de reemplazo por volumen de agua (ASTM D5030/D5030M-13a)
- Contenido de Humedad (ASTM D2216-19)
- El promedio del porcentaje de vacíos obtenido en el año 2019 es de 21.94%
- A continuación, se presentan tablas de resumen del control geotécnico realizado en campo sobre el dique (enrocado del cuerpo de dique):

**Tabla 8: Resumen de los controles de campo en enrocado de cuerpo de dique (etapa 1.1) – Año 2019**

| FECHA      | COTA<br>(msnm) | Porcentaje de Vacíos (%) |        | Porcentaje de Finos (%) |       | Densidad<br>in situ (Di)<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Densidad<br>específica<br>(De)<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Di ≥ De |
|------------|----------------|--------------------------|--------|-------------------------|-------|---|---|---------|
|            |                | Máximo                   | Campo  | Máximo                  | Campo |   |   |         |
| 19/05/2019 | 3494           | 25.00%                   | 24.86% | 5.00%                   | 0.18  | 2.217   | 2.1   | Cumple  |
| 19/05/2019 | 3495           | 25.00%                   | 21.84% | 5.00%                   | 0.9   | 2.108   | 2.1   | Cumple  |
| 20/05/2019 | 3496           | 25.00%                   | 19.22% | 5.00%                   | 1.89  | 2.166   | 2.1   | Cumple  |
| 20/05/2019 | 3497           | 25.00%                   | 22.95% | 5.00%                   | 0.32  | 2.101   | 2.1   | Cumple  |
| 21/05/2019 | 3498           | 25.00%                   | 22.61% | 5.00%                   | 1.29  | 2.109   | 2.1   | Cumple  |
| 21/05/2019 | 3499           | 25.00%                   | 21.72% | 5.00%                   | 1.06  | 2.124   | 2.1   | Cumple  |
| 22/05/2019 | 3500           | 25.00%                   | 21.54% | 5.00%                   | 0.97  | 2.127   | 2.1   | Cumple  |
| 22/05/2019 | 3501           | 25.00%                   | 20.05% | 5.00%                   | 0.22  | 2.153   | 2.1   | Cumple  |
| 23/05/2019 | 3502           | 25.00%                   | 22.47% | 5.00%                   | 2.27  | 2.11  | 2.1   | Cumple  |
| 23/05/2019 | 3503           | 25.00%                   | 22.49% | 5.00%                   | 1.21  | 2.11  | 2.1   | Cumple  |
| 24/05/2019 | 3504           | 25.00%                   | 22.30% | 5.00%                   | 1.79  | 2.111   | 2.1   | Cumple  |
| 24/05/2019 | 3505           | 25.00%                   | 21.52% | 5.00%                   | 1.48  | 2.126   | 2.1   | Cumple  |
| 25/05/2019 | 3506           | 25.00%                   | 21.73% | 5.00%                   | 1.59  | 2.123   | 2.1   | Cumple  |
| 25/05/2019 | 3507           | 25.00%                   | 22.26% | 5.00%                   | 1.11  | 2.114   | 2.1   | Cumple  |

|            |      |        |        |       |      |       |     |        |
|------------|------|--------|--------|-------|------|-------|-----|--------|
| 26/05/2019 | 3508 | 25.00% | 23.02% | 5.00% | 1.06 | 2.101 | 2.1 | Cumple |
| 26/05/2019 | 3509 | 25.00% | 21.73% | 5.00% | 1.28 | 2.123 | 2.1 | Cumple |
| 27/05/2019 | 3510 | 25.00% | 22.53% | 5.00% | 1.69 | 2.107 | 2.1 | Cumple |
| 27/05/2019 | 3511 | 25.00% | 20.05% | 5.00% | 0.22 | 2.153 | 2.1 | Cumple |

Fuente: SRK, 2019

La evaluación del proceso para los datos estadísticos de humedad, compactación y densidades se evaluarán con los siguientes parámetros:

Índice de capacidad del proceso para un nivel de confianza del 95%.

$$Cp = \frac{LCS - LCI}{3.92\sigma S}$$

1.33 ≤ Cp → Satisfactorio

1.00 ≤ Cp ≤ 1.33 → Adecuado

Cp ≤ 1.00 → Inadecuado

Tabla 9: Control de porcentaje de vacíos

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE PORCENTAJE DE VACIOS EN EL MATERIAL DE RELLENO |       |
|--|-------|
| Pruebas Realizadas   | 18.00 |
| Promedio General   | 21.94 |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 19.22 |
| Máximo Resultado Obtenido  | 24.86 |
| Desviación Estándar (S)  | 1.27  |
| Coefficiente de Variabilidad   | 5.79  |
| Tolerancia   | -     |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 25.75 |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 18.13 |
| Índice de Capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%                     | 1.53  |

Fuente: SRK, 2019

El comportamiento del porcentaje de vacíos respecto al porcentaje de vacíos promedio y lo indicado en la especificación se puede observar en la siguiente gráfica.

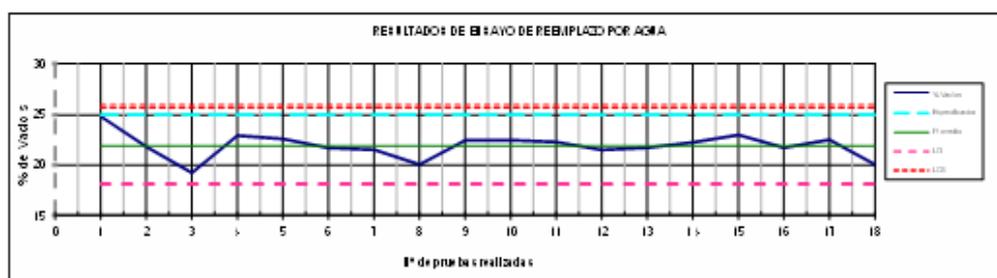


Figura 23: Control de porcentaje de vacíos (Ensayo 001 - 018) – Año 2019

Fuente: SRK, 2019

Los valores de porcentaje de vacíos en los ensayos cumplen con la especificación (menor al 25%), de los 18 valores de porcentaje de vacíos registrado se deduce que el total de ensayos cumplen con la especificación, por lo tanto, se puede indicar que el proceso se encuentra bajo control (grado de confiabilidad considerado es de 95%).

#### 4.3.2 Control del vaso del depósito de relaves filtrados (zona Machuccato)

Se verificó la granulometría, densidades y el contenido de humedad de cada capa conformada, siguiendo las siguientes normas:

- o Ensayo granulométrico por tamizado (ASTM D6913/D6913M-17)
  - o Límites de consistencia (ASTM D4318-17e1)
  - o Contenido de Humedad (ASTM D2216-19)
  - o Ensayo de compactación Proctor Modificado (ASTM D1557-12e1)
  - o Ensayo estándar para determinar la densidad del suelo in situ por el método del cono de arena (ASTM D1556/D1556M-15e1)
- El promedio de las densidades secas obtenidas en el año para el vaso del depósito de relaves filtrados (zona Machuccato) es de 2.218 gr/cm<sup>2</sup>.
  - El promedio del contenido de humedad natural en la mezcla obtenidas en el año para el vaso del depósito de relaves filtrados (zona Machuccato) es de 9.44%.
  - El promedio de los ensayos de compactación obtenidas en el año para el vaso del depósito de relaves filtrados (zona Machuccato) es de 95.96%
  - A continuación, se presentan tablas de resumen del control geotécnico realizado en campo sobre el vaso del depósito de relaves filtrados (zona Machuccato):

**Tabla 10: Resumen de los controles de campo del vaso del depósito de relaves Ramahuayco (zona Machuccato) – Año 2019**

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 07/07/2019 | 3506.10      | 01         | 0.35         | 8.38%          | 10.03% | 2.295                         | 2.188 | 95.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3506.45      | 02         | 0.35         | 8.38%          | 9.96%  | 2.295                         | 2.199 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3506.80      | 03         | 0.35         | 8.38%          | 10.09% | 2.295                         | 2.210 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3507.15      | 04         | 0.35         | 8.38%          | 8.94%  | 2.295                         | 2.189 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3507.50      | 05         | 0.35         | 8.38%          | 9.63%  | 2.295                         | 2.207 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3507.85      | 06         | 0.35         | 8.38%          | 9.95%  | 2.295                         | 2.209 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3508.20      | 07         | 0.35         | 8.38%          | 9.10%  | 2.295                         | 2.205 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3508.55      | 08         | 0.35         | 8.38%          | 9.88%  | 2.295                         | 2.192 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3508.90      | 09         | 0.35         | 8.38%          | 9.58%  | 2.295                         | 2.220 | 96.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/07/2019 | 3509.25      | 10         | 0.35         | 8.38%          | 10.15% | 2.295                         | 2.202 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 07/07/2019 | 3509.60      | 11         | 0.35         | 8.13%          | 9.39%  | 2.303                         | 2.199 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3509.95      | 12         | 0.35         | 8.13%          | 10.04% | 2.303                         | 2.198 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3510.30      | 13         | 0.35         | 8.13%          | 9.70%  | 2.303                         | 2.210 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3510.65      | 14         | 0.35         | 8.13%          | 10.00% | 2.303                         | 2.207 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/07/2019 | 3511.00      | 15         | 0.35         | 8.13%          | 8.77%  | 2.303                         | 2.205 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/07/2019 | 3511.30      | 16         | 0.30         | 8.35%          | 8.46%  | 2.297                         | 2.181 | 95.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3511.60      | 17         | 0.30         | 8.35%          | 9.46%  | 2.297                         | 2.191 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3511.90      | 18         | 0.30         | 8.35%          | 9.28%  | 2.297                         | 2.208 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3512.20      | 19         | 0.30         | 8.35%          | 9.18%  | 2.297                         | 2.215 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3512.50      | 20         | 0.30         | 8.35%          | 9.17%  | 2.297                         | 2.192 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/07/2019 | 3512.80      | 21         | 0.30         | 8.55%          | 9.40%  | 2.305                         | 2.199 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3513.10      | 22         | 0.30         | 8.55%          | 9.19%  | 2.305                         | 2.199 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3513.40      | 23         | 0.30         | 8.55%          | 8.27%  | 2.305                         | 2.200 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3513.70      | 24         | 0.30         | 8.55%          | 8.86%  | 2.305                         | 2.200 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3514.00      | 25         | 0.30         | 8.55%          | 8.59%  | 2.305                         | 2.218 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/07/2019 | 3514.30      | 26         | 0.30         | 8.30%          | 8.65%  | 2.294                         | 2.216 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/07/2019 | 3514.65      | 27         | 0.35         | 8.30%          | 9.40%  | 2.294                         | 2.196 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/07/2019 | 3515.00      | 28         | 0.35         | 8.30%          | 10.02% | 2.294                         | 2.219 | 96.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/07/2019 | 3515.35      | 29         | 0.35         | 8.30%          | 8.98%  | 2.294                         | 2.211 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/07/2019 | 3515.70      | 30         | 0.35         | 8.30%          | 9.12%  | 2.294                         | 2.214 | 96.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/07/2019 | 3516.00      | 31         | 0.30         | 8.30%          | 9.76%  | 2.294                         | 2.206 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/07/2019 | 3516.35      | 32         | 0.35         | 7.86%          | 9.67%  | 2.311                         | 2.22  | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/07/2019 | 3516.70      | 33         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311                         | 2.207 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/07/2019 | 3517.00      | 34         | 0.30         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311                         | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/07/2019 | 3517.35      | 35         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311                         | 2.201 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 27/07/2019 | 3517.70      | 36         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311                         | 2.213 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 27/07/2019 | 3518.00      | 37         | 0.30         | 7.86%          | 9.89%  | 2.311                         | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 27/06/2019 | 3518.35      | 38         | 0.35         | 7.86%          | 9.11%  | 2.311                         | 2.221 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 28/07/2019 | 3518.70      | 39         | 0.35         | 7.86%          | 9.93%  | 2.311                         | 2.217 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 29/07/2019 | 3519.00      | 40         | 0.30         | 8.19%          | 9.13% | 2.308                         | 2.205 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 29/07/2019 | 3519.35      | 41         | 0.35         | 8.19%          | 9.28% | 2.308                         | 2.198 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/07/2019 | 3519.70      | 42         | 0.35         | 8.19%          | 8.66% | 2.308                         | 2.215 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/07/2019 | 3520.00      | 43         | 0.30         | 8.19%          | 8.77% | 2.308                         | 2.207 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 31/07/2019 | 3520.35      | 44         | 0.35         | 8.19%          | 8.74% | 2.308                         | 2.205 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/08/2019 | 3520.70      | 45         | 0.35         | 8.10%          | 9.43% | 2.317                         | 2.223 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/08/2019 | 3521.00      | 46         | 0.30         | 8.10%          | 9.27% | 2.317                         | 2.220 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/08/2019 | 3521.35      | 47         | 0.35         | 8.10%          | 9.14% | 2.317                         | 2.235 | 96.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/08/2019 | 3521.70      | 48         | 0.35         | 8.10%          | 9.80% | 2.317                         | 2.224 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/08/2019 | 3522.00      | 49         | 0.30         | 8.10%          | 9.43% | 2.317                         | 2.215 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/08/2019 | 3522.35      | 50         | 0.35         | 8.19%          | 9.21% | 2.312                         | 2.214 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/08/2019 | 3522.70      | 51         | 0.35         | 8.19%          | 9.17% | 2.312                         | 2.222 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/08/2019 | 3523.00      | 52         | 0.30         | 8.19%          | 8.56% | 2.312                         | 2.229 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/08/2019 | 3523.35      | 53         | 0.35         | 8.19%          | 9.54% | 2.312                         | 2.217 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/08/2019 | 3523.70      | 54         | 0.35         | 8.19%          | 9.36% | 2.312                         | 2.211 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/08/2019 | 3524.00      | 55         | 0.30         | 7.99%          | 7.65% | 2.324                         | 2.225 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/08/2019 | 3524.35      | 56         | 0.35         | 7.99%          | 8.22% | 2.324                         | 2.227 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/08/2019 | 3524.70      | 57         | 0.35         | 7.99%          | 9.75% | 2.324                         | 2.225 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/08/2019 | 3525.00      | 58         | 0.30         | 7.99%          | 9.40% | 2.324                         | 2.240 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/08/2019 | 3525.35      | 59         | 0.35         | 7.99%          | 8.27% | 2.324                         | 2.217 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/08/2019 | 3525.70      | 60         | 0.35         | 8.18%          | 9.16% | 2.315                         | 2.216 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/08/2019 | 3526.00      | 61         | 0.30         | 8.18%          | 9.64% | 2.315                         | 2.206 | 95.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/08/2019 | 3526.35      | 62         | 0.35         | 8.18%          | 9.29% | 2.315                         | 2.224 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3526.70      | 63         | 0.35         | 8.18%          | 9.19% | 2.315                         | 2.220 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3527.00      | 64         | 0.30         | 8.52%          | 9.53% | 2.309                         | 2.218 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3527.35      | 65         | 0.35         | 8.52%          | 8.74% | 2.309                         | 2.221 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/08/2019 | 3527.70      | 66         | 0.35         | 8.52%          | 9.35% | 2.309                         | 2.217 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/08/2019 | 3528.00      | 67         | 0.30         | 8.52%          | 9.14% | 2.309                         | 2.219 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/08/2020 | 3528.35      | 68         | 0.35         | 8.52%          | 9.68% | 2.309                         | 2.200 | 95.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 13/08/2019 | 3528.70      | 69         | 0.35         | 8.52%          | 9.39% | 2.309                         | 2.234 | 96.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/08/2019 | 3529.00      | 70         | 0.30         | 8.28%          | 8.90% | 2.313                         | 2.222 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/08/2019 | 3529.35      | 71         | 0.35         | 8.28%          | 8.76% | 2.313                         | 2.228 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3529.70      | 72         | 0.35         | 8.28%          | 9.29% | 2.313                         | 2.218 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3530.00      | 73         | 0.30         | 8.28%          | 9.45% | 2.313                         | 2.227 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3530.35      | 74         | 0.35         | 8.28%          | 8.83% | 2.313                         | 2.212 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/08/2019 | 3530.70      | 75         | 0.35         | 8.48%          | 8.60% | 2.319                         | 2.212 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/08/2019 | 3531.00      | 76         | 0.30         | 8.48%          | 9.13% | 2.319                         | 2.222 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/08/2019 | 3531.35      | 77         | 0.35         | 8.48%          | 9.50% | 2.319                         | 2.222 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/08/2019 | 3531.70      | 78         | 0.35         | 8.48%          | 8.74% | 2.319                         | 2.217 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/08/2019 | 3532.00      | 79         | 0.30         | 8.48%          | 9.09% | 2.319                         | 2.214 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/08/2019 | 3532.35      | 80         | 0.35         | 8.48%          | 9.45% | 2.310                         | 2.222 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 19/08/2019 | 3532.70      | 81         | 0.35         | 8.46%          | 8.47% | 2.310                         | 2.214 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 19/08/2019 | 3533.00      | 82         | 0.30         | 8.46%          | 8.88% | 2.310                         | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 19/08/2019 | 3533.35      | 83         | 0.35         | 8.46%          | 8.88% | 2.310                         | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 19/08/2019 | 3533.70      | 84         | 0.35         | 8.46%          | 8.90% | 2.310                         | 2.208 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3534.00      | 85         | 0.30         | 8.46%          | 8.16% | 2.310                         | 2.210 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3534.35      | 86         | 0.35         | 8.71%          | 9.42% | 2.318                         | 2.232 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3534.70      | 87         | 0.35         | 8.71%          | 9.50% | 2.318                         | 2.214 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/08/2019 | 3535.00      | 88         | 0.30         | 8.71%          | 8.39% | 2.318                         | 2.207 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3535.35      | 89         | 0.35         | 8.71%          | 9.50% | 2.318                         | 2.225 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3535.70      | 90         | 0.35         | 8.67%          | 9.56% | 2.314                         | 2.212 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3536.00      | 91         | 0.30         | 8.67%          | 9.85% | 2.314                         | 2.221 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/08/2019 | 3536.35      | 92         | 0.35         | 8.67%          | 8.53% | 2.314                         | 2.250 | 97.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/08/2019 | 3536.70      | 93         | 0.35         | 8.67%          | 9.49% | 2.314                         | 2.228 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/08/2019 | 3537.00      | 94         | 0.30         | 8.67%          | 9.31% | 2.314                         | 2.218 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/08/2019 | 3537.35      | 95         | 0.35         | 8.42%          | 9.34% | 2.315                         | 2.218 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/08/2019 | 3537.70      | 96         | 0.35         | 8.42%          | 9.58% | 2.315                         | 2.218 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/08/2019 | 3538.00      | 97         | 0.30         | 8.42%          | 9.43% | 2.315                         | 2.236 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPEJOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|-------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 24/08/2019 | 3538.35      | 98         | 0.35         | 8.42%          | 9.80% | 2.315                         | 2.219 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/08/2019 | 3538.70      | 99         | 0.35         | 8.42%          | 9.17% | 2.315                         | 2.225 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/08/2019 | 3539.00      | 100        | 0.30         | 8.35%          | 9.68% | 2.310                         | 2.226 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/08/2019 | 3539.35      | 101        | 0.35         | 8.35%          | 9.24% | 2.310                         | 2.223 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/08/2019 | 3539.70      | 102        | 0.35         | 8.35%          | 9.50% | 2.310                         | 2.220 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 28/08/2019 | 3540.00      | 103        | 0.30         | 8.35%          | 9.56% | 2.310                         | 2.219 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/08/2019 | 3540.35      | 104        | 0.35         | 8.35%          | 9.81% | 2.310                         | 2.211 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/08/2019 | 3540.70      | 105        | 0.35         | 8.38%          | 9.27% | 2.304                         | 2.213 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/08/2019 | 3541.00      | 106        | 0.30         | 8.38%          | 8.83% | 2.304                         | 2.210 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/08/2019 | 3541.35      | 107        | 0.35         | 8.38%          | 8.93% | 2.304                         | 2.205 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 26/08/2019 | 3541.70      | 108        | 0.35         | 8.38%          | 9.05% | 2.304                         | 2.05  | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 03/09/2019 | 3542.00      | 109        | 0.30         | 8.38%          | 9.38% | 2.304                         | 2.215 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 04/09/2019 | 3542.35      | 110        | 0.35         | 8.43%          | 9.12% | 2.306                         | 2.214 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 05/09/2019 | 3542.70      | 111        | 0.35         | 8.43%          | 9.20% | 2.306                         | 2.212 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 05/09/2019 | 3543.00      | 112        | 0.30         | 8.43%          | 9.83% | 2.306                         | 2.219 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/09/2019 | 3543.35      | 113        | 0.35         | 8.43%          | 9.12% | 2.306                         | 2.228 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/09/2019 | 3543.70      | 114        | 0.35         | 8.43%          | 9.27% | 2.306                         | 2.204 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/09/2019 | 3540.00      | 115        | 0.30         | 8.12%          | 9.10% | 2.311                         | 2.215 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/09/2019 | 3544.35      | 116        | 0.35         | 8.12%          | 9.70% | 2.311                         | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/09/2019 | 3544.70      | 117        | 0.35         | 8.12%          | 9.66% | 2.311                         | 2.227 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/09/2019 | 3545.00      | 118        | 0.30         | 8.12%          | 9.57% | 2.311                         | 2.209 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/09/2019 | 3545.35      | 119        | 0.35         | 8.12%          | 9.68% | 2.311                         | 2.215 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/09/2019 | 3545.70      | 120        | 0.35         | 8.37%          | 9.97% | 2.320                         | 2.229 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/09/2019 | 3546.00      | 121        | 0.30         | 8.37%          | 9.17% | 2.320                         | 2.217 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/09/2019 | 3546.35      | 122        | 0.35         | 8.37%          | 9.63% | 2.320                         | 2.217 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/09/2019 | 3546.70      | 123        | 0.35         | 8.37%          | 9.31% | 2.320                         | 2.235 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/09/2019 | 3547.00      | 124        | 0.30         | 8.37%          | 9.63% | 2.320                         | 2.227 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/09/2019 | 3547.35      | 125        | 0.35         | 8.16%          | 9.37% | 2.309                         | 2.212 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/09/2019 | 3547.70      | 126        | 0.35         | 8.16%          | 9.26% | 2.309                         | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPE-<br>SOR<br>m | CONTENIDO HUM. |       | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|-------------------|----------------|-------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |                   | Optimo         | Campo | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 16/09/2019 | 3548.00      | 127        | 0.30              | 8.16%          | 9.43% | 2.309                         | 2.229 | 96.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 16/09/2019 | 3548.35      | 128        | 0.35              | 8.16%          | 9.49% | 2.309                         | 2.212 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/09/2019 | 3548.70      | 129        | 0.35              | 8.16%          | 9.44% | 2.309                         | 2.219 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/09/2019 | 3549.00      | 130        | 0.30              | 8.31%          | 9.66% | 2.313                         | 2.213 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/09/2019 | 3549.35      | 131        | 0.35              | 8.31%          | 9.52% | 2.313                         | 2.221 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/09/2019 | 3549.70      | 132        | 0.35              | 8.31%          | 9.71% | 2.313                         | 2.221 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/09/2019 | 3550.00      | 133        | 0.30              | 8.31%          | 9.67% | 2.313                         | 2.215 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 20/09/2019 | 3550.35      | 134        | 0.35              | 8.31%          | 9.46% | 2.313                         | 2.260 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/09/2019 | 3550.70      | 135        | 0.35              | 8.28%          | 9.36% | 2.311                         | 2.210 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/09/2019 | 3551.00      | 136        | 0.30              | 8.28%          | 9.41% | 2.311                         | 2.220 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/09/2019 | 3551.35      | 137        | 0.35              | 8.28%          | 9.50% | 2.311                         | 2.227 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/09/2019 | 3551.70      | 138        | 0.35              | 8.28%          | 9.66% | 2.311                         | 2.224 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/09/2019 | 3552.00      | 139        | 0.30              | 8.28%          | 9.55% | 2.311                         | 2.228 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/09/2019 | 3552.35      | 140        | 0.35              | 7.97%          | 9.53% | 2.317                         | 2.228 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/09/2019 | 3552.70      | 141        | 0.35              | 7.97%          | 9.41% | 2.317                         | 2.235 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/09/2019 | 3553.00      | 142        | 0.30              | 7.97%          | 9.57% | 2.317                         | 2.230 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/09/2019 | 3553.35      | 143        | 0.35              | 7.97%          | 9.93% | 2.317                         | 2.231 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/10/2019 | 3553.70      | 144        | 0.35              | 7.97%          | 9.88% | 2.317                         | 2.227 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 02/10/2019 | 3554.00      | 145        | 0.30              | 7.83%          | 9.88% | 2.334                         | 2.230 | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 03/10/2019 | 3554.35      | 146        | 0.35              | 7.83%          | 9.47% | 2.334                         | 2.244 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 04/10/2019 | 3554.70      | 147        | 0.35              | 7.83%          | 9.67% | 2.334                         | 2.234 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 05/10/2019 | 3555.00      | 148        | 0.30              | 7.83%          | 9.54% | 2.334                         | 2.244 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 05/10/2019 | 3555.35      | 149        | 0.35              | 7.83%          | 9.69% | 2.334                         | 2.24  | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/10/2019 | 3555.70      | 150        | 0.35              | 7.86%          | 9.60% | 2.332                         | 2.23  | 95.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/10/2019 | 3556.00      | 151        | 0.30              | 7.86%          | 9.72% | 2.332                         | 2.231 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 07/10/2019 | 3556.35      | 152        | 0.35              | 7.86%          | 9.72% | 2.332                         | 2.247 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/10/2019 | 3556.70      | 153        | 0.35              | 7.86%          | 9.44% | 2.332                         | 2.247 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/10/2019 | 3557.00      | 154        | 0.30              | 7.86%          | 9.58% | 2.332                         | 2.243 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/10/2019 | 3557.35      | 155        | 0.35              | 8.34%          | 9.63% | 2.306                         | 2.212 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 10/10/2019 | 3557.70      | 156        | 0.35         | 8.34%          | 9.50%  | 2.306                         | 2.209 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/10/2019 | 3558.00      | 157        | 0.30         | 8.34%          | 9.92%  | 2.306                         | 2.212 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/10/2019 | 3558.35      | 158        | 0.35         | 8.34%          | 9.71%  | 2.306                         | 2.217 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/10/2019 | 3558.70      | 159        | 0.35         | 8.34%          | 9.55%  | 2.306                         | 2.215 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/10/2019 | 3559.00      | 160        | 0.30         | 8.28%          | 9.49%  | 2.317                         | 2.226 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/10/2019 | 3559.35      | 161        | 0.35         | 8.28%          | 9.95%  | 2.317                         | 2.216 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/10/2019 | 3559.70      | 162        | 0.35         | 8.28%          | 9.61%  | 2.317                         | 2.243 | 96.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 14/10/2019 | 3560.00      | 163        | 0.30         | 8.28%          | 9.61%  | 2.317                         | 2.228 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/10/2019 | 3560.35      | 164        | 0.35         | 8.28%          | 9.75%  | 2.317                         | 2.226 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/10/2019 | 3560.70      | 165        | 0.35         | 8.27%          | 9.48%  | 2.319                         | 2.227 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/10/2019 | 3561.00      | 166        | 0.30         | 8.27%          | 9.66%  | 2.319                         | 2.219 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/10/2019 | 3561.35      | 167        | 0.35         | 8.27%          | 9.53%  | 2.319                         | 2.224 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/10/2019 | 3561.70      | 168        | 0.35         | 8.27%          | 9.54%  | 2.319                         | 2.228 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/10/2019 | 3562.00      | 169        | 0.30         | 8.27%          | 9.57%  | 2.319                         | 2.235 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/10/2019 | 3562.35      | 170        | 0.35         | 8.23%          | 9.58%  | 2.317                         | 2.223 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 29/10/2019 | 3562.70      | 171        | 0.35         | 8.23%          | 10.04% | 2.317                         | 2.227 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/10/2019 | 3563.00      | 172        | 0.30         | 8.23%          | 9.98%  | 2.317                         | 2.222 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 31/10/2019 | 3563.35      | 173        | 0.35         | 8.23%          | 9.80%  | 2.317                         | 2.229 | 96.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/11/2019 | 3563.70      | 174        | 0.35         | 8.23%          | 9.64%  | 2.317                         | 2.233 | 96.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 01/11/2019 | 3564.00      | 175        | 0.30         | 8.26%          | 9.61%  | 2.307                         | 2.218 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 02/11/2019 | 3564.35      | 176        | 0.35         | 8.26%          | 9.69%  | 2.307                         | 2.214 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 03/11/2019 | 3564.70      | 177        | 0.35         | 8.26%          | 10.06% | 2.307                         | 2.21  | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 04/11/2020 | 3565.00      | 178        | 0.30         | 8.26%          | 9.87%  | 2.307                         | 2.222 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/11/2019 | 3565.35      | 179        | 0.35         | 8.26%          | 9.83%  | 2.307                         | 2.221 | 96.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 06/11/2019 | 3565.70      | 180        | 0.35         | 8.16%          | 9.71%  | 2.312                         | 2.222 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 10/11/2019 | 3566.00      | 181        | 0.30         | 8.16%          | 9.61%  | 2.312                         | 2.232 | 96.6%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/11/2019 | 3566.35      | 182        | 0.35         | 8.16%          | 9.90%  | 2.312                         | 2.216 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 12/11/2019 | 3566.70      | 183        | 0.35         | 8.16%          | 10.03% | 2.312                         | 2.212 | 95.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 15/11/2019 | 3567.00      | 184        | 0.30         | 8.16%          | 9.87%  | 2.312                         | 2.217 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

| FECHA      | COTA<br>msnm | N°<br>CAPA | ESPESOR<br>m | CONTENIDO HUM. |        | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Densidad<br>In Situ | Densidad<br>Especificada | DI ≥ De |
|------------|--------------|------------|--------------|----------------|--------|-------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
|            |              |            |              | Optimo         | Campo  | Máxima                        | Campo |                     |                          |         |
| 16/11/2019 | 3567.35      | 185        | 0.35         | 8.06%          | 9.62%  | 2.315                         | 2.231 | 98.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 17/11/2019 | 3567.70      | 186        | 0.35         | 8.06%          | 9.67%  | 2.315                         | 2.230 | 98.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 18/11/2019 | 3568.00      | 187        | 0.30         | 8.06%          | 9.60%  | 2.315                         | 2.227 | 98.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/11/2019 | 3568.35      | 188        | 0.35         | 8.06%          | 9.66%  | 2.315                         | 2.227 | 98.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/11/2019 | 3568.70      | 189        | 0.35         | 8.06%          | 9.79%  | 2.315                         | 2.238 | 98.7%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/11/2019 | 3569.00      | 190        | 0.30         | 8.30%          | 9.75%  | 2.315                         | 2.229 | 98.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 24/11/2019 | 3569.35      | 191        | 0.35         | 8.30%          | 9.75%  | 2.315                         | 2.229 | 98.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 29/11/2019 | 3569.70      | 192        | 0.35         | 8.30%          | 9.33%  | 2.315                         | 2.221 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 30/11/2019 | 3570.00      | 193        | 0.30         | 8.30%          | 9.92%  | 2.315                         | 2.217 | 95.8%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 02/12/2019 | 3570.35      | 194        | 0.35         | 8.30%          | 9.57%  | 2.315                         | 2.226 | 98.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/12/2019 | 3570.70      | 195        | 0.35         | 8.32%          | 10.14% | 2.309                         | 2.215 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 08/12/2019 | 3571.00      | 196        | 0.30         | 8.32%          | 10.10% | 2.309                         | 2.202 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 09/12/2019 | 3571.35      | 197        | 0.35         | 8.32%          | 10.17% | 2.309                         | 2.198 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 11/12/2019 | 3571.70      | 198        | 0.35         | 8.32%          | 10.16% | 2.309                         | 2.198 | 95.2%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 13/12/2019 | 3572.00      | 199        | 0.30         | 8.32%          | 10.17% | 2.309                         | 2.202 | 95.4%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/12/2019 | 3572.35      | 200        | 0.35         | 8.23%          | 9.96%  | 2.309                         | 2.247 | 97.3%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 21/12/2019 | 3572.70      | 201        | 0.35         | 8.23%          | 9.84%  | 2.309                         | 2.237 | 96.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/12/2019 | 3573.00      | 202        | 0.30         | 8.23%          | 9.54%  | 2.309                         | 2.218 | 96.0%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 22/12/2019 | 3573.35      | 203        | 0.35         | 8.23%          | 9.68%  | 2.309                         | 2.206 | 95.5%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 23/12/2019 | 3573.70      | 204        | 0.35         | 8.23%          | 9.58%  | 2.309                         | 2.214 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/12/2019 | 3574.00      | 205        | 0.30         | 8.53%          | 9.58%  | 2.319                         | 2.223 | 95.9%               | 95.0%                    | CUMPLE  |
| 25/12/2019 | 3574.35      | 206        | 0.35         | 8.53%          | 9.61%  | 2.319                         | 2.229 | 96.1%               | 95.0%                    | CUMPLE  |

Fuente: SRK, 2019

La evaluación del proceso para los datos estadísticos de humedad, compactación y densidades se evaluarán con los siguientes parámetros:  
Índice de capacidad del proceso para un nivel de confianza del 95%.

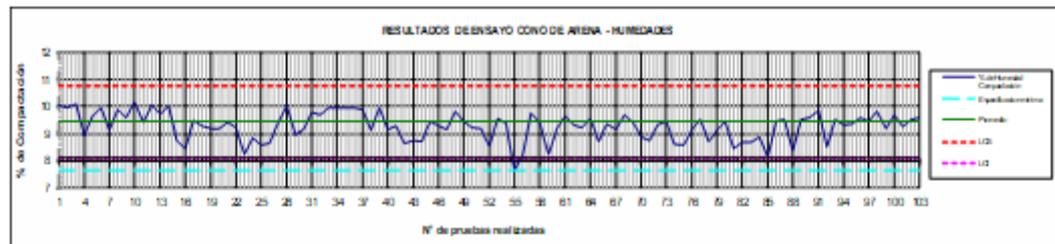
$$Cp = \frac{LCS - LCI}{3.92\sigma\bar{X}}$$

1.33 ≤ Cp → Satisfactorio  
1.00 ≤ Cp ≤ 1.33 → Adecuado  
Cp ≤ 1.00 → Inadecuado

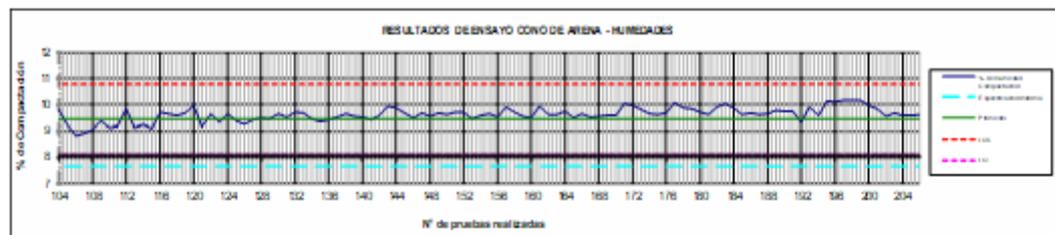
**Tabla 11: Control de humedades (Ensayo 1 – 206) – Año 2019**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN EL MATERIAL DE MEZCLA |       |
|---|-------|
| Pruebas Realizadas  | 208.0 |
| Promedio General  | 9.44  |
| Mínimo Resultado Obtenido   | 7.65  |
| Máximo Resultado Obtenido   | 10.17 |
| Desviación Estándar (S)   | 0.44  |
| Coefficiente de Variabilidad  | 4.67  |
| Tolerancia  | -     |
| Límite de Control Superior (LCS)  | 10.77 |
| Límite de Control Inferior (LCI)  | 8.12  |
| Índice de Capacidad del proceso (CP)<br>para un nivel de confianza de 95%                         | 1.53  |

Fuente: SRK, 2019

**Figura 24: Control de humedades (Ensayo 001 - 103) – Año 2019**

Fuente: SRK, 2019

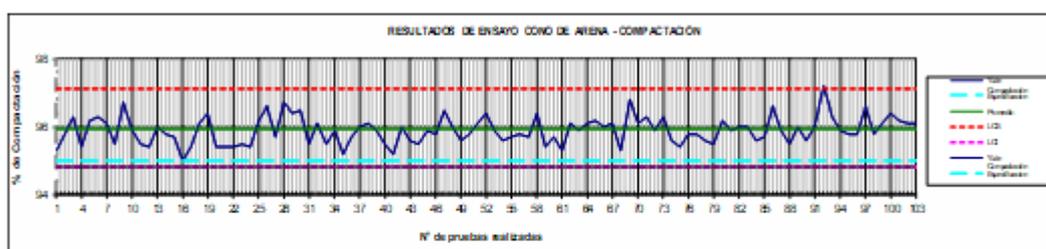
**Figura 25: Control de humedades (Ensayo 103 - 206) – Año 2019**

Fuente: SRK, 2019

**Tabla 12: Control de compactación (Ensayo 1 – 206) – Año 2019**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE COMPACTACIÓN EN EL MATERIAL DE MEZCLA |       |
|---|-------|
| Pruebas Realizadas  | 206.0 |
| Promedio General  | 95.96 |
| Mínimo Resultado Obtenido   | 95.00 |
| Máximo Resultado Obtenido   | 97.30 |
| Desviación Estándar (S)   | 0.38  |
| Coefficiente de Variabilidad  | 0.40  |
| Tolerancia  | -     |
| Límite de Control Superior (LCS)  | 97.10 |
| Límite de Control Inferior (LCI)  | 94.82 |
| Índice de Capacidad del proceso (CP)<br>para un nivel de confianza de 95%         | 1.53  |

Fuente: SRK, 2019

**Figura 26: Control de compactación (Ensayo 001 - 103) – Año 2019**

Fuente: SRK, 2019

**Figura 27: Control de compactación (Ensayo 104 - 206) – Año 2019**

Fuente: SRK, 2019

**Tabla 13: Control de densidades (Ensayo 1 – 206) – Año 2019**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE DENSIDAD OBTENIDA EN CAMPO Y DENSIDAD DE DISEÑO |       |
|---|-------|
| Pruebas Realizadas  | 206.0 |
| Promedio General  | 2.218 |
| Mínimo Resultado Obtenido   | 2.181 |
| Máximo Resultado Obtenido   | 2.250 |

|   |      |
|---|------|
| Desviación Estándar (S)   | 0.01 |
| Coefficiente de Variabilidad  | 0.54 |
| Tolerancia  | -    |
| Límite de Control Superior (LCS)  | 2.25 |
| Límite de Control Inferior (LCI)  | 2.18 |
| Índice de Capacidad del proceso (CP)<br>para un nivel de confianza de 95% | 1.53 |

Fuente: SRK, 2019

Los valores de densidad promedio, mínimo y máximo resultado obtenido, desviación estándar, son obtenidos de los cálculos del total de ensayos que en este caso fueron 206. Para efectos de mejorar la visualización de las gráficas, se mostrarán en grupos de 103 ensayos.

El comportamiento de las densidades respecto a la densidad promedio y la densidad de diseño se puede observar en la siguiente gráfica.

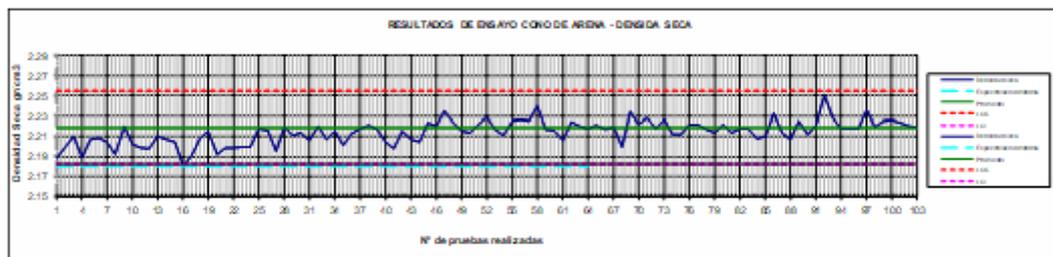


Figura 28 : Control de densidades (Ensayo 1 - 103) – Año 2019

Fuente: SRK, 2019



Figura 29: Control de densidades (Ensayo 104 - 206) – Año 2019

Fuente: SRK, 2019

#### 4.3.3 Control en la construcción de las obras de arte

De acuerdo con el plan de control de calidad del concreto, se elaboraron 40 muestras identificadas durante los trabajos de construcción de las siguientes estructuras: canal de coronación 1, canal de coronación 3, rápida 1, alcantarillas de cruce de accesos, cajas de cambio de dirección y cajas dissipadoras. El principal parámetro para definir la calidad del concreto es la resistencia a la compresión y los resultados se muestran en la **tabla 5.7**, además se observa que las muestras superan la resistencia a la compresión de 245 kg/cm<sup>2</sup> especificada en los planos del proyecto.

**Tabla 14: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto**

| N° | FECHA DE OBTENCIÓN | ESTRUCTURA  | AREA (CM2) | CARGA DE ROTURA (kg) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 7 DIAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 14 DIAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DIAS (kg/cm2) |
|----|--------------------|---|------------|----------------------|---|--|--|
| 01 | 17/02/2019         | Rápida 01 - losa y muro   | 180.27     | 58070.0              | 222.0                                       | 240.0  | 332.0  |
| 02 | 24/02/2019         | Canal de Coronación 01 caja de salida para alcantarillado - Losa  | 180.27     | 56991.5              | 232.0                                       | 276.0  | 316.0  |
| 03 | 25/02/2019         | Canal de Coronación 01 Caja de Salida para Alcantarillado - Muro  | 179.08     | 56470.0              | 238.0                                       | 286.0  | 315.0  |
| 04 | 26/02/2019         | Canal de Coronación 01 cantarilla y caja de salida Losa y Muro    | 180.86     | 73330.0              | 308.0                                       | 354.0  | 405.0  |
| 05 | 28/02/2019         | Canal de Coronación 01 caja de entrega para alcantarillado - Losa | 179.67     | 73330.0              | 270.0                                       | 318.0  | 408.0  |
| 06 | 01/03/2019         | Canal de Coronación 01 caja de entrega para alcantarillado - Muro | 180.86     | 68780.0              | 239.0                                       | 306.0  | 380.0  |
| 07 | 08/03/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 181.46     | 68525.0              | 232.0                                       | 312.0  | 378.0  |
| 08 | 14/03/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 179.67     | 71020.0              | 221.0                                       | 324.0  | 385.0  |
| 09 | 23/03/2019         | Rápida 01 - losa  | 181.58     | 61490.0              | 193.0                                       | 271.0  | 339.0  |
| 10 | 25/03/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 181.46     | 66920.0              | 205.0                                       | 269.0  | 369.0  |
| 11 | 27/03/2019         | Rápida 01 - Muro  | 178.84     | 59975.0              | 202.0                                       | 251.0  | 335.0  |
| 12 | 30/03/2019         | Rápida 01 - losa  | 178.08     | 59965.0              | 207.0                                       | 264.0  | 335.0  |
| 13 | 31/03/2019         | Rápida 01Caja disipador - losa                                    | 179.50     | 61302.0              | 220.0                                       | 275.0  | 342.0  |
| 14 | 01/04/2019         | Rápida 01 - Muro  | 179.67     | 66217.0              | 224.0                                       | 299.0  | 369.0  |
| 15 | 03/04/2019         | Rápida 01 - losa  | 179.67     | 65810.0              | 215.0                                       | 312.0  | 366.0  |
| 16 | 07/04/2019         | Rápida 01 - Muro  | 178.49     | 65755.0              | 227.0                                       | 297.0  | 368.0  |
| 17 | 08/04/2019         | Rápida 01 - Muro  | 180.27     | 68640.0              | 228.0                                       | 290.0  | 381.0  |
| 18 | 12/04/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 180.27     | 69150.0              | 239.0                                       | 294.0  | 384.0  |
| 19 | 14/04/2019         | Canal de Coronación 01 - Losa y Muro                              | 181.46     | 67735.0              | 189.0                                       | 265.0  | 373.0  |
| 20 | 08/04/2019         | Rápida 01 - Muro  | 180.86     | 69105.0              | 228.0                                       | 281.0  | 382.0  |
| 21 | 20/04/2019         | Rápida 01 - losa  | 180.86     | 69535.0              | 210.0                                       | 280.0  | 384.0  |
| 22 | 22/04/2019         | Rápida 01 - losa  | 180.27     | 54123.0              | 212.0                                       | 290.0  | 300.0  |
| 23 | 24/04/2019         | Rápida 01 - Muro  | 179.08     | 54323.0              | 223.0                                       | 279.0  | 303.0  |

| N° | FECHA DE OBTENCIÓN | ESTRUCTURA   | AREA (CM2) | CARGA DE ROTURA (kg) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 7 DÍAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 14 DÍAS (kg/cm2) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DÍAS (kg/cm2) |
|----|--------------------|--|------------|----------------------|---|--|--|
| 24 | 26/04/2019         | Rápida 01 - Muro   | 181.46     | 55523.0              | 206.0                                       | 283.0  | 306.0  |
| 25 | 25/08/2019         | Rápida 01 techo  | 180.86     | 46490.0              | 177.0                                       | 234.0  | 257.0  |
| 26 | 02/10/2019         | Construcción de alcantarilla de la rápida 01 Losa          | 180.86     | 45525.0              | 186.0                                       | 232.0  | 252.0  |
| 27 | 04/10/2019         | Construcción de alcantarilla de la rápida 01 - Cuerpo      | 177.90     | 44740.0              | 190.0                                       | 227.0  | 251.0  |
| 28 | 19/10/2019         | Construcción de la caja de desvío de la rápida 01 - Cuerpo | 179.67     | 45445.0              | 178.0                                       | 232.0  | 253.0  |
| 29 | 22/10/2019         | Construcción de la rápida 01 - Losa                        | 179.67     | 45295.0              | 174.0                                       | 231.0  | 252.0  |
| 30 | 23/10/2019         | Construcción de la rápida 01 - Muro                        | 179.08     | 45395.0              | 164.0                                       | 233.0  | 253.0  |
| 31 | 01/11/2019         | Construcción de la rápida 01 - Losa                        | 179.67     | 45685.0              | 184.0                                       | 235.0  | 254.0  |
| 32 | 05/11/2019         | Caja disipadora 0+749.74 de la rápida 01 - Muro            | 178.49     | 46140.0              | 189.0                                       | 231.0  | 259.0  |
| 33 | 06/11/2019         | Caja disipadora 0+749.74 de la rápida 01 - Techo           | 180.27     | 49020.0              | 186.0                                       | 230.0  | 272.0  |
| 34 | 07/11/2019         | Rápida 01 - Losa   | 182.06     | 48200.0              | 194.0                                       | 233.0  | 285.0  |
| 35 | 11/11/2019         | Rápida 01 - Muro   | 180.27     | 48030.0              | 197.0                                       | 239.0  | 286.0  |

Fuente: SRK, 2019

La evaluación del proceso para los datos estadísticos de resistencia a la compresión del concreto se evaluará con los siguientes parámetros:

Índice de capacidad del proceso para un nivel de confianza del 95%.

$$C_p = \frac{LCS - LCI}{3.92\sigma}$$

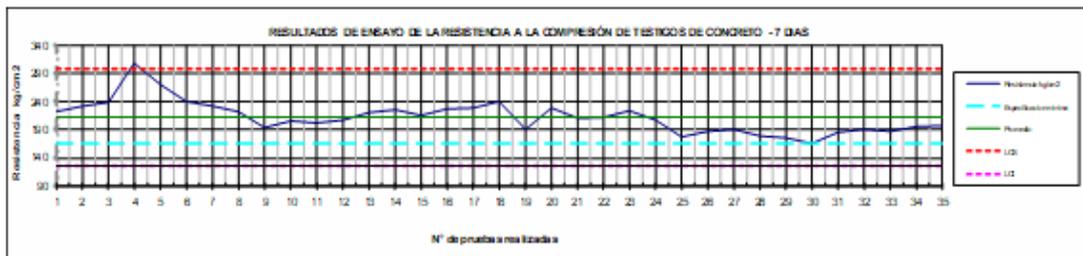
$1.33 \leq C_p$                      $\longrightarrow$  Satisfactorio  
 $1.00 \leq C_p \leq 1.33$          $\longrightarrow$  Adecuado  
 $C_p \leq 1.00$                      $\longrightarrow$  Inadecuado

**Tabla 15: Control a la compresión del concreto – 7 días**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 7 DÍAS |        |
|--|--------|
| Pruebas Realizadas   | 35.0   |
| Promedio General   | 211.69 |
| Mínimo Resultado Obtenido  | 164.00 |
| Máximo Resultado Obtenido  | 308.00 |
| Desviación Estándar (S)  | 28.54  |
| Coefficiente de Variabilidad   | 13.48  |
| Tolerancia   | -      |
| Límite de Control Superior (LCS)   | 297.31 |
| Límite de Control Inferior (LCI)   | 128.06 |
| Índice de Capacidad del proceso (CP)<br>para un nivel de confianza de 95%        | 1.53   |

Fuente: SRK, 2019

El comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días se puede observar en la siguiente gráfica.

**Figura 30: Control a la compresión del concreto – 7 días**

Fuente: SRK, 2019

**Tabla 16: Control a la compresión del concreto – 14 días**

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 14 DÍAS |        |
|---|--------|
| Pruebas Realizadas  | 35.0   |
| Promedio General  | 270.66 |
| Mínimo Resultado Obtenido   | 227.00 |
| Máximo Resultado Obtenido   | 354.00 |
| Desviación Estándar (S)   | 33.32  |
| Coefficiente de Variabilidad  | 12.31  |
| Tolerancia  | -      |
| Límite de Control Superior (LCS)  | 370.61 |
| Límite de Control Inferior (LCI)  | 170.70 |
| Índice de Capacidad del proceso (CP)<br>para un nivel de confianza de 95%         | 1.53   |

Fuente: SRK, 2019

El comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a los 14 días se puede observar en la siguiente gráfica.

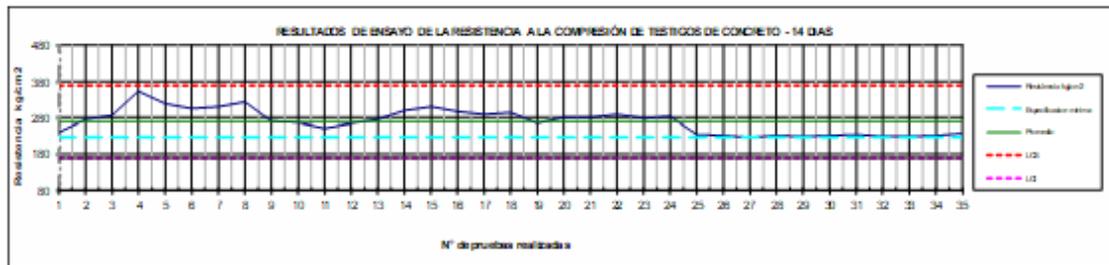


Figura 31: Control a la compresión del concreto – 14 días

Fuente: SRK, 2019

Tabla 17: Control a la compresión del concreto – 28 días

| EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 28 DIAS |        |
|---|--------|
| Pruebas Realizadas  | 35.0   |
| Promedio General  | 325.69 |
| Mínimo Resultado Obtenido   | 251.00 |
| Máximo Resultado Obtenido   | 408.00 |
| Desviación Estándar (S)   | 54.19  |
| Coefficiente de Variabilidad  | 16.64  |
| Tolerancia  | -      |
| Límite de Control Superior (LCS)  | 488.27 |
| Límite de Control Inferior (LCI)  | 163.10 |
| Índice de Capacidad del proceso (CP) para un nivel de confianza de 95%            | 1.53   |

Fuente: SRK, 2019

El comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días se puede observar en la siguiente gráfica.

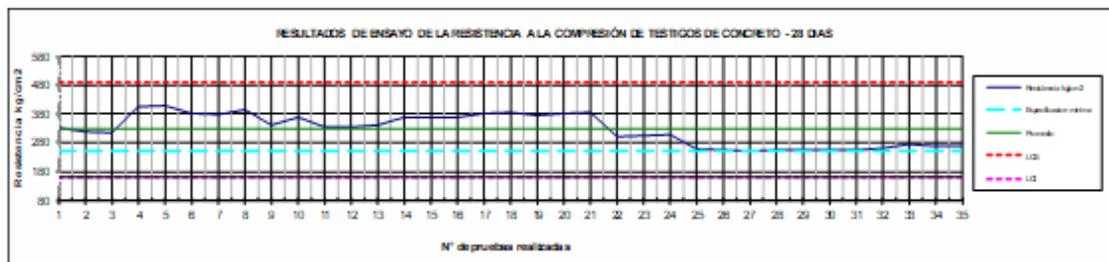


Figura 32: Control a la compresión del concreto – 28 días

Fuente: SRK, 2019

#### 4.3.4 Análisis Granulométrico, SUCS y Proctor Modificado

La cantera utilizada para la preparación del concreto usado aprobadas en el estudio y proyecto en ejecución.

El detalle de los resultados del análisis granulométrico, clasificación SUCS y Proctor Modificado se adjunta como anexo 12 del presente informe.

#### 4.4 Análisis de estabilidad física

A continuación, se muestra el análisis de estabilidad física realizado en el expediente técnico del proyecto "Construcción de la ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco (zona Machuccato)", elaborado por SRK Consulting (Peru) SA - (Antes SVS Ingenieros SA), documento con el que se obtuvo la autorización de construcción aprobado por el MEM mediante Resolución N° 115-2017-MEM-DGM/V del 17 de febrero del 2017.

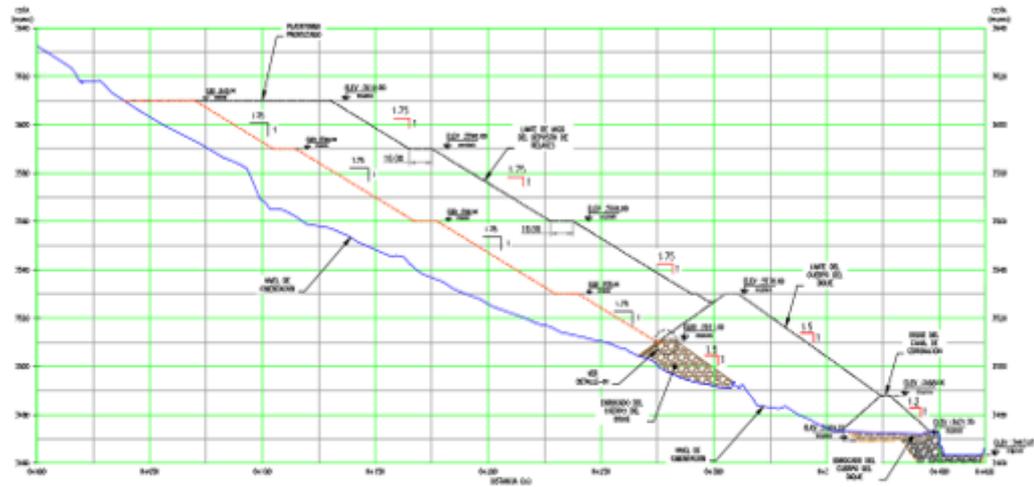


Figura 33: Vaso del depósito de relaves filtrados Ramahuayco (zona Machuccato)

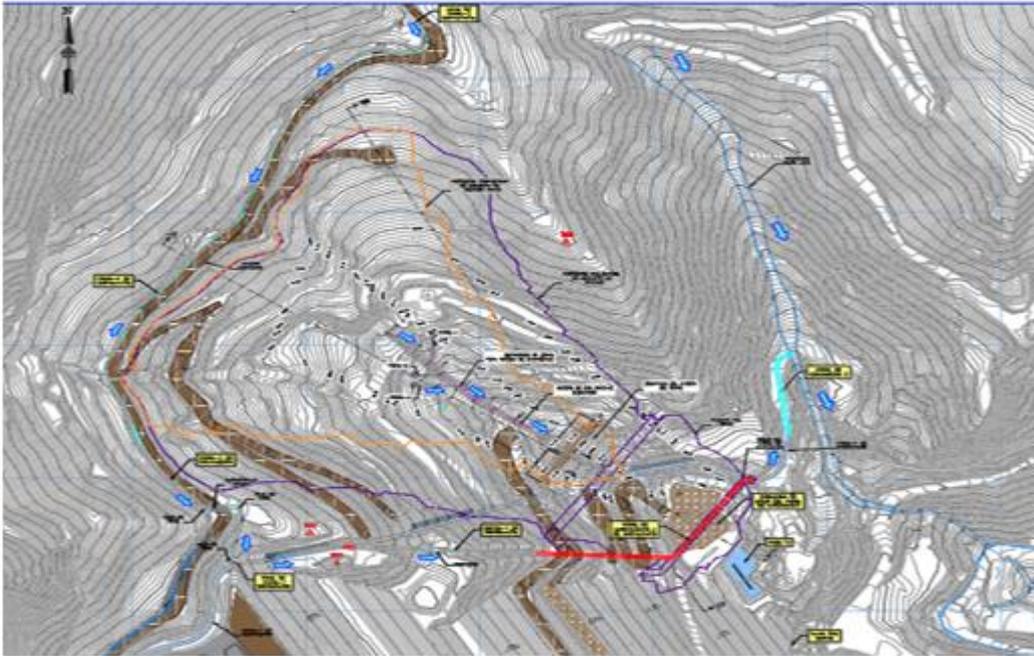


Figura 34: Arreglo General

En ingeniería estructural, el factor de seguridad es usualmente definido como la razón entre la carga de colapso (resistente) y la carga de trabajo. Para estructuras de suelo, sin embargo, esta definición no es siempre útil.

Para presas, por ejemplo, la mayoría de la carga es causada por el peso del suelo y un incremento en el peso del suelo no necesariamente conducirá al colapso. En efecto, un talud puramente de suelo friccionante no fallará en una prueba en la que su propio peso es incrementado (como en una prueba centrífuga). Por tanto, una definición apropiada del factor de seguridad es:

$$FS = \frac{S_{disponible}}{S_{requerido}}$$

Donde  $S$  representa la Resistencia al corte. La razón entre la resistencia verdadera con la resistencia mínima necesaria para el equilibrio es el factor de seguridad que es convencionalmente usado en mecánica de suelos. Introduciendo la condición estándar de Coulomb, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{c + \sigma_n \tan \phi}{c_r + \sigma_n \tan \phi_r}$$

Donde  $c$  y  $\phi$  son los parámetros de resistencia de ingreso (input) y  $\sigma_n$  es el esfuerzo normal actual. Los parámetros  $c_r$  y  $\phi_r$  son los parámetros de resistencia reducidos necesarios para mantener el equilibrio.

El principio descrito anteriormente es la base del método *Safety* que puede ser usado en PLAXIS para calcular el factor de seguridad global. En este enfoque la cohesión y el ángulo de fricción son reducidos en la misma proporción ( $c - \phi$  reduction):

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} = \sum Msf \quad c_r = \frac{c}{\sum Msf}$$

La reducción de los parámetros de resistencia es controlada por el multiplicador total  $\sum Msf$ . Este parámetro es incrementado en un procedimiento paso a paso hasta que la falla ocurre. El factor de seguridad es luego definido como el valor del  $\sum Msf$  en la falla.

Para la condición seudo estática se consideró un coeficiente sísmico de 0.16 resultado del estudio de riesgo sísmico, equivalente a sismo con período de retorno de 475 años (sismo de cierre).

En la Tabla 3 se presenta los valores de los factores de seguridad mínimos de acuerdo al criterio del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. (USACE) y del MEM.

**Tabla 18: Valores de Factores de Seguridad Mínimos Admisibles**

| Condición      | Factor de Seguridad |      |
|----------------|---------------------|------|
|                | USACE               | MEM  |
| Estático       | 1.5                 | 1.5  |
| Seudo estático | 1.0                 | 1.2* |

Nota: \* Sismo máximo con periodo de retorno de 100 años

Los análisis de estabilidad de los taludes del depósito de relaves se evaluaron con el software PLAXIS 2014 el cual permite la visualización gráfica de la superficie de falla crítica.

En la Tabla 4 se presentan los valores de los factores de seguridad obtenidos y en el Anexo 7.1.4.1 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad.

**Tabla 19: Factores de seguridad de Presa de Relaves**

| Factor de Seguridad    |      | Estructuras afectadas por la Falla |
|------------------------|------|------------------------------------|
| Estático               | 1.51 | Deposito – material mezcla.        |
| Seudo estático<br>0.16 | 1.00 | Deposito – material mezcla.        |

Para fines de cierre la resistencia a largo plazo será mayor, garantizando la geometría actual y las condiciones de seguridad requeridas para el cierre del depósito de relaves filtrados.

Se debe indicar que un factor de seguridad seudo estático mayor a 1.0 no significa que los taludes del depósito no se moverán durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes, asociados al sismo de diseño.

El depósito de relaves Ramahuayco es estable para las secciones de análisis, si se considera un criterio de aceptabilidad de  $F_s > 1.5$ , el análisis seudo estático indica que el depósito es estable si se considera un coeficiente horizontal máximo de 0.16g y un criterio de aceptabilidad  $F_s > 1.0$ .

Se recomienda calibrar el modelo durante la etapa de construcción con los resultados del monitoreo, de manera de confirmar y/o verificar los desplazamientos esperados.

El análisis de estabilidad de taludes implica determinar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo, determinándose un factor de seguridad que se define como:

$$FS = \frac{\tau_r}{\tau_d}$$

Dónde:

$F_s$ : factor de seguridad

$\tau_r$ : Resistencia cortante promedio del suelo

$\tau_d$ : Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

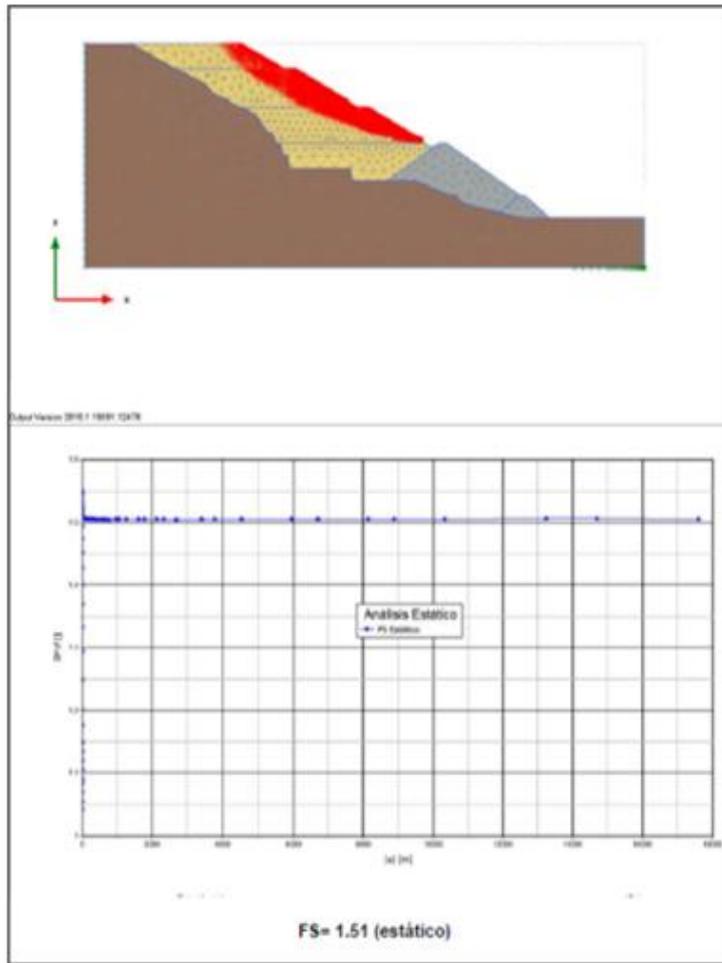


Figura 35: Análisis estático

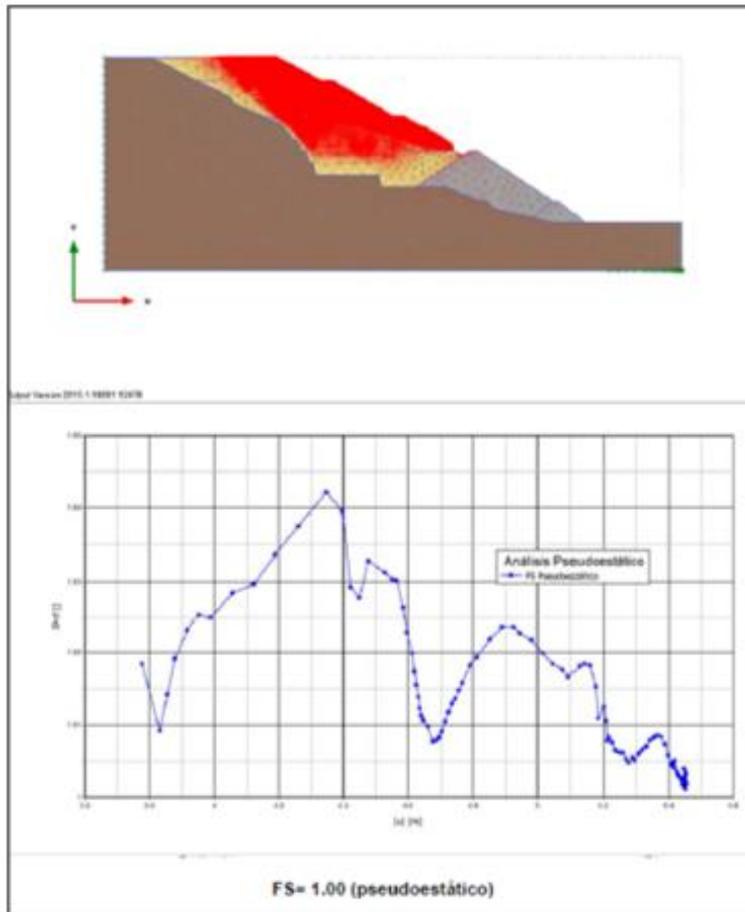


Figura 36: Análisis pseudo estático

## 4.5 Seguridad y Medio Ambiente

SRK da la máxima importancia a la seguridad y se comprometió a garantizar que todo el trabajo llevado a cabo por nuestro personal se llevó a cabo de una manera segura. La prevención de los accidentes de trabajo, enfermedades e incidentes es un objetivo primordial de todas las actividades de SRK.

SRK al ser una empresa especializada en brindar servicios a diferentes empresas del rubro minero, se acogió y respetó las normas establecidas por CHSM y como parte de esa labor de integrarse al aspecto de seguridad de la mina, los supervisores de SRK tienen el deber de registrar e informar al área de seguridad cualquier acción u omisión que atente contra la seguridad de las personas o los procesos.

Formato de ensayo de granulometría por tamizado ASTM – 6913

(Material para Pedraplén)

|                    |   |  |  |  |                    |                    |  |
|--------------------|---|--|--|--|--------------------|--------------------|--|
| <b>PROYECTO</b>    | : Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machuccato) |  |  |  |                    |                    |  |
| <b>UBICACIÓN</b>   | : Canarias - Víctor Fajardo - Ayacucho  |  |  |  |                    |                    |  |
| <b>CLIENTE</b>     | : Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C.  |  |  |  | <b>N° ENSAYO</b>   | : AG-P-CADFRFR-001 |  |
| <b>N° PROYECTO</b> | : 19-S-301-01   |  |  |  | <b>RESPONSABLE</b> | : O.A.A.           |  |
| <b>MUESTRAL</b>    | : Cantera Machuccato  |  |  |  | <b>TÉCNICO</b>     | : C. F. Z.         |  |
| <b>SONSAJE</b>     | : Representativo  |  |  |  | <b>FECHA</b>       | : 19/05/2019       |  |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |  | OBSERVACIONES                 |         |
|-------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|---------|
| 3"    | 76.200        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | <b>ANÁLISIS DE LA MUESTRA</b> |         |
| 2"    | 50.800        | 7059.4              | 20.91                | 20.91                  | 79.09                             |  |                               |         |
| 1½"   | 38.100        | 12581.0             | 37.27                | 58.18                  | 41.82                             |  | PESO INICIAL(gr):             | 33760.2 |
| 1"    | 25.400        | 8246.4              | 24.43                | 82.61                  | 17.39                             |  | HUMEDAD (%):                  | 0.42    |
| ¾"    | 19.050        | 2901.4              | 8.59                 | 91.20                  | 8.80                              |  | GRUESOS(%):                   | 99.82   |
| ½"    | 12.700        | 617.6               | 1.83                 | 93.03                  | 6.97                              |  | GRAVA(%):                     | 99.30   |
| 3/8"  | 9.525         | 1595.9              | 4.73                 | 97.76                  | 2.24                              |  | ARENA(%):                     | 0.52    |
| #4    | 4.750         | 520.2               | 1.54                 | 99.30                  | 0.70                              |  | FINOS(%):                     | 0.18    |
| Suma  |               | 33521.90            |                      |                        |                                   |  | BANDEJA N°                    |         |

| TAMIZ.  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |       | OBSERVACIONES                 |        |
|---------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|--------|
|         |               |                     |                      |                        | >#20                              | Total |                               |        |
| #10     | 2.000         | 80.80               | 39.96                | 39.96                  | 60.04                             | 0.42  | <b>ANÁLISIS DE LA MUESTRA</b> |        |
| #20     | 0.850         | 29.70               | 14.69                | 54.65                  | 45.35                             | 0.32  |                               |        |
| #40     | 0.425         | 15.20               | 7.52                 | 62.17                  | 37.83                             | 0.26  | PESO INICIAL                  |        |
| #60     | 0.250         | 9.50                | 4.70                 | 66.87                  | 33.13                             | 0.23  | MENOR DE LA                   | 202.20 |
| #100    | 0.150         | 7.40                | 3.66                 | 70.53                  | 29.47                             | 0.21  | MALLA # 4(gr):                |        |
| #200    | 0.075         | 8.00                | 3.96                 | 74.49                  | 25.51                             | 0.18  | < # 200 (%)                   | 0.18   |
| Bandeja |               | 0.12                |                      |                        |                                   |       |                               |        |
| Suma    |               | 150.72              |                      |                        |                                   |       | BANDEJA N°                    |        |

| Limite liquido LL (%)          | NP    | <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Clasificación SUCS</th> </tr> <tr> <td colspan="2">GP</td> </tr> </table><br> | Clasificación SUCS |  | GP |  |
|--------------------------------|-------|---|--------------------|--|----|--|
| Clasificación SUCS             |       |   |                    |  |    |  |
| GP                             |       |   |                    |  |    |  |
| Limite plastico LP (%)         | NP    |   |                    |  |    |  |
| Índice plasticidad IP (%)      | NP    |   |                    |  |    |  |
| D60 (mm)                       | 43.84 |   |                    |  |    |  |
| D30 (mm)                       | 31.31 |   |                    |  |    |  |
| D10 (diámetro efectivo,mm)     | 19.83 |   |                    |  |    |  |
| Coficiente de uniformidad (Cu) | 2.21  |   |                    |  |    |  |
| Grado de curvatura (Cc)        | 1.13  |   |                    |  |    |  |

Formato de ensayo de granulometría por tamizado ASTM – 6913

(Material para Vaso de Almacenamiento - Mezcla)

|                    |   |  |  |                    |                  |  |
|--------------------|---|--|--|--------------------|------------------|--|
| <b>Proyecto</b>    | : Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machuccato) |  |  |                    |                  |  |
| <b>Ubicación</b>   | : Canarias - Victor Fajardo - Ayacucho  |  |  | <b>N° Ensayo</b>   | : AG-M-CADFR-039 |  |
| <b>Cliente</b>     | : Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C.  |  |  | <b>Responsable</b> | : J.LL.J         |  |
| <b>N° Proyecto</b> | : 19-S-301-04   |  |  | <b>Técnico</b>     | : I. M. S.       |  |
| <b>Muestra</b>     | : Mezcla ( 3.0 de Realve y 1.0 de Prestamo )  |  |  | <b>Fecha</b>       | : 07/12/2019     |  |
| <b>Sondaje</b>     | : Representativo / Acopiado en Amanda Planta  |  |  |                    |                  |  |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |  | OBSERVACIONES                 |         |
|-------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|---------|
| 3"    | 76.200        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |         |
| 2"    | 50.800        | 1326.6              | 4.06                 | 4.06                   | 95.94                             |  |                               |         |
| 1½"   | 38.100        | 922.5               | 2.82                 | 6.88                   | 93.12                             |  | PESO INICIAL (gr)             | 32658.0 |
| 1"    | 25.400        | 785.6               | 2.41                 | 9.29                   | 90.71                             |  | HUMEDAD (%)                   | 10.00   |
| ¾"    | 19.050        | 695.3               | 2.13                 | 11.42                  | 88.58                             |  | GRUESOS (%)                   | 53.30   |
| ½"    | 12.700        | 822.5               | 2.52                 | 13.94                  | 86.06                             |  | GRAVA (%)                     | 20.64   |
| 3/8"  | 9.525         | 765.3               | 2.34                 | 16.28                  | 83.72                             |  | ARENA (%)                     | 32.66   |
| #4    | 4.750         | 1425.5              | 4.36                 | 20.64                  | 79.36                             |  | FINOS (%)                     | 46.70   |
| Suma  |               | 6743.30             |                      |                        |                                   |  | BANDEJA N°                    |         |

| TAMIZ.  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |       | OBSERVACIONES                 |        |
|---------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|--------|
|         |               |                     |                      |                        | >#20                              | Total |                               |        |
| #10     | 2.000         | 5.23                | 1.49                 | 1.49                   | 98.51                             | 78.18 | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |        |
| #20     | 0.850         | 8.25                | 2.36                 | 3.85                   | 96.15                             | 76.30 |                               |        |
| #40     | 0.425         | 6.95                | 1.99                 | 5.84                   | 94.16                             | 74.73 | PESO INICIAL                  |        |
| #60     | 0.250         | 18.65               | 5.33                 | 11.17                  | 88.83                             | 70.50 | MENOR DE LA                   | 350.00 |
| #100    | 0.150         | 42.58               | 12.17                | 23.34                  | 76.66                             | 60.84 | MALLA # 4(gr):                |        |
| #200    | 0.075         | 62.35               | 17.81                | 41.15                  | 58.85                             | 46.70 | < # 200 (%)                   | 46.70  |
| Bandeja |               | 0.25                |                      |                        |                                   |       | BANDEJA N°                    |        |
| Suma    |               | 144.26              |                      |                        |                                   |       |                               |        |

| Limite liquido LL (%)            | 19.36 | <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Clasificación SUCS</th> </tr> <tr> <td colspan="2">SC-SM</td> </tr> </table> | Clasificación SUCS |  | SC-SM |  |
|----------------------------------|-------|--|--------------------|--|-------|--|
| Clasificación SUCS               |       |  |                    |  |       |  |
| SC-SM                            |       |  |                    |  |       |  |
| Limite plastico LP (%)           | 12.65 |  |                    |  |       |  |
| Índice plasticidad IP (%)        | 6.71  |  |                    |  |       |  |
| D60 (mm)                         | 0.14  |  |                    |  |       |  |
| D30 (mm)                         | 0.00  |  |                    |  |       |  |
| D10 (diámetro efectivo,mm)       | 0.00  |  |                    |  |       |  |
| Coefficiente de uniformidad (Cu) | -     | <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Granulometria</th> </tr> <tr> <td colspan="2"> </td> </tr> </table>          | Granulometria      |  |       |  |
| Granulometria                    |       |  |                    |  |       |  |
|                                  |       |  |                    |  |       |  |
| Grado de curvatura (Cc)          | -     |  |                    |  |       |  |

Formato de ensayo de granulometría por tamizado ASTM – 6913

(Material de Préstamo)

|             |  |  |  |  |  |             |                   |
|-------------|--|--|--|--|--|-------------|-------------------|
| Proyecto    | : Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machucato) |  |  |  |  | N° Ensayo   | : AG-D-CADRFR-064 |
| Ubicación   | : Canarias - Victor Fajardo - Aysacucho  |  |  |  |  | Responsable | : O.A.A.          |
| Cliente     | : Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C.   |  |  |  |  | Técnico     | : J. M. S.        |
| N° Proyecto | : 18-S-301-04  |  |  |  |  | Fecha       | : 06/12/2019      |
| Muestra     | : Prestamo de Machucato - Lado izquierdo   |  |  |  |  |             |                   |
| Sondaje     | : Representativo / Acopiado en estadio inferior  |  |  |  |  |             |                   |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |  | OBSERVACIONES                 |         |
|-------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|---------|
| 3"    | 76.200        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |         |
| 2"    | 50.800        | 2560.2              | 7.80                 | 7.80                   | 92.20                             |  |                               |         |
| 1½"   | 38.100        | 2797.6              | 8.56                 | 16.36                  | 83.64                             |  | PESO INICIAL(gr):             | 32684.2 |
| 1"    | 25.400        | 3864.1              | 12.13                | 28.49                  | 71.51                             |  | HUMEDAD (%):                  | 10.60   |
| ¾"    | 19.050        | 2848.5              | 8.72                 | 37.21                  | 62.79                             |  | GRUESOS(%):                   | 81.85   |
| ½"    | 12.700        | 3630.8              | 11.11                | 48.32                  | 51.68                             |  | GRAVA(%):                     | 89.26   |
| ¼"    | 9.525         | 2497.8              | 7.64                 | 55.96                  | 44.04                             |  | ARENA(%):                     | 12.59   |
| #4    | 4.750         | 4347.5              | 13.30                | 69.26                  | 30.74                             |  | FINOS(%):                     | 18.15   |
| Suma  |               | 22636.30            |                      |                        |                                   |  |                               |         |

| TAMIZ   | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |       | OBSERVACIONES                 |  |
|---------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|--|
|         |               |                     |                      |                        | >#20                              | Total | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |  |
| #10     | 2.000         | 57.80               | 14.51                | 14.51                  | 85.49                             | 26.28 |                               |  |
| #20     | 0.850         | 42.60               | 10.69                | 25.20                  | 74.80                             | 22.99 | MENOR DE LA                   |  |
| #40     | 0.425         | 17.20               | 4.32                 | 29.52                  | 70.48                             | 21.67 | MALLA # 4(gr)                 |  |
| #60     | 0.250         | 16.90               | 4.24                 | 33.76                  | 66.24                             | 20.36 | < # 200 (%)                   |  |
| #100    | 0.150         | 13.40               | 3.36                 | 37.12                  | 62.88                             | 19.33 |                               |  |
| #200    | 0.075         | 16.30               | 3.84                 | 40.96                  | 59.04                             | 18.15 |                               |  |
| Bandeja |               | 0.25                |                      |                        |                                   |       |                               |  |
| Suma    |               | 163.45              |                      |                        |                                   |       | BANDEJA N°                    |  |

|                                  |       |                           |
|----------------------------------|-------|---------------------------|
| Limite liquido LL (%)            | 30.29 | <b>Clasificación SUCS</b> |
| Limite plastico LP (%)           | 18.86 |                           |
| Indice plasticidad IP (%)        | 11.43 | <b>Granulometría</b><br>  |
| D60 (mm)                         | 17.21 |                           |
| D30 (mm)                         | 4.11  |                           |
| D10 (diámetro efectivo,mm)       | 0.00  |                           |
| Coefficiente de uniformidad (Cu) | -     |                           |
| Grado de curvatura (Cc)          | -     |                           |

Formato de ensayo de granulometría por tamizado ASTM – 6913

(Material de Relave)

|                    |   |  |  |                    |                   |
|--------------------|---|--|--|--------------------|-------------------|
| <b>Proyecto</b>    | : Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machuacato) |  |  |                    |                   |
| <b>Ubicación</b>   | : Canarias - Victor Fajardo - Ayacucho  |  |  | <b>N° Ensayo</b>   | : AG-R-CADRFR-054 |
| <b>Cliente</b>     | : Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C.  |  |  | <b>Responsable</b> | : J.L.L.J         |
| <b>N° Proyecto</b> | : 19-S-301-04   |  |  | <b>Técnico</b>     | : C. F. Z         |
| <b>Muestra</b>     | : Relave Filtrado CR 5 / Vaso RF1 Zona C  |  |  | <b>Fecha</b>       | : 06/12/2019      |
| <b>Sondaje</b>     | : Representativo  |  |  |                    |                   |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |  | OBSERVACIONES                 |       |
|-------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|-------|
| 3"    | 76.200        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | <b>ANÁLISIS DE LA MUESTRA</b> |       |
| 2"    | 50.800        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  |                               |       |
| 1½"   | 38.100        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | PESO INICIAL( gr):            | 400.0 |
| 1"    | 25.400        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | HUMEDAD (%):                  | 16.85 |
| ¾"    | 19.050        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | GRUESOS(%):                   | 37.84 |
| ½"    | 12.700        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | GRAVA(%):                     | 0.00  |
| 3/8"  | 9.525         | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | ARENA(%):                     | 37.84 |
| #4    | 4.750         | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | FINOS(%):                     | 62.16 |
| Suma  |               | 0.00                |                      |                        |                                   |  | BANDEJA N°                    |       |

| TAMIZ   | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |       | OBSERVACIONES                 |        |
|---------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|--------|
| #10     | 2.000         | 0.06                | 0.02                 | 0.02                   | >#20                              | Total | <b>ANÁLISIS DE LA MUESTRA</b> |        |
| #20     | 0.850         | 0.25                | 0.06                 | 0.08                   | 99.98                             | 99.98 |                               |        |
| #40     | 0.425         | 0.45                | 0.11                 | 0.19                   | 99.81                             | 99.81 | PESO INICIAL                  |        |
| #60     | 0.250         | 14.85               | 3.69                 | 3.85                   | 96.15                             | 96.15 | MENOR DE LA                   | 400.00 |
| #100    | 0.150         | 52.32               | 13.06                | 16.93                  | 63.07                             | 63.07 | MALLA # 4( gr):               |        |
| #200    | 0.075         | 83.65               | 20.91                | 37.84                  | 62.16                             | 62.16 | < # 200 (%):                  | 62.16  |
| Bandeja |               | 0.15                |                      |                        |                                   |       | BANDEJA N°                    |        |
| Suma    |               | 151.53              |                      |                        |                                   |       |                               |        |

|                                  |       |  |
|----------------------------------|-------|--|
| Limite liquido LL (%)            | 17.08 | <div style="text-align: center;"> <b>Clasificación SUCS</b><br/> <b>CL-ML</b> </div> |
| Limite plastico LP (%)           | 11.57 |  |
| Índice plasticidad IP (%)        | 5.51  |  |
| D60 (mm)                         | 0.00  |  |
| D30 (mm)                         | 0.00  |  |
| D10 (diámetro efectivo, mm)      | 0.00  |  |
| Coefficiente de uniformidad (Cu) | -     |  |
| Grado de curvatura (Cc)          | -     |  |

Formato de ensayo de granulometría por tamizado ASTM – 6913

(Material de Filtro tipo 1)

|             |  |  |  |  |  |             |                   |
|-------------|--|--|--|--|--|-------------|-------------------|
| Proyecto    | : Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machucato) |  |  |  |  | N° Ensayo   | : AG-F-CADRFR-044 |
| Ubicación   | : Canarias - Victor Fajardo - Ayacucho   |  |  |  |  | Responsable | : J.L.L.J         |
| Cliente     | : Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C.   |  |  |  |  | Técnico     | : I. M. S.        |
| N° Proyecto | : 19-S-301-04  |  |  |  |  | Fecha       | : 04/12/2019      |
| Muestra     | : Material para filtro ( tipo 1)   |  |  |  |  |             |                   |
| Procedencia | : Cantera Cayhua   |  |  |  |  |             |                   |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |  | OBSERVACIONES                 |         |
|-------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|---------|
| 3"    | 76.200        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |         |
| 2"    | 50.800        | 2438.2              | 6.54                 | 6.54                   | 93.46                             |  |                               |         |
| 1½"   | 38.100        | 3279.1              | 8.80                 | 15.34                  | 84.66                             |  | PESO INICIAL(gr):             | 37265.7 |
| 1"    | 25.400        | 4266.3              | 11.45                | 26.79                  | 73.21                             |  | HUMEDAD (%):                  | 1.90    |
| ¾"    | 19.050        | 2343.7              | 6.29                 | 33.08                  | 66.92                             |  | GRUESOS(%):                   | 97.79   |
| ½"    | 12.700        | 2621.3              | 7.03                 | 40.11                  | 59.89                             |  | GRAVA(%):                     | 52.83   |
| 3/8"  | 9.525         | 1464.5              | 3.93                 | 44.04                  | 55.96                             |  | ARENA(%):                     | 44.96   |
| #4    | 4.750         | 3275.7              | 8.79                 | 52.83                  | 47.17                             |  | FINOS(%):                     | 2.21    |
| Suma  |               | 19688.80            |                      |                        |                                   |  | BANDEJA N°                    |         |

| TAMIZ.  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |       | OBSERVACIONES                 |        |
|---------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|--------|
|         |               |                     |                      |                        | >#20                              | Total |                               |        |
| #10     | 2.000         | 135.60              | 26.92                | 26.92                  | 73.08                             | 34.47 | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |        |
| #20     | 0.850         | 134.00              | 26.60                | 53.52                  | 46.48                             | 21.92 |                               |        |
| #40     | 0.425         | 102.10              | 20.27                | 73.79                  | 26.21                             | 12.36 | PESO INICIAL                  |        |
| #60     | 0.250         | 67.20               | 13.34                | 87.13                  | 12.87                             | 6.07  | MENOR DE LA                   | 503.80 |
| #100    | 0.150         | 27.60               | 5.48                 | 92.61                  | 7.39                              | 3.49  | MALLA # 4(gr):                |        |
| #200    | 0.075         | 13.60               | 2.70                 | 95.31                  | 4.69                              | 2.21  | < # 200 (%)                   | 2.21   |
| Bandeja |               | 0.15                |                      |                        |                                   |       |                               |        |
| Suma    |               | 480.25              |                      |                        |                                   |       | BANDEJA N°                    |        |

| Limite líquido LL (%)            | NP    | <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Clasificación SUCS</th> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">GP</td> </tr> </table><br> | Clasificación SUCS |  | GP |  |
|----------------------------------|-------|---|--------------------|--|----|--|
| Clasificación SUCS               |       |   |                    |  |    |  |
| GP                               |       |   |                    |  |    |  |
| Limite plástico LP (%)           | NP    |   |                    |  |    |  |
| Índice plasticidad IP (%)        | NP    |   |                    |  |    |  |
| D60 (mm)                         | 12.78 |   |                    |  |    |  |
| D30 (mm)                         | 1.47  |   |                    |  |    |  |
| D10 (diámetro efectivo,mm)       | 0.35  |   |                    |  |    |  |
| Coefficiente de uniformidad (Cu) | 36.70 |   |                    |  |    |  |
| Grado de curvatura (Cc)          | 0.49  |   |                    |  |    |  |

Formato de ensayo de granulometría por tamizado ASTM – 6913

(Material de Filtro tipo 2)

|  |  |                                    |  |
|--|--|------------------------------------|--|
| <b>Proyecto</b> : Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machucato) |  | <b>N° Ensayo</b> : AG-F-CADRFR-047 |  |
| <b>Ubicación</b> : Canarias - Victor Fajardo - Ayacucho  |  | <b>Responsable</b> : J.L.L.J       |  |
| <b>Cliente</b> : Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C.  |  | <b>Técnico</b> : C. F. Z.          |  |
| <b>N° Proyecto</b> : 19-S-301-04   |  | <b>Fecha</b> : 19/12/2019          |  |
| <b>Muestra</b> : Material para filtro ( tipo 2)  |  |                                    |  |
| <b>Procedencia</b> : Cantera Cayhua  |  |                                    |  |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |  | OBSERVACIONES                 |         |
|-------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|---------|
| 3"    | 76.200        | 0.0                 | 0.00                 | 0.00                   | 100.00                            |  | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |         |
| 2"    | 50.800        | 6598.8              | 26.28                | 26.28                  | 73.72                             |  |                               |         |
| 1½"   | 38.100        | 5845.6              | 23.28                | 49.56                  | 50.44                             |  | PESO INICIAL(gr):             | 25106.0 |
| 1"    | 25.400        | 5266.6              | 20.98                | 70.54                  | 29.46                             |  | HUMEDAD (%):                  | 2.89    |
| ¾"    | 19.050        | 4865.6              | 19.38                | 89.92                  | 10.08                             |  | GRUESOS(%):                   | 99.96   |
| ½"    | 12.700        | 1025.6              | 4.09                 | 94.01                  | 5.99                              |  | GRAVA(%):                     | 96.31   |
| 3/8"  | 9.525         | 412.2               | 1.64                 | 96.65                  | 4.35                              |  | ARENA(%):                     | 3.65    |
| #4    | 4.750         | 165.9               | 0.66                 | 96.31                  | 3.69                              |  | FINOS(%):                     | 0.04    |
| Suma  |               | 24180.30            |                      |                        |                                   |  | BANDEJA N°                    |         |

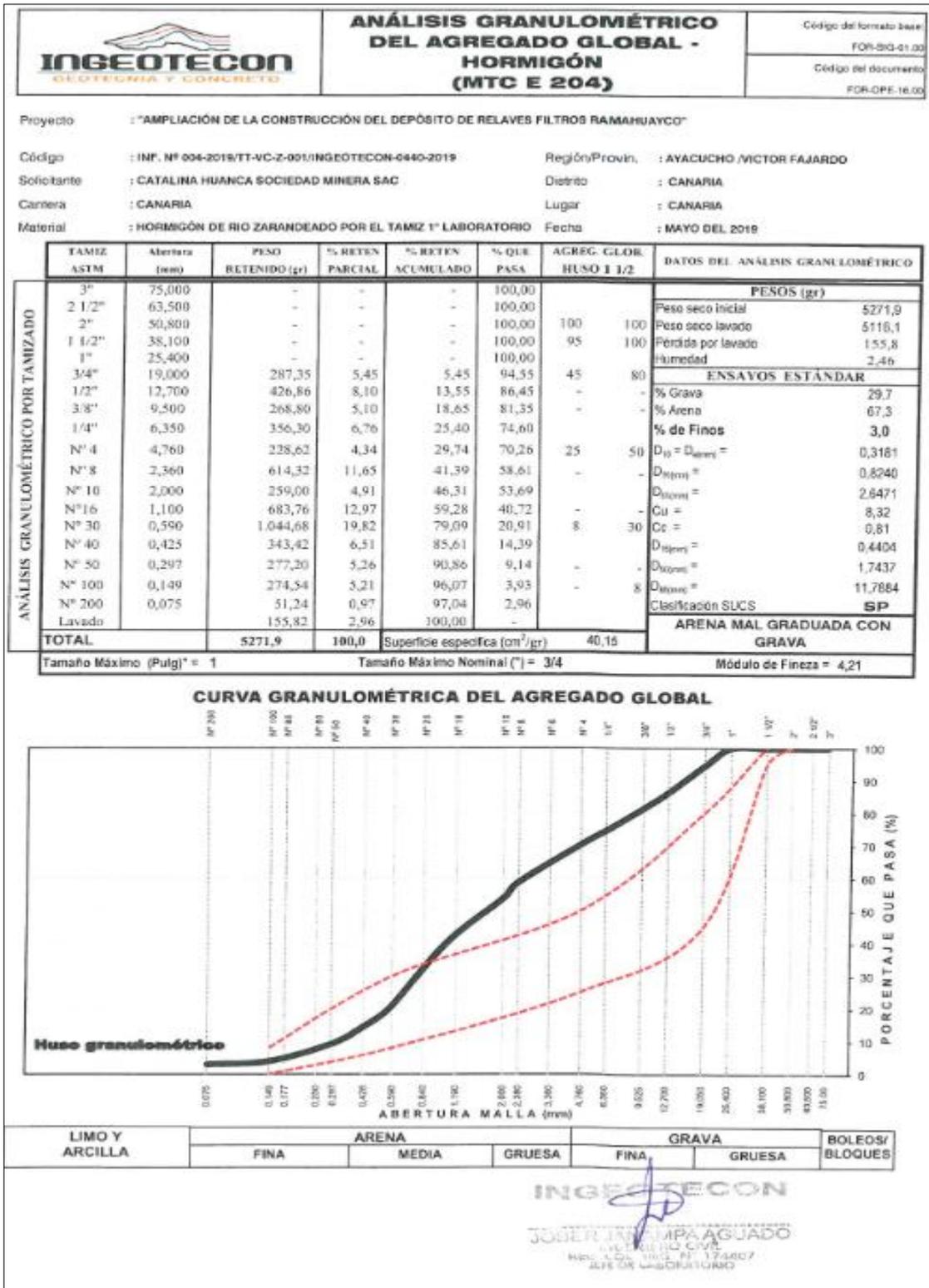
  

| TAMIZ.  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr.) | PARCIAL RETENIDO (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%) |       | OBSERVACIONES                 |        |
|---------|---------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------------------------------|--------|
|         |               |                     |                      |                        | >#20                              | Total |                               |        |
| #10     | 2.000         | 98.60               | 23.47                | 23.47                  | 76.53                             | 2.82  | <b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b> |        |
| #20     | 0.850         | 90.26               | 21.48                | 44.95                  | 55.05                             | 2.03  |                               |        |
| #40     | 0.425         | 85.26               | 20.29                | 65.24                  | 34.76                             | 1.28  | PESO INICIAL                  |        |
| #60     | 0.250         | 71.26               | 16.96                | 82.20                  | 17.80                             | 0.66  | MENOR DE LA                   | 420.20 |
| #100    | 0.150         | 45.50               | 10.83                | 93.03                  | 6.97                              | 0.26  | MALLA # 4(gr):                |        |
| #200    | 0.075         | 25.20               | 6.00                 | 99.03                  | 0.97                              | 0.04  | < # 200 (%)                   | 0.04   |
| Bandeja |               | 0.22                |                      |                        |                                   |       |                               |        |
| Suma    |               | 416.30              |                      |                        |                                   |       | BANDEJA N°                    |        |

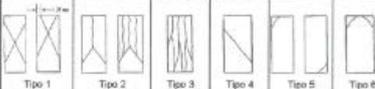
  

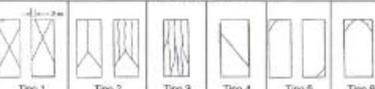
| Limite líquido LL (%)            | NP    | <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Clasificación SUCS</th> </tr> <tr> <td colspan="2">GP</td> </tr> </table><br><p><b>Granulometría</b></p> <p>% Pasa vs Mallas</p> | Clasificación SUCS |  | GP |  |
|----------------------------------|-------|--|--------------------|--|----|--|
| Clasificación SUCS               |       |  |                    |  |    |  |
| GP                               |       |  |                    |  |    |  |
| Limite plástico LP (%)           | NP    |  |                    |  |    |  |
| Índice plasticidad IP (%)        | NP    |  |                    |  |    |  |
| D60 (mm)                         | 42.88 |  |                    |  |    |  |
| D30 (mm)                         | 25.67 |  |                    |  |    |  |
| D10 (diámetro efectivo,mm)       | 18.90 |  |                    |  |    |  |
| Coefficiente de uniformidad (Cu) | 2.27  |  |                    |  |    |  |
| Grado de curvatura (Cc)          | 0.81  |  |                    |  |    |  |

Diseño de concreto ( $F'c$  245 Kg/cm<sup>2</sup>)



# Ensayo de resistencia del concreto (ASTM C-39)

| BO-TACA   |                 | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ASTM C 39   |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             | CÓDIGO CHSB-SRK-PROY-000-05 |                          |                            |                 |                      |
|---|-----------------|--|------|------------|---|---|-----------------|------------|-------------------|--|-------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------|
| Contratista   |                 |  |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             | Versión                     |                          | 01                         |                 |                      |
| Supervisión   |                 |  |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             | Fecha                       |                          | 11/01/2019                 |                 |                      |
|   |                 |  |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             | Página                      |                          | 1 de 1                     |                 |                      |
| PROYECTO  |                 | Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machucato) |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| UBICACIÓN   |                 | Canarias - Victor Fajardo - Ayacucho   |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| CLIENTE   |                 | Catalina Huancá Sociedad Minera S.A.C.   |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| FECHA DE MUESTREO   |                 | 05/11/2019   |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             | TÉCNICO                     |                          | I.M.S.                     |                 |                      |
| ESTRUCTURA  |                 | Caja despadador D=749.74 de la rapta 1   |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             | N° DE REGISTRO              |                          | RCC-CADRF-043              |                 |                      |
| ELEMENTO  |                 | Muro de la caja  |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             | DISEÑO                      |                          | 245 kg/cm2                 |                 |                      |
| N° Probeta  | Fecha de Rotura | Diámetro Ø (mm)  |      | Altura (h) |   | Promedio Diámetro   | Promedio Altura | Área (Cm2) | Lectura Dial (kg) | Resistencia (kg/cm²)   | Edad (días) | Tipo de Rotura              | f <sub>cu</sub> (kg/cm²) | Resistencia media (kg/cm²) | Resistencia (%) | Resistencia media(%) |
| 1   | 12/11/2019      | 15.2   | 15.1 | 30.2       | 30.1  | 15.2  | 30.2            | 180.27     | 32280             | 179  | 7           | 3                           | 245                      | 199                        | 73              | 77                   |
| 2   | 12/11/2019      | 15.2   | 15.0 | 30.0       | 30.1  | 15.1  | 30.1            | 179.08     | 35490             | 198  | 7           | 2                           |                          |                            | 81              |                      |
| 3   | 19/11/2019      | 15.1   | 15.2 | 30.1       | 30.1  | 15.2  | 30.1            | 180.27     | 39000             | 218  | 14          | 4                           | 245                      | 231                        | 89              | 94                   |
| 4   | 19/11/2019      | 15.0   | 15.1 | 30.2       | 30.1  | 15.0  | 30.2            | 178.71     | 42950             | 243  | 14          | 6                           |                          |                            | 99              |                      |
| 5   | 03/12/2019      | 15.1   | 15.1 | 30.2       | 30.1  | 15.1  | 30.2            | 179.08     | 44320             | 247  | 28          | 3                           | 245                      | 259                        | 101             | 106                  |
| 6   | 03/12/2019      | 15.0   | 15.1 | 30.1       | 30.2  | 15.1  | 30.2            | 177.89     | 47960             | 270  | 28          | 4                           |                          |                            | 110             |                      |
| TIPOS DE FRACTURAS  |                 |  |      |            |   | DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FRACTURA  |                 |            |                   |  |             |                             |                          |                            |                 |                      |
|    |                 |  |      |            |   | <p>Tipo 1 : Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25mm de grietas entre capas</p> <p>Tipo 2 : Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base</p> <p>Tipo 3 : Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados</p> <p>Tipo 4 : Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del Tipo 3</p> <p>Tipo 5 : Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embozado</p> <p>Tipo 6 : Similar al Tipo 5 pero el terminal del cilindro es acuminado</p> |                 |            |                   |  |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| Observaciones:  |                 |  |      |            |   |   |                 |            |                   |  |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| Supervisor QC<br>EMPRESA COMUNAL TACA<br><br>Samuel J. Rojas Pariona<br>INGENIERO CIVIL<br>CIP. N° 214372 |                 |  |      |            | Técnico de suelos QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>Ismael Medina Soto<br>TEC. LABORATORIO DE SUELO<br>SRK consulting |   |                 |            |                   | Supervisor QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>JUAN RUBEN LLAMOCA JUAREZ<br>Ing. Civil CIP. N° 58621<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A. |             |                             |                          |                            |                 |                      |

| BO-TACA  |                 | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ASTM C 39   |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             | CÓDIGO CHSB-SRK-PROY-000-05 |                          |                            |                 |                      |
|--|-----------------|--|------|------------|--|---|-----------------|------------|-------------------|---|-------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------|
| Contratista  |                 |  |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             | Versión                     |                          | 01                         |                 |                      |
| Supervisión  |                 |  |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             | Fecha                       |                          | 11/01/2019                 |                 |                      |
|  |                 |  |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             | Página                      |                          | 1 de 1                     |                 |                      |
| PROYECTO   |                 | Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machucato) |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| UBICACIÓN  |                 | Canarias - Victor Fajardo - Ayacucho   |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| CLIENTE  |                 | Catalina Huancá Sociedad Minera S.A.C.   |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| FECHA DE MUESTREO  |                 | 06/11/2019   |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             | TÉCNICO                     |                          | I.M.S.                     |                 |                      |
| ESTRUCTURA   |                 | Caja despadador D=749.74 de la rapta 1   |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             | N° DE REGISTRO              |                          | RCC-CADRF-044              |                 |                      |
| ELEMENTO   |                 | Techo de la caja   |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             | DISEÑO                      |                          | 245 kg/cm2                 |                 |                      |
| N° Probeta   | Fecha de Rotura | Diámetro Ø (mm)  |      | Altura (h) |  | Promedio Diámetro   | Promedio Altura | Área (Cm2) | Lectura Dial (kg) | Resistencia (kg/cm²)  | Edad (días) | Tipo de Rotura              | f <sub>cu</sub> (kg/cm²) | Resistencia media (kg/cm²) | Resistencia (%) | Resistencia media(%) |
| 1  | 13/11/2019      | 15.2   | 15.1 | 30.2       | 30.2   | 15.2  | 30.2            | 180.27     | 32200             | 179   | 7           | 3                           | 245                      | 196                        | 73              | 76                   |
| 2  | 13/11/2019      | 15.1   | 15.0 | 30.1       | 30.1   | 15.1  | 30.1            | 177.89     | 34280             | 193   | 7           | 5                           |                          |                            | 79              |                      |
| 3  | 29/11/2019      | 15.1   | 15.0 | 29.7       | 29.8   | 15.1  | 29.8            | 177.89     | 43235             | 243   | 14          | 3                           | 245                      | 230                        | 99              | 94                   |
| 4  | 20/11/2019      | 15.4   | 15.3 | 30.3       | 30.4   | 15.4  | 30.4            | 185.06     | 40052             | 216   | 14          | 2                           |                          |                            | 86              |                      |
| 5  | 04/12/2019      | 15.1   | 15.2 | 30.2       | 30.1   | 15.2  | 30.2            | 180.27     | 46720             | 259   | 28          | 6                           | 245                      | 272                        | 105             | 111                  |
| 6  | 04/12/2019      | 15.2   | 15.1 | 30.2       | 30.2   | 15.2  | 30.2            | 180.27     | 51320             | 285   | 28          | 3                           |                          |                            | 110             |                      |
| TIPOS DE FRACTURAS   |                 |  |      |            |  | DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FRACTURA  |                 |            |                   |   |             |                             |                          |                            |                 |                      |
|   |                 |  |      |            |  | <p>Tipo 1 : Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25mm de grietas entre capas</p> <p>Tipo 2 : Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base</p> <p>Tipo 3 : Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados</p> <p>Tipo 4 : Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del Tipo 3</p> <p>Tipo 5 : Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embozado</p> <p>Tipo 6 : Similar al Tipo 5 pero el terminal del cilindro es acuminado</p> |                 |            |                   |   |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| Observaciones:   |                 |  |      |            |  |   |                 |            |                   |   |             |                             |                          |                            |                 |                      |
| Supervisor QC<br>EMPRESA COMUNAL TACA<br><br>Samuel J. Rojas Pariona<br>INGENIERO CIVIL<br>CIP. N° 214372 |                 |  |      |            | Técnico de suelos QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>Ismael Medina Soto<br>TEC. LABORATORIO DE SUELO<br>SRK consulting |   |                 |            |                   | Supervisor QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>JUAN RUBEN LLAMOCA JUAREZ<br>Ing. Civil CIP. N° 58621<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A. |             |                             |                          |                            |                 |                      |

|   | <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ASTM C 39</b>  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | CÓDIGO<br>CHSM-SRK-PROY-000-05   |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
|---|--|-----------------|-----------------|---|------------|-------------------|-------------------|--|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|---|----------------------|----------------------|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|---|---|-----|-----|----|----|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|---|---|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|----|---|-----|-----|-----|----|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|----|---|---|------------|------|------|------|------|------|-------|--------|-------|-----|----|---|-----|-----|-----|-----|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|----|---|
|   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | Versión  | 01   |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
|   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | Fecha  | 11/01/2019   |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
|   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | Página   | 1 de 1   |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| <b>PROYECTO</b><br>UBICACIÓN<br>CLIENTE<br>FECHA DE MUESTREO<br>ESTRUCTURA<br>ELEMENTO  | Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machucocato)<br>Canaries - Victor Fajardo - Ayacucho<br>Catalina Huancá Sociedad Minera S.A.C.<br>07/11/2019<br>Rápida 1<br>Losa |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | <b>TÉCNICO</b><br>N° DE REGISTRO<br>DISEÑO   | I.M.S.<br>RCC-CADRFH-045<br>245 kg/cm <sup>2</sup> |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>N° Probeta</th> <th>Fecha de Rotura</th> <th colspan="2">Diámetro Ø (mm)</th> <th colspan="2">Altura (h)</th> <th>Promedio Diámetro</th> <th>Promedio Altura</th> <th>Área (Cm<sup>2</sup>)</th> <th>Lectura Dial (kg)</th> <th>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Edad (días)</th> <th>Tipo de Rotura</th> <th>f<sub>c</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Resistencia media (kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Resistencia (%)</th> <th>Resistencia media(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>14/11/2019</td> <td>15.0</td> <td>15.3</td> <td>30.1</td> <td>30.0</td> <td>15.2</td> <td>30.1</td> <td>180.27</td> <td>35625</td> <td>198</td> <td>7</td> <td>3</td> <td rowspan="2">245</td> <td rowspan="2">194</td> <td>81</td> <td rowspan="2">79</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>14/11/2019</td> <td>15.2</td> <td>15.2</td> <td>30.0</td> <td>30.2</td> <td>15.2</td> <td>30.1</td> <td>181.46</td> <td>34526</td> <td>190</td> <td>7</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>21/11/2019</td> <td>15.4</td> <td>15.3</td> <td>30.4</td> <td>30.4</td> <td>15.4</td> <td>30.4</td> <td>185.06</td> <td>45210</td> <td>244</td> <td>14</td> <td>5</td> <td rowspan="2">245</td> <td rowspan="2">233</td> <td>100</td> <td rowspan="2">95</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>21/11/2019</td> <td>15.2</td> <td>15.2</td> <td>30.2</td> <td>30.2</td> <td>15.2</td> <td>30.2</td> <td>181.46</td> <td>40256</td> <td>222</td> <td>14</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>09/12/2019</td> <td>15.2</td> <td>15.3</td> <td>30.0</td> <td>30.2</td> <td>15.3</td> <td>166.6</td> <td>182.65</td> <td>49120</td> <td>269</td> <td>26</td> <td>5</td> <td rowspan="2">245</td> <td rowspan="2">205</td> <td>110</td> <td rowspan="2">106</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>05/12/2019</td> <td>15.2</td> <td>15.2</td> <td>30.2</td> <td>30.1</td> <td>15.2</td> <td>30.2</td> <td>181.46</td> <td>47290</td> <td>261</td> <td>26</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> | N° Probeta   | Fecha de Rotura | Diámetro Ø (mm) |   | Altura (h) |                   | Promedio Diámetro | Promedio Altura  | Área (Cm <sup>2</sup> ) | Lectura Dial (kg)                 | Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) | Edad (días)  | Tipo de Rotura                                     | f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )    | Resistencia media (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (%)      | Resistencia media(%) | 1 | 14/11/2019 | 15.0 | 15.3 | 30.1 | 30.0 | 15.2 | 30.1 | 180.27 | 35625 | 198 | 7 | 3 | 245 | 194 | 81 | 79 | 2 | 14/11/2019 | 15.2 | 15.2 | 30.0 | 30.2 | 15.2 | 30.1 | 181.46 | 34526 | 190 | 7 | 5 | 3 | 21/11/2019 | 15.4 | 15.3 | 30.4 | 30.4 | 15.4 | 30.4 | 185.06 | 45210 | 244 | 14 | 5 | 245 | 233 | 100 | 95 | 4 | 21/11/2019 | 15.2 | 15.2 | 30.2 | 30.2 | 15.2 | 30.2 | 181.46 | 40256 | 222 | 14 | 3 | 5 | 09/12/2019 | 15.2 | 15.3 | 30.0 | 30.2 | 15.3 | 166.6 | 182.65 | 49120 | 269 | 26 | 5 | 245 | 205 | 110 | 106 | 6 | 05/12/2019 | 15.2 | 15.2 | 30.2 | 30.1 | 15.2 | 30.2 | 181.46 | 47290 | 261 | 26 | 3 |
| N° Probeta  | Fecha de Rotura  | Diámetro Ø (mm) |                 | Altura (h)  |            | Promedio Diámetro | Promedio Altura   | Área (Cm <sup>2</sup> )  | Lectura Dial (kg)       | Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) | Edad (días)                       | Tipo de Rotura   | f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )               | Resistencia media (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (%)                         | Resistencia media(%) |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 1   | 14/11/2019   | 15.0            | 15.3            | 30.1  | 30.0       | 15.2              | 30.1              | 180.27   | 35625                   | 198                               | 7                                 | 3  | 245  | 194                                     | 81                                      | 79                   |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 2   | 14/11/2019   | 15.2            | 15.2            | 30.0  | 30.2       | 15.2              | 30.1              | 181.46   | 34526                   | 190                               | 7                                 | 5  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 3   | 21/11/2019   | 15.4            | 15.3            | 30.4  | 30.4       | 15.4              | 30.4              | 185.06   | 45210                   | 244                               | 14                                | 5  | 245  | 233                                     | 100                                     | 95                   |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 4   | 21/11/2019   | 15.2            | 15.2            | 30.2  | 30.2       | 15.2              | 30.2              | 181.46   | 40256                   | 222                               | 14                                | 3  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 5   | 09/12/2019   | 15.2            | 15.3            | 30.0  | 30.2       | 15.3              | 166.6             | 182.65   | 49120                   | 269                               | 26                                | 5  | 245  | 205                                     | 110                                     | 106                  |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 6   | 05/12/2019   | 15.2            | 15.2            | 30.2  | 30.1       | 15.2              | 30.2              | 181.46   | 47290                   | 261                               | 26                                | 3  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| <b>TIPOS DE FRACTURAS</b><br>   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | <b>DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FRACTURA</b><br>Tipo 1 : Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25mm de grietas entre capas<br>Tipo 2 : Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base<br>Tipo 3 : Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados<br>Tipo 4 : Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del Tipo 3<br>Tipo 5 : Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado<br>Tipo 6 : Similar al Tipo 5 pero el terminal del cilindro es acortado |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| Observaciones:  |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   |  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| Supervisor QC<br>EMPRESA COMUNAL TACA<br><br>Samuel J. Rojas Parione<br>INGENIERO CIVIL<br>CIP. N° 214372   |  |                 |                 | Técnico de suelos QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>Ismael Medina Soto<br>TEC. LABORATORIO DE SUELO<br>srk consulting |            |                   |                   | Supervisor QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>JUAN RUBEN LLAMOCA JUAREZ<br>Ing. Civil CIP. N° 58621<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A. |                         |                                   |                                   |  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |       |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |

|   | <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ASTM C 39</b>  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | CÓDIGO<br>CHSM-SRK-PROY-000-05   |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
|---|--|-----------------|-----------------|---|------------|-------------------|-------------------|--|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|---|----------------------|----------------------|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|---|---|-----|-----|----|----|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|---|---|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|----|---|-----|-----|----|----|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|----|---|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|----|---|-----|-----|-----|-----|---|------------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|-----|----|---|
|   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | Versión  | 01   |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
|   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | Fecha  | 11/01/2019   |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
|   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | Página   | 1 de 1   |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| <b>PROYECTO</b><br>UBICACIÓN<br>CLIENTE<br>FECHA DE MUESTREO<br>ESTRUCTURA<br>ELEMENTO  | Construcción de la Ampliación del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco ( Zona Machucocato)<br>Canaries - Victor Fajardo - Ayacucho<br>Catalina Huancá Sociedad Minera S.A.C.<br>11/11/2019<br>Rápida 1<br>Muro |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | <b>TÉCNICO</b><br>N° DE REGISTRO<br>DISEÑO   | I.M.S.<br>RCC-CADRFH-046<br>245 kg/cm <sup>2</sup> |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>N° Probeta</th> <th>Fecha de Rotura</th> <th colspan="2">Diámetro Ø (mm)</th> <th colspan="2">Altura (h)</th> <th>Promedio Diámetro</th> <th>Promedio Altura</th> <th>Área (Cm<sup>2</sup>)</th> <th>Lectura Dial (kg)</th> <th>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Edad (días)</th> <th>Tipo de Rotura</th> <th>f<sub>c</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Resistencia media (kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Resistencia (%)</th> <th>Resistencia media(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>19/11/2019</td> <td>15.2</td> <td>15.1</td> <td>30.2</td> <td>30.1</td> <td>15.2</td> <td>30.2</td> <td>180.27</td> <td>34590</td> <td>192</td> <td>7</td> <td>3</td> <td rowspan="2">245</td> <td rowspan="2">197</td> <td>78</td> <td rowspan="2">81</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>19/11/2019</td> <td>15.1</td> <td>15.2</td> <td>30.1</td> <td>30.1</td> <td>15.2</td> <td>30.1</td> <td>180.27</td> <td>36540</td> <td>203</td> <td>7</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>25/11/2019</td> <td>15.2</td> <td>15.2</td> <td>31.2</td> <td>30.2</td> <td>15.2</td> <td>30.7</td> <td>181.46</td> <td>41150</td> <td>227</td> <td>14</td> <td>5</td> <td rowspan="2">345</td> <td rowspan="2">230</td> <td>93</td> <td rowspan="2">98</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>25/11/2019</td> <td>15.0</td> <td>15.1</td> <td>30.2</td> <td>30.1</td> <td>15.1</td> <td>30.2</td> <td>177.69</td> <td>44650</td> <td>251</td> <td>14</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>09/12/2019</td> <td>15.1</td> <td>15.2</td> <td>30.0</td> <td>30.1</td> <td>15.2</td> <td>30.1</td> <td>180.27</td> <td>46210</td> <td>267</td> <td>26</td> <td>5</td> <td rowspan="2">245</td> <td rowspan="2">205</td> <td>109</td> <td rowspan="2">109</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>09/12/2019</td> <td>15.2</td> <td>15.1</td> <td>30.1</td> <td>30.2</td> <td>15.2</td> <td>30.2</td> <td>180.27</td> <td>47950</td> <td>265</td> <td>26</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> | N° Probeta   | Fecha de Rotura | Diámetro Ø (mm) |   | Altura (h) |                   | Promedio Diámetro | Promedio Altura  | Área (Cm <sup>2</sup> ) | Lectura Dial (kg)                 | Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) | Edad (días)  | Tipo de Rotura                                     | f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )    | Resistencia media (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (%)      | Resistencia media(%) | 1 | 19/11/2019 | 15.2 | 15.1 | 30.2 | 30.1 | 15.2 | 30.2 | 180.27 | 34590 | 192 | 7 | 3 | 245 | 197 | 78 | 81 | 2 | 19/11/2019 | 15.1 | 15.2 | 30.1 | 30.1 | 15.2 | 30.1 | 180.27 | 36540 | 203 | 7 | 5 | 3 | 25/11/2019 | 15.2 | 15.2 | 31.2 | 30.2 | 15.2 | 30.7 | 181.46 | 41150 | 227 | 14 | 5 | 345 | 230 | 93 | 98 | 4 | 25/11/2019 | 15.0 | 15.1 | 30.2 | 30.1 | 15.1 | 30.2 | 177.69 | 44650 | 251 | 14 | 3 | 5 | 09/12/2019 | 15.1 | 15.2 | 30.0 | 30.1 | 15.2 | 30.1 | 180.27 | 46210 | 267 | 26 | 5 | 245 | 205 | 109 | 109 | 6 | 09/12/2019 | 15.2 | 15.1 | 30.1 | 30.2 | 15.2 | 30.2 | 180.27 | 47950 | 265 | 26 | 3 |
| N° Probeta  | Fecha de Rotura  | Diámetro Ø (mm) |                 | Altura (h)  |            | Promedio Diámetro | Promedio Altura   | Área (Cm <sup>2</sup> )  | Lectura Dial (kg)       | Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) | Edad (días)                       | Tipo de Rotura   | f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )               | Resistencia media (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (%)                         | Resistencia media(%) |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 1   | 19/11/2019   | 15.2            | 15.1            | 30.2  | 30.1       | 15.2              | 30.2              | 180.27   | 34590                   | 192                               | 7                                 | 3  | 245  | 197                                     | 78                                      | 81                   |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 2   | 19/11/2019   | 15.1            | 15.2            | 30.1  | 30.1       | 15.2              | 30.1              | 180.27   | 36540                   | 203                               | 7                                 | 5  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 3   | 25/11/2019   | 15.2            | 15.2            | 31.2  | 30.2       | 15.2              | 30.7              | 181.46   | 41150                   | 227                               | 14                                | 5  | 345  | 230                                     | 93                                      | 98                   |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 4   | 25/11/2019   | 15.0            | 15.1            | 30.2  | 30.1       | 15.1              | 30.2              | 177.69   | 44650                   | 251                               | 14                                | 3  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 5   | 09/12/2019   | 15.1            | 15.2            | 30.0  | 30.1       | 15.2              | 30.1              | 180.27   | 46210                   | 267                               | 26                                | 5  | 245  | 205                                     | 109                                     | 109                  |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| 6   | 09/12/2019   | 15.2            | 15.1            | 30.1  | 30.2       | 15.2              | 30.2              | 180.27   | 47950                   | 265                               | 26                                | 3  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| <b>TIPOS DE FRACTURAS</b><br>   |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   | <b>DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FRACTURA</b><br>Tipo 1 : Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25mm de grietas entre capas<br>Tipo 2 : Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base<br>Tipo 3 : Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados<br>Tipo 4 : Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del Tipo 3<br>Tipo 5 : Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado<br>Tipo 6 : Similar al Tipo 5 pero el terminal del cilindro es acortado |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| Observaciones:  |  |                 |                 |   |            |                   |                   |  |                         |                                   |                                   |  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |
| Supervisor QC<br>EMPRESA COMUNAL TACA<br><br>Samuel J. Rojas Parione<br>INGENIERO CIVIL<br>CIP. N° 214372   |  |                 |                 | Técnico de suelos QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>Ismael Medina Soto<br>TEC. LABORATORIO DE SUELO<br>srk consulting |            |                   |                   | Supervisor QA<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A.<br><br>JUAN RUBEN LLAMOCA JUAREZ<br>Ing. Civil CIP. N° 58621<br>SRK CONSULTING (PERU) S.A. |                         |                                   |                                   |  |  |   |   |                      |                      |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |   |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |    |    |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |     |     |     |     |   |            |      |      |      |      |      |      |        |       |     |    |   |

Ensayo de desgaste en la roca (Pedraplen)



**RESISTENCIA AL DESGASTE  
DE LOS AGREGADOS  
GRUESOS DE TAMAÑOS  
MAYORES A 3/4" POR MEDIO  
DE LA MAQUINA DE LOS  
ÁNGELES  
(MTC E 207 ANEXO C)**

Código formato base

FOR-SIG-01.00

Código del documento

REG-OPS-79.00

Proyecto : "AMPLIACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES FILTROS RAMAHUAYCO" (MACHUCCATO)

Trazabilidad : INF. Nº 004-2019/TT-VC-Z-001/INGEOTECON-0570-2019

Región/Provinc. : AYACUCHO /VICTOR FAJARDO

Solicitante : EMPRESA COMUNAL TACA

Distrito : VICTOR FAJARDO

Exploración : CANTERA MINAHUAYCO MUESTREO (30/05/19)

Lugar : CANARIA

Estrato/Nivel : MATERIAL DE PRÉSTAMO/MAT. PROPORCIONADO

Fecha : JUNIO DEL 2019

**Granulometria de la muestra del agregado para ensayo**

| Pasa Tamiz     |        | Retenido Tamiz |        | Gradación 1<br>Peso (gr) | Gradación 2<br>Peso (gr) | Gradación 3<br>Peso (gr) |
|----------------|--------|----------------|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3"             | 75mm   | 2 1/2"         | 63mm   | 2535,00                  |                          |                          |
| 2 1/2"         | 63mm   | 2"             | 50mm   | 2530,00                  |                          |                          |
| 2"             | 50mm   | 1 1/2"         | 37.5mm | 5030,00                  |                          |                          |
| 1 1/2"         | 37.5mm | 1"             | 25mm   |                          |                          |                          |
| 1"             | 25mm   | 3/4"           | 19mm   |                          |                          |                          |
| TOTAL (gramos) |        |                |        | 10.095,00                | -                        | -                        |

**Muestra después del ensayo (1000 revoluciones)**

|   |           |
|---|-----------|
| Peso de la muestra después del ensayo = | 7.570,0   |
| <b>% de Desgaste</b>                    | <b>25</b> |

  
**INGEOTECON**  
 JOBER JANAMPA AGUADO  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. COL. ING. N° 174407  
 MPE DE LABORATORIO



**RESISTENCIA AL DESGASTE  
DE LOS AGREGADOS  
GRUESOS DE TAMAÑOS  
MAYORES A 3/4" POR MEDIO  
DE LA MAQUINA DE LOS  
ÁNGELES  
(MTC E 207 ANEXO C)**

Código formato base

FOR-SIG-01.00

Código del documento

REG-OPE-79.00

Proyecto : \*AMPLIACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES FILTROS RAMAHUAYCO\* (MACHUCCATO)

Trazabilidad : INF. N° 004-2019/TT-VC-Z-001/INGEOTECON-0570-2019

Región/Provinc : AYACUCHO /VICTOR FAJARDO

Solicitante : EMPRESA COMUNAL TACA

Distrito : VICTOR FAJARDO

Exploración : CANTERA MINAHUAYCO MUESTREO (04/06/19)

Lugar : CANARIA

Estrato/Nivel : MATERIAL DE PRÉSTAMO/MAT. PROPORCIONADO

Fecha : JUNIO DEL 2019

**Granulometría de la muestra del agregado para ensayo**

| Pasa Tamiz     |        | Retenido Tamiz |        | Gradación 1<br>Peso (gr) | Gradación 2<br>Peso (gr) | Gradación 3<br>Peso (gr) |
|----------------|--------|----------------|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3"             | 75mm   | 2 1/2"         | 63mm   | 2530,00                  |                          |                          |
| 2 1/2"         | 63mm   | 2"             | 50mm   | 2539,00                  |                          |                          |
| 2"             | 50mm   | 1 1/2"         | 37.5mm | 5040,00                  |                          |                          |
| 1 1/2"         | 37.5mm | 1"             | 25mm   |                          |                          |                          |
| 1"             | 25mm   | 3/4"           | 19mm   |                          |                          |                          |
| TOTAL (gramos) |        |                |        | 10.109,00                | -                        | -                        |

**Muestra después del ensayo (1000 revoluciones)**

|   |           |
|---|-----------|
| Peso de la muestra después del ensayo = | 7.480,0   |
| <b>% de Desgaste</b>                    | <b>26</b> |

  
**INGEOTECON**  
 JOBER JANAMPA AGUADO  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. COL. ING. N° 174407  
 IAPC DE LABORATORIO



**RESISTENCIA AL DESGASTE  
DE LOS AGREGADOS  
GRUESOS DE TAMAÑOS  
MAYORES A 3/4" POR MEDIO  
DE LA MAQUINA DE LOS  
ÁNGELES  
(MTC E 207 ANEXO C)**

Código formato base:

FDR-SIG-01.00

Código del documento:

REG-CPE-79.00

Proyecto : "AMPLIACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES FILTROS RAMAHUAYCO" (MACHUCCATO)

Trazabilidad : INF. N° 004-2018/TT-VC-Z-001/INGEOTECON-0570-2019

Región/Provinc. : AYACUCHO /VICTOR FAJARDO

Solicitante : EMPRESA COMUNAL TACA

Distrito : VICTOR FAJARDO

Exploración : CANTERA MINAHUAYCO MUESTREO (02/06/19)

Lugar : CANARIA

Estrato/Nivel : MATERIAL DE PRÉSTAMO/MAT. PROPORCIONADO

Fecha : JUNIO DEL 2019

**Granulometría de la muestra del agregado para ensayo**

| Pasa Tamiz     |        | Retenido Tamiz |        | Gradación 1<br>Peso (gr) | Gradación 2<br>Peso (gr) | Gradación 3<br>Peso (gr) |
|----------------|--------|----------------|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3"             | 75mm   | 2 1/2"         | 63mm   | 2462,37                  |                          |                          |
| 2 1/2"         | 63mm   | 2"             | 50mm   | 2519,17                  |                          |                          |
| 2"             | 50mm   | 1 1/2"         | 37,5mm | 4950,80                  |                          |                          |
| 1 1/2"         | 37,5mm | 1"             | 25mm   |                          |                          |                          |
| 1"             | 25mm   | 3/4"           | 19mm   |                          |                          |                          |
| TOTAL (gramos) |        |                |        | 9.932,34                 | -                        | -                        |

**Muestra después del ensayo (1000 revoluciones)**

|   |           |
|---|-----------|
| Peso de la muestra después del ensayo = | 8.131,0   |
| <b>% de Desgaste</b>                    | <b>18</b> |

**INGEOTECON**  
 JOBER JANAMPA AGUADO  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. COG. ING. N° 17440/  
 MPE DE LABORATORIO

Panel fotográfico



**Foto 1:** Conformación y compactación de la cota 3570.35 msnm



**Foto 2:** Preparación de mezcla en la plataforma RF1.



**Foto 3:** Se realizó ensayos de densidad método cono de arena en la cota 3570.35 msnm.



**Foto 4:** Foto panorámica del depósito de relaves ramahuayco (zona machuccato)



**Foto 5:** Limpieza de cunetas en la banqueta 3560 msnm – Machucato.



**Foto 6:** Encofrado de la rápida y el dissipador Prog.: 0+737.20 - 0+750.



**Foto 7:** Limpieza y emboquillado de la alcantarilla en el nuevo acceso que se habilitó del RF1 – R10.



**Foto 8:** Preparación de mezcla en la plataforma RF1.



**Foto 13:** Transporte de relaves filtrado de la cancha 5 - RF1.



**Foto 14:** Construcción de cuneta de coronación de machucato.



**Foto 15:** Conformación y compactación de la cota 3570.70 msnm



**Foto 16:** Se realizó ensayos de densidad método cono de arena.

## Anexo 3

### Parte 633 del Manual Nacional de Ingeniería (Part 633 National Engineering Handbook)

| Chapter 26 | Gradation Design of Sand and Gravel Filters | Part 633<br>National Engineering Handbook |
|------------|---|---|
|------------|---|---|

---

### Example 26-1 Fine clay base soil—Category 1

**Given:** The most important function of the filter being designed is to act as a filter.

**Step 1:** Plot the gradation curve of the base soil material.

Refer to figure 26-1 for the plotted grain size distribution curve for this example clay base soil, labeled Base soil. The plotted curve is from the following data:

| Sieve size | % passing |
|------------|-----------|
| No 10      | 100       |
| No. 200    | 90        |
| 0.05 mm    | 80        |
| 0.02 mm    | 60        |
| 0.005 mm   | 40        |
| 0.002 mm   | 32        |

**Step 2:** Proceed to step 4 if the base soil contains no gravel (material larger than the No. 4 sieve).

The example base soil has 100 percent finer than the No. 4 sieve, and the grain size distribution curve does not need to be regraded. Proceed to step 4.

**Step 3:** Not applicable because the base soil contains no particles larger than the No. 4 sieve

**Step 4:** Place the base soil in a category determined by the percent passing the No. 200 (0.075 mm) sieve from the regraded gradation curve data according to table 26-1.

The example soil has 90 percent finer than the No. 200 sieve. From table 26-1, the soil is in category 1.

**Step 5:** To satisfy filtration requirements, determine the maximum allowable  $D_{15}$  size for the filter according to table 26-2.

The filtering criteria for base soil category 1 is (table 26-2): The maximum  $D_{15}$  of the filter will be less than or equal to 9 times the  $d_{65}$  of the base soil, but not less than 0.2 mm.

The  $d_{65}$  size of the base soil is 0.06 mm. Thus, the maximum  $D_{15}$  of the filter is

$$\leq 9 \times 0.06 = 0.54 \text{ mm (not } < 0.2 \text{ mm)}$$

This is labeled as Maximum  $D_{15}$  in figure 26-1.

**Step 6:** If permeability is a requirement (section 633.2602), determine the minimum allowable  $D_{15}$  according to table 26-3. Note: The permeability requirement is determined from the  $d_{15}$  size of the base soil gradation before regrading.

The permeability criterion for all categories of base soils is that the filter will have a minimum  $D_{15}$  of no less than 4 times the  $d_{15}$  of the base soil (before any regrading of the base soil), but will not be less than 0.1 mm in any case.

The example 26-1 base soil does not have a meaningful  $d_{15}$  size. The data show that the base soil has 32 percent finer than 0.002 mm, the smallest commonly determined particle size. Therefore, use the default value of 0.1 mm for the minimum  $D_{15}$  of the filter. This value is the preliminary value for minimum  $D_{15}$ . Proceed to step 7 for any needed adjustments.

**Step 7:** The width of the allowable filter design band must be kept relatively narrow to prevent the use of possibly gap-graded filters. Adjust the maximum and minimum  $D_{15}$  sizes for the filter band determined in previous steps 5 and 6 so that the ratio is 5 or less, at any given percent passing of 60 or less. Adjustments may be required based on the following considerations.

For example 26-1, the ratio of the maximum  $D_{15}$  to the minimum  $D_{15}$  sizes is equal to  $0.54 / 0.1 = 5.4$ . Because the value is slightly greater than 5, a slight adjustment is needed in this step. The minimum  $D_{15}$  is the control because filtering is stated as the most important purpose. Label this as Control point 2. Determine an adjusted maximum  $D_{15}$  size for the final design filter band as equal to the minimum  $D_{15}$  size,  $0.10 \times 5 = 0.50$  mm. This is the final Control point 1 labeled in figure 26-1. Go to step 8.

(210-vi-NEH, October 1994) 26-7

**Step 8:** The designed filter band must not have an extremely broad range of particle sizes to prevent using possibly gap-graded filters. Adjust the limits of the design filter band so that coarse and fine sides of the filter band have a coefficient of uniformity of 6 or less. Width of the filter band should be such that the ratio of maximum to minimum diameters is less than or equal to 5 for all percent passing values of 60 or less.

For example 26-1, calculate a value for maximum  $D_{10}$  by dividing the maximum  $D_{15}$  size of 0.5 mm (determined in step 7) by 1.2 = 0.42 mm. Determine the value for the maximum  $D_{60}$  size by multiplying the value of  $D_{10}$  by 6 = 0.42 x 6 = 2.5 mm. Label this as Control point 3.

Determine the minimum allowable  $D_{60}$  size for the fine side of the band by dividing the determined maximum  $D_{60}$  size by 5:

$$\frac{D_{60}}{5} = \frac{2.5}{5} = 0.50$$

Label this Control point 4.

**Step 9:** Determine the minimum  $D_5$  and maximum  $D_{100}$  sizes of the filter according to table 26-5.

This table shows that filters must have a  $D_5$  greater than or equal to 0.075 mm, equal to the No. 200 sieve size. Label this value as Control point 5 in figure 26-1.

It also shows that filters must have a  $D_{100}$  of less than or equal to 3 inches. Label this value as Control point 6 in figure 26-1.

**Step 10:** To minimize segregation during construction, the relationship between the maximum  $D_{60}$  and the minimum  $D_{10}$  of the filter is important. Calculate a preliminary minimum  $D_{10}$  size by dividing the minimum  $D_{15}$  size by 1.2. Determine the maximum  $D_{60}$  using table 26-6. Label this as Control point 7.

Calculate the minimum  $D_{10}$  size of the preliminary filter band as equal to the minimum  $D_{15}$  value of 0.1 mm (obtained in step 6) divided by 1.2:

$$0.10 / 1.2 = 0.083 \text{ mm}$$

Table 26-6 lists maximum  $D_{60}$  sizes for filters for a range of  $D_{10}$  sizes. Because the  $D_{10}$  value is less than 0.5 mm, the maximum  $D_{60}$  size is 20 mm. Label this value as Control point 7 in figure 26-1.

**Step 11:** Connect Control points 4, 2, and 5 to form a partial design for the fine side of the filter band. Connect Control points 6, 7, 3, and 1 to form a partial design for the coarse side of the filter band.

Complete the design of the filter band by extrapolating the coarse and fine curves to the 100 percent finer value. For purposes of writing specifications, select appropriate sieves and corresponding percent finer values that best reconstruct the design band and tabulate the values.

Refer to figure 26-1 for an illustration of the complete filter design. Note that adjustments have been made in straight line portions of the design band to intercept even values for percent passing at standard sieve sizes and to prevent the use of very broadly graded filters. The final design specified gradation is shown in table 26-8.

**Step 12:** Design filters adjacent to perforated pipe to have a  $D_{65}$  size no smaller than the perforation size. For critical structure drains where rapid gradient reversal (surging) is probable, it is recommended that the  $D_{15}$  size of the material surrounding the pipe be no smaller than the perforation size.

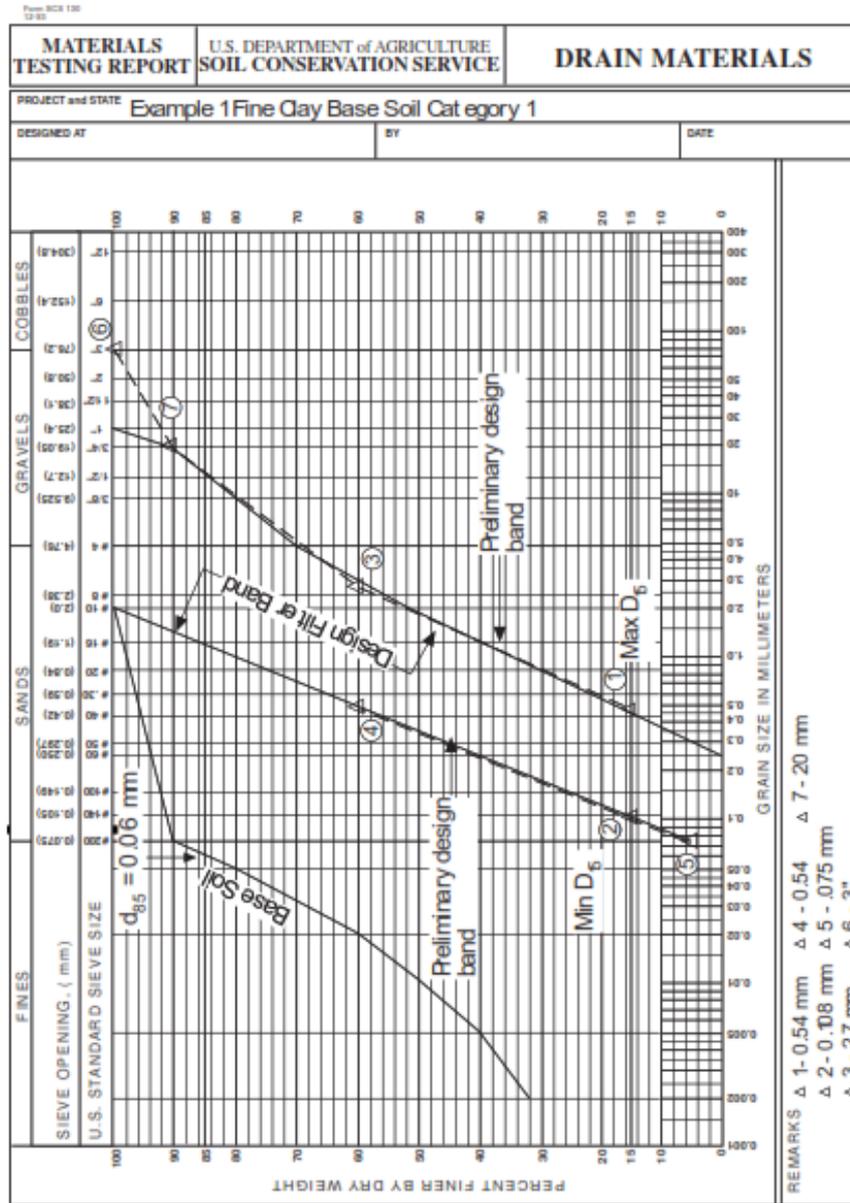
For this example, the filter will not be used around a perforated collector pipe, so step 12 is not applicable.

**Additional design considerations:** For this example, ASTM C-33 concrete sand falls well within the design band. Because this is a fairly standard, readily available gradation, no adjustments in the design band appear warranted. Selected ASTM Aggregate Specifications are given in appendix 26B.

**Table 26-8** Design specification gradation for example 26-1 soil

| Sieve size | % passing |
|------------|-----------|
| 1 inch     | 100       |
| 3/4 inch   | 90-100    |
| No. 4      | 70-100    |
| No. 10     | 52-100    |
| No. 20     | 30-75     |
| No. 60     | 0-40      |
| No. 140    | 0-15      |
| No. 200    | 0-5       |

Figure 26-1 Grain size distribution curve for fine clay base soil



## Example 26-2 Silty sand with gravel base soil— Category 3

**Given:** The most important function of the filter being designed in this example is to act as a drain.

**Step 1:** Plot the gradation curve of the base soil material.

Refer to figure 26-2 for the plotted grain size distribution curve for this example silty sand with gravel base soil. The plotted curve is from the following data:

| Sieve size | % passing |
|------------|-----------|
| 3 inch     | 100       |
| 1 inch     | 90        |
| 3/8 inch   | 82        |
| No. 4      | 78        |
| No. 10     | 72        |
| No. 20     | 66        |
| No. 40     | 54        |
| No. 100    | 32        |
| No. 200    | 20        |
| 0.005 mm   | 4         |
| 0.002 mm   | 2         |

**Step 2:** Proceed to step 4 if the base soil contains no gravel (material larger than the No. 4 sieve).

The example 26-2 base soil has particles larger than the No. 4 sieve, so the grain size distribution curve should be regraded on the No. 4 sieve. Proceed to step 3:

**Step 3:** Prepare adjusted gradation curves for base soils with particles larger than the No. 4 (4.75 mm) sieve.

Determine the regrading factor by dividing the value 100 by the percent passing the No. 4 (4.75 mm) sieve size. The regrading factor is:

$$\frac{100\%}{78\%} = 1.28$$

Using the original gradation analysis, plot a regraded curve for 100 percent passing the No. 4 (4.75 mm) sieve. The regraded percent passing values are equal to the original percent passing values times the regrading factor.

| Sieve size | Original % passing | Regraded % passing |
|------------|--------------------|--------------------|
| 3 inch     | 100                | —                  |
| 1 inch     | 90                 | —                  |
| 3/8 inch   | 82                 | —                  |
| No. 4      | 78                 | 100                |
| No. 10     | 72                 | 92                 |
| No. 20     | 66                 | 85                 |
| No. 40     | 54                 | 69                 |
| No. 100    | 32                 | 41                 |
| No. 200    | 20                 | 26                 |
| 0.005 mm   | 4                  | 5                  |
| 0.002 mm   | 2                  | 3                  |

**Step 4:** Place the base soil in a category determined by the percent passing the No. 200 (0.075 mm) sieve from the regraded gradation curve data according to table 26-1.

The example soil after regrading has 26 percent finer than the No. 200 sieve. From table 26-1, the soil is in category 3.

**Step 5:** To satisfy filtration requirements, determine the maximum allowable  $D_{15}$  size for the filter according to table 26-2.

The filtering criteria for base soil category 3 is (table 26-2): The maximum  $D_{15}$  of the filter will be less than or equal that given by the following expression:

$$D_{15} \leq \left[ \frac{(40 - A)}{(40 - 15)} \right] \left[ (4)(d_{85}) - 0.7 \text{ mm} \right] + 0.7 \text{ mm}$$

Determine from the gradation curve of the regraded base soil that the  $d_{60}$  size is 0.84 mm. From the regraded curve, the value of A is 26 percent. Then the maximum  $D_{15}$  of the filter by the equation above is:

$$D_{15} \leq \left[ \frac{(40 - 26)}{(40 - 15)} \right] \left[ (4)(0.84) - 0.7 \text{ mm} \right] + 0.7 \text{ mm} \\ \leq 2.2 \text{ mm}$$

This is labeled as Maximum  $D_{15}$  in figure 26-2.

**Step 6:** If permeability is a requirement (section 633.2603), determine the minimum allowable  $D_{15}$  according to table 26-3. Note: The permeability requirement is determined from the  $d_{15}$  size of the base soil gradation before regrading.

The permeability criterion for all categories of base soils is that the filter have a minimum  $D_{15}$  of no less than 4 times the  $d_{15}$  of the base soil (before any regrading of the base soil), but not be less than 0.1 mm in any case.

The example 26-2 base soil has a  $d_{15}$  size of 0.032 before regrading. The minimum  $D_{15}$  of the filter is  $4 \times 0.032 = 0.128$  (acceptable because it is larger than 0.1 mm). Label this value as Minimum  $D_{15}$  in figure 26-2.

**Step 7:** The width of the allowable filter design band must be kept relatively narrow to prevent the use of possibly gap-graded filters. Adjust the maximum and minimum  $D_{15}$  sizes for the filter band determined in previous steps 5 and 6 so that the ratio is 5 or less at any given percent passing of 60 or less. Adjustments may be required based on the following considerations:

Determine the ratio of the maximum  $D_{15}$  size to the minimum  $D_{15}$  sizes determined in previous steps. This ratio is:

$$\frac{2.2 \text{ mm}}{0.13 \text{ mm}} = 16.9$$

Because this ratio exceeds the criterion ratio of 5, adjustments are required in the values.

It was given that the most important function of the filter is to serve as a drain, so the maximum  $D_{15}$  is selected as the control point, equal to 2.2 mm. Label this value as Control point 1. To satisfy criteria, determine that the minimum  $D_{15}$  value is  $1/5$  of this value.

The minimum  $D_{15}$  value is then:

$$\frac{2.2 \text{ mm}}{5} = 0.44 \text{ mm}$$

Label this as Control point 2 in figure 26-2.

**Step 8:** The designed filter band must not have an extremely broad range of particle sizes to prevent the use of possibly gap-graded filters. Adjust the limits of the design filter band so that the coarse and fine sides of the filter band have a coefficient of uniformity of 6 or less. The width of the filter band should be such that the ratio of maximum to minimum diameters is less than or equal to 5 for all percent passing values of 60 or less.

The value for maximum  $D_{10}$  is calculated to be the maximum  $D_{15}$  size determine in step 7, divided by 1.2:

$$\frac{D_{15}}{1.2} = \frac{2.2}{1.2} = 1.83 \text{ mm}$$

Calculate a value for the maximum  $D_{60}$ . The maximum  $D_{10}$  size times 6 is  $1.83 \times 6 = 11$  mm. Label the maximum  $D_{60}$  size as Control point 3.

The minimum allowable  $D_{60}$  size is equal to the maximum  $D_{60}$  size divided by 5.

$$\frac{11}{5} = 2.2 \text{ mm}$$

Label this as Control point 4 in figure 26-2.

**Step 9:** Determine the minimum  $D_5$  and maximum  $D_{100}$  sizes of the filter according to table 26.5.

This table requires filters to have a  $D_5$  greater than or equal to 0.075 mm, equal to the No. 200 sieve size. Label this value as Control point 5 in figure 26-2.

It also shows that filters must have a  $D_{100}$  of less than or equal to 3 inches. Label this value as Control point 6 in figure 26-2.

**Step 10:** To minimize segregation during construction, the relationship between the maximum  $D_{60}$  and the minimum  $D_{10}$  of the filter is important. Calculate a preliminary minimum  $D_{10}$  size by dividing the minimum  $D_{15}$  size by 1.2. Determine the maximum  $D_{90}$  using table 26-6. Label this as Control point 7.

Determine that the minimum  $D_{10}$  size is equal to the minimum  $D_{15}$  size (determined in step 7) of 0.44 divided by 1.2:

$$\frac{0.44}{1.2} = 0.37 \text{ mm}$$

Because the value of minimum  $D_{10}$  size is less than 0.5 mm, the maximum  $D_{90}$  size is 20 mm (table 26-6). Label this value as Control point 7 in figure 26-4.

**Step 11:** Connect control points 4, 2, and 5 to form a partial design for the fine side of the filter band. Connect control points 6, 7, 3, and 1 to form a design for the coarse side of the filter band.

Complete the design of the filter band by extrapolating the coarse and fine curves to the 100 percent finer value. For purposes of writing specifications, select appropriate sieves and corresponding percent finer values that best reconstruct the design band and tabulate the values.

Refer to figure 26-2 for the completed filter band design. Table 26-9 gives the final design specified gradation. Note that all the control points are considered and that sieve sizes and corresponding percent finer values are selected to best fit the design band.

**Step 12:** Design filters adjacent to perforated pipe to have a  $D_{95}$  size no smaller than the perforation size. For critical structure drains where rapid gradient reversal (surging) is probable, it is recommended that the  $D_{15}$  size of the material surrounding the pipe be no smaller than the perforation size.

It is not given that this filter is to be used around a collector pipe, so this criterion is not applicable.

**Additional design considerations:** The design filter band does not coincide with standard, readily available aggregate gradations. Probably, a blend of standard aggregate gradations would be required to meet this design. Adjustments to the filter according to this step would not improve the availability. See following examples where this adjustment would be applicable. Using the design filter band, prepare the following tabular listing of the design.

**Table 26-9** Design specification gradation for example 26-2 soil

| Sieve size | % passing |
|------------|-----------|
| 3 inch     | 100       |
| 3/4 inch   | 90-100    |
| 1/2 inch   | 75-100    |
| No. 4      | 40-100    |
| No. 10     | 10-55     |
| No. 20     | 0-30      |
| No. 40     | 0-15      |
| No. 100    | 0-9       |
| No. 200    | 0-5       |

Figure 26-2 Grain size distribution curve for silty sand with gravel base soil – Category 3

