



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

MEJORA DEL RESIDUO SÓLIDO PARA SU UTILIZACIÓN EN EL
RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA,
MINERA EL BROCAL

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano–rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y
Geotécnica**

Modalidad de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Autor:

Ventura Pozo, William

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

ORCID: 000 0001 8625 3989

Jurado:

Ramos Flores, Miguel Ángel

Jaramillo Tarazona, Francisco

Tabory Malpartida, Gustavo

Lima - Perú

2022

Referencia:

Ventura, P. (2022). *Mejora del residuo sólido para su utilización en el recrecimiento del espaldón de la presa de relaves Huachuacaja, Minera el Brocal* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5743>



Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**MEJORA DEL RESIDUO SÓLIDO PARA SU UTILIZACIÓN
EN EL RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA
DE RELAVES HUACHUACAJA, MINERA EL BROCAL**

Línea de Investigación:

Desarrollo urbano–rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y
Geotécnica

Modalidad de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Autor

Ventura Pozo, William

Asesor

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo
ORCID: 000 0001 8625 3989

Jurado

Ramos Flores, Miguel Ángel
Jaramillo Tarazona, Francisco
Tabory Malpartida, Gustavo

Lima – Perú
2022

Dedicatoria

A mis padres, Luis y Dina por su apoyo incondicional en mi etapa de formación profesional. A mis hermanos Keiji y Lilibeth que siempre han estado junto a mí alentando cada resultado.

Agradecimiento

A Dios, por haberme dado la vida, fortalecer mis debilidades y permitirme el acceso al conocimiento e inteligencia.

A mis padres, por su esfuerzo y sacrificio constante para el logro de mi formación profesional.

A mi alma mater la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Civil y la Plana de Docentes, por inculcar el aprendizaje continuo para un correcto desempeño del ejercicio profesional.

Agradezco también a la Empresa INCIMI SAC por haberme dado la oportunidad de desarrollar este proyecto de investigación.

NDICE

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Trayectoria del autor.....	12
1.1.1. Asistente de oficina técnica	12
1.1.2. Asistente técnico.....	13
1.1.3. Asistente técnico de obra	13
1.2. Descripción de la empresa.....	13
1.3. Organigrama de la empresa.....	14
1.4. Áreas y funciones desempeñadas.....	14
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA	15
2.1. Planteamiento del problema	15
2.1.1. Descripción de la realidad problemática	15
2.2. Formulación del problema.....	17
2.2.1. Problema general.....	17
2.2.2. Problemas específicos.....	17
2.3. Objetivo	18
2.3.1. Objetivo general	18
2.3.2. Objetivos específicos	18
2.4. Justificación	18
2.5. Alcances.....	19
2.6. Limitaciones.....	19

2.7. Marco teórico	20
2.7.1. Definiciones teóricas.....	20
2.7.2. Propiedades físicas de los suelos	21
2.7.3. Consideraciones generales de diseño para una presa de relave	27
2.8. Hipótesis	32
2.8.1. Hipótesis general.....	32
2.8.2. Hipótesis específicas	32
2.9. Variables.....	32
2.9.1. Variable independiente.....	32
2.9.2. Variable dependiente.....	32
2.10. Marco metodológico	33
2.10.1. Tipo de informe.....	33
2.10.2. Nivel de informe.....	33
2.10.3. Diseño de informe.....	33
2.10.4. Población y muestra.....	33
2.10.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	34
2.11. Caracterización del proyecto	41
2.11.1. Ubicación, clima, topografía	41
2.11.2. Antecedente histórico.....	41
2.11.3. Caracterización de los relaves depositados	42
2.11.4. Características geológicas del depósito de relaves	42
2.11.5. Geomorfología de la Presa de Relaves Huachuacaja	43
2.11.6. Etapa constructiva de la presa	43
2.11.7. Materiales de relleno para la construcción del dique de presa	46
2.11.8. Ensayos de los rellenos	54
2.12. Presentación de los resultados	55
2.12.1. Características físicas del Residuo Solido de mina y material de préstamo.....	55

2.12.2. Características físicas del Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo	62
2.12.3. Ensayo de reemplazo de agua de acuerdo norma ASTM D5030 para la determinación de la Densidad In Situ y características físicas del material para su utilización como material de relleno.	68
2.13. Interpretación de resultados.....	73
III. APORTES MAS DESTACABLES A LA EMPRESA	75
IV. CONCLUSIONES	76
V. RECOMENDACIONES	78
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
VII. ANEXOS.....	82
ANEXO A: Norma ASTM D5519.....	83
ANEXO B: Norma ASTM D5030.....	89
ANEXO C: Procedimiento del panel test reemplazo por agua.	91
ANEXO 4: Frecuencia de rellenos y controles.	100
ANEXO 5: Panel fotográfico.....	102
ANEXO 6: Planos de Presa de Relaves Huachuacaja.	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de suelos de acuerdo al tamaño de partículas.	23
Tabla 2. Ensayos de mecánica de suelos y normativa aplicada.	34
Tabla 3. Tamices de laboratorio según ATSM E 11.	35
Tabla 4. Producción de la Unidad Minera El Brocal.	42
Tabla 5. Parámetros sísmico y geológico del dique de relaves Huachuacaja.	45
Tabla 6. Parámetros de diseño del dique de relaves Huachuacaja.	45
Tabla 7. Gradación del material tipo 2.	47
Tabla 8. Gradación material tipo 3.	48
Tabla 9. Gradación de material tipo 4.	49
Tabla 10. Gradación material tipo 4A.	50
Tabla 11. Gradación material tipo 5.	51
Tabla 12. Gradación material tipo 8.	52
Tabla 13. Gradación material tipo 9.	53
Tabla 14. Resultados de muestra 1 (M1), muestra 2 (M2) y muestra 3 (M3): granulometría y contenido de humedad del Residuo Solido de mina.	55
Tabla 15. Resultado muestra 1 (M1), muestra 2 (M2), muestra 3 (M3), muestra 4 (M4) y muestra 5 (M5): granulometría y contenido de humedad natural del material de préstamo.	58
Tabla 16. Resultados de la muestra 1 (M1): límites de Atterberg del material de préstamo.	59
Tabla 17. Granulometría del material combinado (desmonte M3+préstamo M4 + over).	63
Tabla 18. Granulometría del material combinado (desmonte M3+préstamo M5 + over).	64
Tabla 19. Granulometría del material combinado (desmonte M2+préstamo M4+ over).	65
Tabla 20. Granulometría y contenido humedad del material combinado: muestra, pila N° 18.	66
Tabla 21. Granulometría y contenido humedad del material combinado: muestra, pila N° 19.	67
Tabla 22. Resultados del control de asentamientos.	69
Tabla 23. Resultados, contenido de humedad.	69
Tabla 24. Resultado, densidad seca.	71
Tabla 25. Resultado del análisis macro granulométrico ASTM D 5519 en la muestra ensayada en el test de reemplazo de agua.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un análisis de estabilidad de taludes.....	29
Figura 2. Trazo de terreno para ensayo ASTM D 5030.....	40
Figura 3. Curva granulométrica, Residuo Solido de mina - muestra 1.....	56
Figura 4. Curva granulométrica, Residuo Solido de mina - muestra 2.....	56
Figura 5. Curva granulométrica, Residuo Solido de mina - muestra 3.....	57
Figura 6. Curva granulométrica, material de préstamo M1.....	60
Figura 7. Curva granulométrica, material de préstamo M2.....	60
Figura 8. Curva granulométrica, material de préstamo M3.....	61
Figura 9. Curva granulométrica, material de préstamo M4.....	61
Figura 10. Curva granulométrica, material de préstamo M5.....	62
Figura 11. Curva granulométrica del material combinado (desmonte M3+préstamo M4 + over).....	63
Figura 12. Curva granulométrica del material combinado (desmonte M3+préstamo M5 + over).....	64
Figura 13. Curva granulométrica del material combinado (desmonte M2+préstamo M4+ over).....	65
Figura 14. Curva granulométrica del material de combinado: muestra, pila N° 18.....	67
Figura 15. Curva granulométrica del material de combinado: muestra, pila N° 19.....	68
Figura 16. Esquemmatización de trazo en terreno_ panel test.....	68
Figura 17. Contenido de humedad vs número de ciclos.....	70
Figura 18. Densidad seca vs número de ciclos.....	70
Figura 19. Curva granulométrica de la muestra ensayada en el test de reemplazo de agua.....	72

RESUMEN

El material de relleno solicitado según especificaciones técnicas para el Recrecimiento de la Presa de Relaves Huachuacaja es el Material Tipo 4, resultado del procesamiento del Residuo Sólido de Mina en una zaranda mecánica. Sin embargo, realizado el primer ensayo de control de calidad, se concluyó que el material obtenido no cumple con la caracterización granulométrica. Visto esta problemática se investigó mediante un diseño experimental prospectivo longitudinal la mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal. Las muestras fueron tomadas de acuerdo a la cantidad y procedimiento que indica los ensayos de Mecánica de Suelos de la Normativa ASTM; Ensayo Macro granulométrico (ASTM D5519), Ensayo Granulométrico (ASTM D422), Contenido de Humedad Natural (ASTM D2216), Límite Líquido y Plástico (ASTM D423) y el Ensayo de Reemplazo por Agua (ASTM 5030). Los resultados de caracterización física del Residuo Sólido de Mina y Material de Préstamo indica que el uso individual como material de relleno afectaría el comportamiento estructural e hidráulico de la presa, el cual implica un alto riesgo de colapso. Por otra parte, las características físicas de ambos materiales son complementarios; el Residuo Sólido de Mina presenta bajo contenido de humedad, bajo porcentaje de grava y arena, pero necesaria cantidad de rocas, en cambio el Material de Préstamo tiene un elevado contenido de humedad y una granulometría compuesto en su mayoría de grava y arena. En base a ensayos teóricos y experimento en campo se corroboró que realizar el Blending en proporciones de 40%, 60% y 5%, Residuo Sólido de Mina, Material de Préstamo y Over respectivamente ayuda a cumplir con la gradación granulométrica, humedad y plasticidad del material de relleno solicitada.

Palabra Clave: Presa de relaves, Granulometría, Contenido de humedad, Blending.

ABSTRACT

The fill material requested according to the technical specifications for the Regrowth of the Huachuacaja Tailings Dam is Type 4 Material, the result of processing the Solid Mine Waste in a mechanical shaker. However, after carrying out the first quality control test, it was concluded that the material obtained does not comply with the granulometric characterization. In view of this problem, the improvement of Solid Mine Waste with Borrow Material was investigated through a longitudinal prospective experimental design for its use as Fill Material in the Regrowth of the Shoulder of the Huachuacaja Tailings Dam, Minera el Brocal. The samples were taken according to the quantity and procedure indicated by the Soil Mechanics tests of the ASTM Standard; Macro Granulometric Test (ASTM D5519), Granulometric Test (ASTM D422), Natural Moisture Content (ASTM D2216), Liquid and Plastic Limit (ASTM D423) and the Water Replacement Test (ASTM 5030). The results of the physical characterization of the Solid Mine Residue and Borrowing Material indicate that the individual use as fill material would affect the structural and hydraulic behavior of the dam, which implies a high risk of collapse. On the other hand, the physical characteristics of both materials are complementary; the Solid Mine Residue has low moisture content, low percentage of gravel and sand, but a necessary amount of rocks, on the other hand, the Loan Material has a high moisture content and a granulometry composed mostly of gravel and sand. Based on theoretical tests and field experiments, it was confirmed that Blending in proportions of 40%, 60% and 5%, Solid Mine Residue, Loan Material and Over, respectively, helps to comply with the granulometric gradation, humidity and plasticity of the material. requested filler material.

Keywords: Tailings dam, Granulometry, Moisture Content, Blending.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la Unidad Minera El Brocal ha incrementado su producción de minerales, entre los más destacados está el cobre, zinc, plomo, cromo. Paralelo al incremento de explotación de minerales la minera también desarrolla el correcto manejo ambiental, con la finalidad de evitar impactos negativos en el ámbito social, cultural, demográfico, geográfico e hidrológico. Por ello pone en marcha la ejecución del Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, siendo el objetivo aumentar el ancho del cuerpo de presa y disminuir el riesgo de colapso de la Presa.

La Presa de relaves Huachuacaja ubicada en cabecera de cuenca de la quebrada Huachuacaja, localizada en la Comunidad Huaraucaca del distrito de Tinyahuarco, Provincia Pasco y Departamento Pasco, no cuenta con material de relleno adecuado para ejecutar el Recrecimiento del Espaldón de la Presa. El material solicitado para esta etapa según especificaciones técnicas considera el Material Tipo 4, material retenido del procesamiento del Residuo Solido de Mina en una zaranda mecánica. Sin embargo, realizado los ensayos de control y en comparación con los parámetros permisibles se concluye que el material obtenido no cumple con los porcentajes de masa que indica el huso granulométrico de diseño, el contenido de humedad natural no es el óptimo, se tiene un exceso de finos y el panel test de relleno masivo no alcanza los valores solicitados, básicamente por la heterogeneidad del Residuo solido de Mina y su baja resistencia a esfuerzos. Por cuanto, el objetivo de la presente investigación es implementar el proceso de mejora del Residuo Solido de Mina con Material de Préstamo para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, con la finalidad de tener mayor capacidad de almacenamiento y conseguir un comportamiento estructural e hidráulico eficiente durante el periodo a que fue diseñado.

1.1. Trayectoria del autor

Bachiller en Ingeniería Civil con conocimiento en programación, ejecución, monitoreo, control, cierre y gestión de proyectos de construcción, con experiencia en área de productividad, oficina técnica, costos Civil con conocimiento en programación, ejecución, monitoreo, control, cierre y gestión de proyectos de construcción, con experiencia en área de productividad, oficina técnica, costos y planeamiento, revisión de estudios básicos y complementarios como de diseño, manejo de contratistas y afines; con experiencia en obras de edificios multifamiliares, proyectos viales, puentes y construcción de dique para tratamiento de relave minero, liderando las áreas de costos, planeamiento y calidad.

1.1.1. Asistente de oficina técnica

Empresa: ECOSEM HUARAUCACA,

Proyecto: “Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja (Fase 3)”

Ubicación: Minera el Brocal, Distrito de Tinyahuarco-Pasco-Pasco.

Periodo: (05/2019 – 11/2019).

- Responsable de la Gestión de Cambios, Planeamiento, Seguimiento y Control del Proyecto.
- Responsable de la Elaboración de Adicional de Obra y la Gestión de la Orden de Cambio con el Cliente: Sociedad Minera El Brocal.
- Asistí en la supervisión de la Calidad para su Control y Aseguramiento.
- Responsable de los Reportes Diarios de Avance, Informe Semanal e Informe Mensual (Valorizaciones de Obra).
- Responsable del Control Documentario con el Cliente.
- Control de Gastos, Valorización de Proveedores y Balance Económico del Proyecto.

1.1.2. Asistente técnico

Entidad: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAUCARTAMBO – PASCO – PASCO.

Área: SUBGERENCIA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS.

Periodo: (02/2019 – 04/2019).

- Responsable de la Revisión técnica del Expediente Técnico y Ficha Simplificada según Invierte.pe
- Encargado de la Elaboración de Planes de trabajo para el mantenimiento, rehabilitación, renovación y mejoramiento de infraestructuras viales e hidráulicas.
- Encargado de la Elaboración de Expediente Técnico IOARR según Invierte.pe

1.1.3. Asistente técnico de obra

Empresa: BCL Ingenieros Contratistas SAC.

Proyecto: “Mejoramiento de Camino Vecinal entre el C.P. San Juan Centro Autiki y Belén Anapiari, Distrito de Pichanaki, Provincia de Chanchamayo, Junín. II Etapa.”

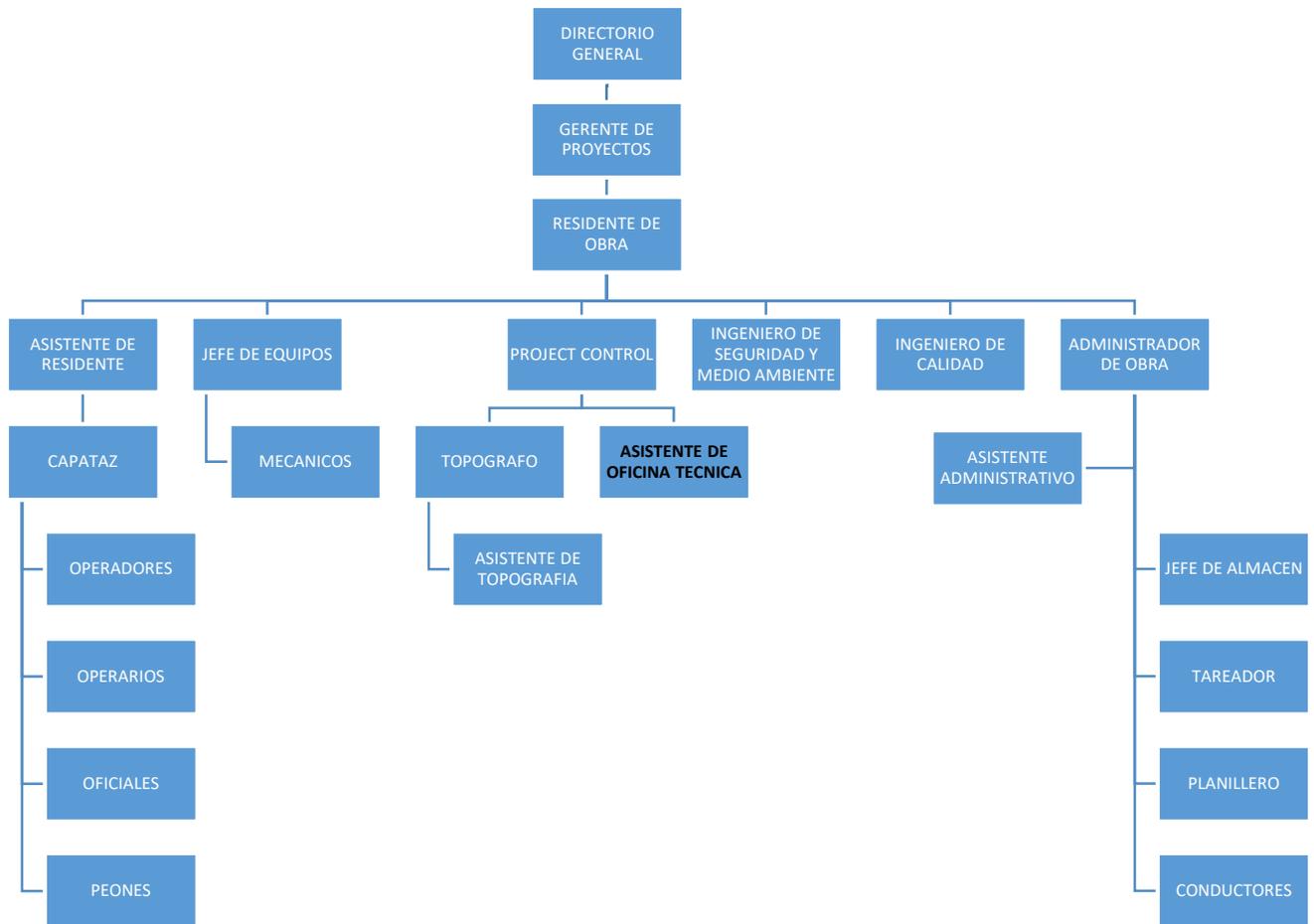
Periodo: (02/2018 – 01/19).

- Responsable de la asistencia técnica en obra, planificación y control de recursos.
- Encargado del control administrativo y legal, según Ley de contrataciones con el estado.

1.2. Descripción de la empresa

ECOSEM HUARAUCACA, Empresa Comunal de Servicios Múltiples, con dirección en plaza Huaraucaca s/n, distrito fundación Tinyahuarco-Pasco-Pasco. ECOSEM-HUARAUCACA, es una empresa contratista formada en año 2008 que se desempeña en el ámbito de la Minería y la Construcción en general, dedicada a la ejecución y diseño de todo tipo de proyectos mineros y civiles, así como de obras mecánicas, eléctricas y electrónicas.

1.3. Organigrama de la empresa



1.4. Áreas y funciones desempeñadas

Me desempeñé en el área de Oficina Técnica vinculada a la gestión del proyecto con enfoque en satisfacción del cliente, desarrollando procesos de seguimiento y control constructivo, supervisión de ensayos de control de calidad y validación de resultados mediante un plan de calidad establecido.

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

2.1. Planteamiento del problema

2.1.1. Descripción de la realidad problemática

Durante los últimos años la Minera El Brocal ha incrementado su producción de minerales, entre los más destacados está el cobre, zinc, plomo, cromo. Es por ello que viene invirtiendo en tecnología de punta, modernizando sus instalaciones e implementando nuevos sistemas de operación, de tal manera hacer de sus operaciones altamente competitivas y rentables. Paralelo al incremento de explotación de minerales la compañía minera El Brocal también desarrolla el correcto manejo ambiental, con la finalidad de evitar impactos negativos en el ámbito social, cultural, demográfico, geográfico e hidrológico. Así mismo, con la finalidad de apoyar una minería responsable de la seguridad de la infraestructura y en cumplimiento de la normatividad vigente, OSINERGMIN a través de su Gerencia de Supervisión Minera (GSM), realiza la supervisión y fiscalización, siendo prioridad los depósitos de relaves, por ser estructuras de gran potencial de riesgo.

La GSM, ha detectado principales causas de fallas en presa de relaves, entre ellos el bajo nivel del diseño de ingeniería, construcción de presas aguas arriba y evasión de los parámetros de diseño, tales como; ángulos de talud, anchos de corona, granulometría y porcentajes de finos del material de relleno utilizado en el cuerpo de presa.

El aumento de producción de relave minero y presencia de precipitaciones constantes ha ocasionado que la altura de borde mínimo (distancia vertical entre la cresta de la presa y nivel máximo de embalsamiento de relave) se reduzca y este al límite de lo permitido. Por ello la Unidad Minera pone en marcha la ejecución del Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, siendo el objetivo aumentar el ancho del cuerpo de dique, cumpliendo los parámetros de diseño del expediente técnico.

La Presa de relaves Huachuacaja ubicada en cabecera de cuenca de la quebrada Huachuacaja, localizada en la Comunidad Huaraucaca del distrito de Tinyahuarco, Provincia Pasco y Departamento Pasco, no cuenta con material de relleno adecuado para ejecutar el Recrecimiento del Espaldón de la Presa.

El material solicitado para esta etapa según especificaciones técnicas considera el Material Tipo 4, material retenido del procesamiento del Residuo Sólido de Mina en una zaranda mecánica. Sin embargo, realizado los ensayos de control y en comparación con los parámetros permisibles se concluye que el material obtenido no cumple con los porcentajes de masa que indica el huso granulométrico de diseño, el contenido de humedad natural no es el óptimo, se tiene un exceso de finos y el panel test de relleno masivo no alcanza los valores solicitados, básicamente por la heterogeneidad del Residuo sólido de Mina y su baja resistencia a esfuerzos.

El uso del Residuo Sólido de Mina como material de relleno en el cuerpo de la presa, sin previo proceso de mejora, la estructura de depósito de relaves estaría vulnerable a la estabilidad de talud, se presentaría descontrol de la gradiente hidráulica, sucesivamente falla por incremento de esfuerzos internos o licuefacción durante la acción del sismo, el cual implica impacto negativo en al ámbito demográfico, social, hidrológico y ambiental.

Con la finalidad de tener mayor capacidad de almacenamiento y conseguir que la Presa de Relaves presente un adecuado desempeño estructural durante el periodo a que fue diseñado, en este informe se da a conocer la implementación del proceso de mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de relaves Huachuacaja, Minera El Brocal.

2.2. Formulación del problema

2.2.1. Problema general

¿La implementación del proceso de mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo favorecerá para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal?

2.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas del Residuo Sólido de la Minera El Brocal?
2. ¿Cuáles son las propiedades físicas del Material de Préstamo de la Minera El Brocal?
3. ¿Cuáles son las propiedades permisibles del Material de Relleno a utilizarse en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal?
4. ¿Cuáles son las características físicas al término del proceso de mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal?
5. ¿Cuáles son las propiedades en la Etapa de Colocación, del Residuo Sólido de Mina mejorado con Material de Préstamo para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal?

2.3. Objetivo

2.3.1. *Objetivo general*

Implementar el proceso de mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo para utilizar como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal

2.3.2. *Objetivos específicos*

1. Determinar las propiedades físicas del Residuo Sólido de la Minera El Brocal.
2. Determinar las propiedades físicas del Material de Préstamo de la Minera El Brocal.
3. Determinar las propiedades permisibles del Material de Relleno a utilizarse en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal.
4. Determinar las características físicas al término del proceso de mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal.
5. Determinar las propiedades en la Etapa de Colocación del Residuo Sólido de Mina mejorado con Material de Préstamo para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal.

2.4. Justificación

El presente informe se justifica en proporcionar una alternativa técnica para la obtención del material de relleno a utilizarse en el recrecimiento de una presa de relave, con la finalidad de preservar el correcto comportamiento estructural e hidráulico durante el periodo de vida a que fue diseñado, así evitar el riesgo de colapso, las cuales tienen presencia de ecosistemas con flora y fauna únicos que actualmente se encuentran en decrecimiento debido al impacto producido por la actividad minera.

La importancia del informe es demostrar que al aplicar la mejora del Residuo Sólido de Mina ayudara a minimizar la concentración de grandes volúmenes de desmonte en el botadero de mina, asimismo, esta implementación del proceso reducirá notablemente el costo si se utilizara únicamente el material de préstamo como material de relleno.

2.5. Alcances

El desarrollo práctico del informe se llevó a cabo en las canteras entorno al proyecto, laboratorio de suelos, gabinete y dentro de las instalaciones de la Presa de Relaves Huachuacaja. Para el control de resultados se evaluó según los alcances y parámetros del diseño de ingeniería propuesto por Golder Associates en el Expediente técnico.

2.6. Limitaciones

- Limitada disponibilidad del Material de Préstamo.
- Limitada disponibilidad de una zaranda mecánica que permita controlar la granulometría.
- Limitado Equipamiento del Laboratorio de Suelos.

2.7. Marco teórico

2.7.1. Definiciones teóricas

2.7.1.1. Material de relleno. Es aquel material natural o de préstamo, homogéneo o heterogéneo, compuesto de limo, arcilla, arena, grava y rocas en porcentajes que cumplan una adecuada característica física – química. Asu vez, aprueben los controles de calidad y superen los valores mínimos indicados tanto en los planos como en las especificaciones técnicas.

Para Carrazana Gómez y Rubio Casanovas (1987), el relleno es el trabajo que se realiza para lograr elevar la cota del perfil natural del terreno. Los materiales que se usan para el relleno, pueden ser tomados del propio lugar de la obra (relleno compensado), o de lugares lejanos a la obra (relleno a préstamo). El tipo de material que se emplee, y el grado de compacidad requerido, dependerá del uso que se dará al relleno. Cuando se quiera que un relleno tenga un grado de compacidad elevado, y una estabilidad de volumen permanente, se emplea un relleno estabilizado.

2.7.1.2. Residuo sólido de Mina o desmonte de Mina. (Schwarz, 2013) define como aquel material estéril o mineral de baja ley (con una ley de mineral que se encuentra por debajo del nivel económico conocido como en minería como Cut Off que se obtiene al momento de realizar el corte de mineral en la operación de mina o que es obtenido como material de desbroce para acceder al mineral. A diferencia del mineral que es extraído la mina depara su debido procesamiento, el desmonte o material estéril sigue otra ruta y requiere ser desechado de manera apropiada para asegurar condiciones aceptables de seguridad y medio ambiente.

Para la SNMPE (2008), son los desechos que se generan producto de los trabajos realizados para llegar a la zona donde se encuentra el mineral. Así, por ejemplo, en el caso de una mina de tajo abierto hay que remover una gran cantidad de material de la superficie para poder llegar al cuerpo de mineral que será usado en el proceso productivo. Por lo general no posee valor comercial. El Residuo Solido de mina (desmonte de mina) no ha pasado por ningún

proceso, son sólo rocas con pequeño contenido metálico y tierra removida por lo que no ocasionan mayor efecto sobre el medio ambiente. Sin embargo, se depositan en zonas especiales acondicionadas para este propósito y son monitoreados continuamente, pues al contener pequeñas cantidades de mineral podrían generar compuestos químicos por el contacto con el agua o el aire. Al finalizar el ciclo de vida de la mina, el Residuo Solido son generalmente revegetados para integrarlos nuevamente al ambiente. Como hemos mencionado, el Residuo Solido de mina puede contener pequeñas cantidades de mineral, por lo que podría en un futuro ser procesado si el precio y el costo de su procesamiento permiten darle valor comercial, es decir, que se pueda extraer de él su contenido metálico.

2.7.1.3. Material de préstamo. Corresponde a cualquier material utilizado en un proyecto para completar los terraplenes o pedraplenes, para la capa estructural superior de la subrasante, para acabado u otras obras requeridas, siempre que cumpla con las especificaciones requeridas por el contrato. Este material puede provenir de cualquier excavación dentro o fuera del área del proyecto.

2.7.2. *Propiedades físicas de los suelos*

2.7.2.1. Granulometría. Espinace (1979) ha afirmado que, ensayar el análisis granulométrico a una muestra representativa de suelo tiene como fin conocer la distribución por tamaño de las partículas. Para clasificar los tamaños de partículas, se utilizan tamices de abertura normalizados y numerados, en suelos con tamaño de partículas superior a 0.074 mm se utiliza el método de análisis mecánico y en suelos de tamaño inferior, se utiliza el método del hidrómetro, de acuerdo a la Ley de Stokes. Tener cuantificado la muestra de suelo según el tamaño de las partículas permite caracterizar el suelo mediante sistema como AASHTO o SUCS. Los resultados del ensayo consienten la toma de decisión del uso o no del suelo en estructuras de tierra armada.

Espinace y Sanhueza (2014) sostiene que, la característica más importante del suelo granular es la distribución estadística del tamaño de los elementos que componen una muestra. Para dicho efecto, el suelo de masa representativa se criba en una serie de tamices normalizados, los cuales son colocados en orden decreciente, permitiendo medir la masa retenida en cada tamiz. Con los resultados se determina el porcentaje de masa que pasa por cada tamiz, el cual está representado de acuerdo a la abertura correspondiente. En caso se tenga partículas de limo y arcilla, la muestra es tratada con un agente defloculante y es lavada sobre un tamiz normada, con el fin de separar los finos de los gruesos, seguidamente, la masa de suelo grueso resultante se seca y se criba como se mencionó en el párrafo anterior. Los resultados obtenidos son representados gráficamente en la curva de distribución granulométrica. Donde, el diámetro de abertura correspondiente al material que pasó cada tamiz se representa en el eje de las abscisas a escala logarítmica y el porcentaje de material cribado acumulado en el eje de las ordenadas a escala natural.

Si un suelo granular posee proporciones aproximadamente iguales de todos los tamaños de partículas, se describe como bien graduado, y se caracteriza por tener una curva relativamente suave que cubre un amplio rango de partículas. Por el contrario, se dice que un suelo es mal graduado en cualquiera de los casos siguientes. El suelo se describe como uniforme si una alta proporción de partículas está comprendida en una banda de tamaños estrecha, la curva se caracteriza por tener una parte importante casi vertical. Si el suelo contiene partículas pequeñas y grandes, pero presenta una ausencia notable de partículas intermedias, se dice que presenta una gradación discontinua.

A. Ensayo granulométrico de suelo (ASTM D 422). Bowles (1981) especifica que el resultado del ensayo granulométrico por mallas describe la característica física de una muestra representativa de masa de suelo. El ensayo agrupa el material de muestra de acuerdo al tamaño, para ello se ubica en posición vertical descendente el tamiz de abertura mayor a menor, luego

de cribar el material se prosigue a cuantificar en masa la cantidad retenida en cada uno de los tamices a su vez es comparada con el total de la muestra cribada. Los elementos de cribado están compuestos de material acerado, estas tienen mallas con aberturas rectangulares que varían de tamaño desde 101,6 mm, correspondientes a partículas gruesas, hasta 0.038 mm (Tamiz N° 400) aproximadamente que corresponde a las partículas finas, en la práctica se suele utilizar como más pequeño el tamiz N° 200 (0.075 mm). Según el tamaño de las partículas de suelo, se tiene definido lo siguiente.

Tabla 1

Clasificación de suelos de acuerdo al tamaño de partículas.

Tipo de material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.5 mm
Arena		Arena gruesa: 4.5 mm – 2.00 mm Arena media: 2.00 mm – 0.425 mm Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Sección suelos y pavimentos – MTC.

B. Métodos de prueba estándar para el análisis del tamaño de partículas de materiales de Riprap naturales y artificiales. Según la Norma ASTM D5519 (2001), estos métodos de prueba cubren el tamaño de partícula y el análisis de masa de escolleras naturales y artificiales y materiales relacionados, incluida la piedra de filtro o materiales de cama gruesos. El método de prueba generalmente está pensado para Riprap y materiales relacionados. Son aplicables para mezclas de piedras cribadas de depósitos naturales, roca de voladura, materiales procesados de roca de cantera u hormigón reciclado. Son aplicables para tamaños de 75 mm (3 pulg.) Y superiores, con el tamaño superior limitado solo por el equipo disponible para manipular y determinar la masa de las partículas individuales. Se proporcionan cuatro procedimientos alternativos. Existe una amplia gama en el nivel de esfuerzo y la precisión de los procedimientos de prueba. Es importante que los especificadores indiquen el

procedimiento de prueba. Los informes de prueba deben indicar claramente qué procedimiento se utilizó. Al realizar estos métodos de prueba, puede ser conveniente recopilar datos sobre otros atributos, como la cantidad de piezas de losa y materiales nocivos. Todos los valores observados y calculados deben cumplir con las pautas para dígitos significativos y redondeo establecidos en la Práctica D6026, a menos que sean reemplazados por esta norma. A los efectos de comparar los valores medidos o calculados con los límites especificados, los valores medidos o calculados se redondearán al decimal más cercano o dígitos significativos en los límites especificados. Los procedimientos utilizados para especificar cómo se recopilan / registran o calculan los datos, en esta norma se consideran el estándar de la industria. Además, son representativos de los dígitos significativos que generalmente deben conservarse. Los procedimientos utilizados no consideran variación material, propósito para la obtención de los datos, estudios de propósito especial o cualquier consideración para los objetivos del usuario; y es una práctica común aumentar o reducir dígitos significativos de los datos reportados para estar en consonancia con estas consideraciones. Está más allá del alcance de esta norma considerar dígitos significativos usados en métodos analíticos para diseño de ingeniería.

2.7.2.2. Contenido de humedad. Según la Norma ASTM D2216 (2019), el contenido de agua de un suelo es la relación entre la cantidad en masa de agua contenida en los poros del suelo y masa sólida de partículas, expresado en porcentaje. Para el secado del suelo, roca y material similar se utiliza un horno controlado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde el suelo obtenido representa masa de las partículas sólidas y la diferencia con respecto a la masa antes de su colocación en el horno es considerado el peso del agua. El Contenido de humedad es representado de la siguiente forma:

$$\omega\% = \frac{W_{\text{agua}}}{W_{\text{suelo seco}}}$$

2.7.2.3. Límites de Atterberg. Según Lambe y Whitman (2012), los límites Atterberg está en función del contenido de humedad en el suelo de grano fino, en ello existen cuatro estados de consistencia. Así, una muestra de suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, en cuanto se adiciona agua en forma gradual pasara al estado semisólido, plástico y por último el estado líquido. El punto de transición de uno a otro estado es llamado límite de contracción, límite plástico y límite líquido, los cuales se describen a continuación:

A. Límite líquido. Se determina midiendo el contenido de humedad y número de golpes necesarios, siendo el óptimo 25 golpes en una copa de bronce y una base de hule duro. Para la prueba se coloca pasta en la copa, se extrae una porción de suelo del centro de la copa. A continuación, con la leva operada por una manivela, se eleva la copa dejando caer una altura de 1cm, con una frecuencia de 2 golpes por segundo, hasta alcanzar cerrar una determinada longitud una ranura de ancho igual a 1.27 cm. (Lambe y Whitman, 2012).

B. Límite plástico. Se obtiene midiendo el contenido de humedad de una muestra de suelo cuando las rolitas de 3 mm inician a desmoronarse sobre una placa de vidrio en pequeños cilindros. (Lambe y Whitman, 2012).

C. Límite contracción. se define como la humedad presente al haber adicionado agua necesaria para llenar todos los huecos de una muestra de suelo seca. (Lambe y Whitman, 2012).

D. Índice de plasticidad. El índice de plasticidad expresa la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo presenta consistencia plástica.

$$IP = LL - LP > 10 \text{ plástico.}$$

$$IP = LL - LP < 10 \text{ no plástico.}$$

Los límites de Atterberg y los índices asociados son importantes para identificar y clasificar un suelo. Frecuentemente los límites son utilizados directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes y en métodos semiempíricos de proyecto.

2.7.2.4. Densidad seca máxima. La máxima densidad seca se obtiene de la gráfica curva de compactación, donde el contenido de humedad en porcentaje es representado en el eje de las abscisas y el peso unitario del suelo en el eje de las ordenadas. El punto más alto de la curva define el óptimo contenido de humedad (OCH) para alcanzar la máxima densidad seca.

A. Densidad In Situ mediante el método del reemplazo con agua en un pozo de exploración. De acuerdo al ASTM D5030 (2021), el método de ensayo cubre la determinación de la densidad "in situ" y peso unitario del suelo y roca, siendo el recurso principal la utilización del agua para llenar un pozo de sondeo, con el fin de obtener el volumen del pozo de sondeo. El uso de la palabra "roca" en este método de prueba se utiliza para implicar que el material que está siendo probado típicamente contienen partículas de tamaño superior 3 pulgadas (75 mm). Este método de ensayo es el más adecuado para pozos de sondeo con un volumen aproximadamente entre 3 y 100 ft³ (0,08 y 2,83 m³). En general, los materiales ensayados se han máximo de las partículas los tamaños de más de 5 pulgadas (125 mm). Este método de ensayo puede ser utilizado para excavaciones más grandes de tamaño si se desea.

- Este procedimiento se realiza generalmente mediante plantillas circulares de metal con un diámetro interior de 3 pies (0,9 m) o más. Otras formas o materiales pueden ser utilizados siempre y cuando cumplan los requisitos de este método de prueba y las directrices que figuran en Anexo A1 para el volumen mínimo del pozo de sondeo.
- Método de Prueba D 4914 puede ser utilizado como un método alternativo. Su uso, sin embargo, por lo general sólo es práctico para determinación de volúmenes de los pozos de sondeo entre aproximadamente 1 y 6 ft³ (0,03 y 0,17 m³).
- Método de Prueba D 1556 o D 2167 es por lo general se utiliza para determinar el volumen de agujeros de prueba menores a 1 ft³ (0,03 m³).
- Los dos procedimientos se describen de la siguiente manera:

- Procedimiento A Densidad “in situ” y peso unitario de Total del material (ver anexo Norma ASTM D 5030, Sección 10).
- Procedimiento B Densidad “in situ” y peso unitario de Control de la fracción (ver anexo Norma ASTM D 5030, Sección 11).

2.7.3. Consideraciones generales de diseño para una presa de relave

Las presas tienen tres características que las distinguen de otras estructuras de ingeniería: la acumulación de grandes masas de materiales que sirven para su construcción, la gigantesca cantidad de material en un espacio limitado que produce enormes presiones sobre la cimentación, y la influencia destructora del material almacenado sobre la cimentación y la estructura misma, lo que puede producir filtraciones, erosión y rotura. En consecuencia, los diques dependen de las condiciones de los alrededores, particularmente de la geología del sitio, en un grado mayor que otras obras de ingeniería. Un dique de tierra debe ser seguro y estable durante todas las fases de construcción y operación del embalse. Para lograr esto deben seguirse rigurosamente los criterios de diseño.

2.7.3.1. Estudio detallado del sitio de presa. Las investigaciones que se realicen en el sitio de presa, son realizadas con la finalidad de determinar los tipos y distribución de suelos y rocas que existen en la fundación y los estribos, y determinar sus propiedades, desde el punto de ingeniería, en especial el esfuerzo de corte, la compresibilidad y la permeabilidad.

Se debe estudiar la susceptibilidad de las fundaciones y los estribos, a sufrir deformaciones importantes durante la ocurrencia de un sismo, así como también estudiar las fundaciones blandas, por cuanto estas pueden sufrir deformaciones importantes durante un movimiento sísmico; debe estudiarse también la presencia de limos y arenas saturadas porque éstas pueden ser afectadas por el fenómeno de licuación durante la ocurrencia de un sismo.

Previamente a la exploración del subsuelo, debe hacerse un estudio geológico detallado de superficie, el cual debe correlacionarse con la exploración detallada del subsuelo mediante

perforaciones. Los métodos de exploración que se utilicen, el número y espaciamiento de los sondeos, y la profundidad de los mismos dependerá de la altura de la presa y de la complejidad de las fundaciones. Se deberán realizar algunos ensayos de laboratorio en muestras inalteradas de materiales representativos, con la finalidad de determinar el tipo y propiedades generales de las fundaciones; en algunos casos conviene emplear métodos geofísicos, para completar la exploración.

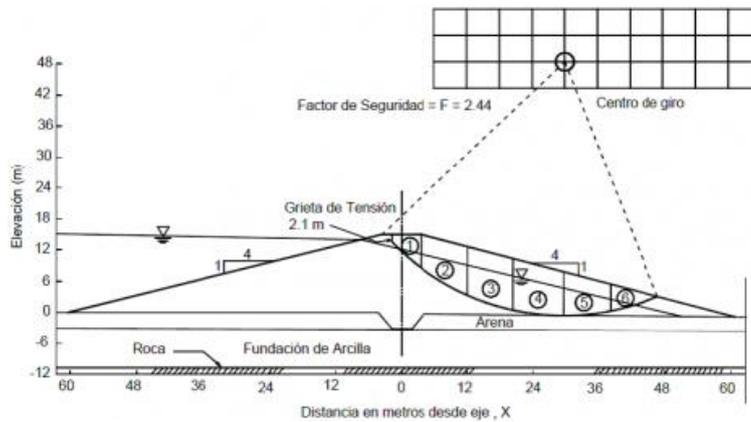
2.7.3.2. Elección del tipo de presa. Las Presas de relaves son una de las formas más utilizadas para el almacenamiento de los residuos provenientes de las faenas mineras, existiendo tres métodos de construcción del muro perimetral denominados: aguas arriba, aguas abajo y eje central. El método usualmente utilizado, y que ha entregado mejores resultados en términos de estabilidad es el de aguas abajo, sin embargo, el volumen de arenas es mayor en comparación con el de eje central. Teniendo el método de eje central ventajas de almacenamiento, su utilización requiere evaluar la estabilidad sísmica y de esta manera ver la factibilidad del desarrollo de dicho proceso constructivo.

2.7.3.3. Análisis físico de taludes. Los objetivos principales del análisis técnico de taludes son los siguientes:

- Determinar las condiciones de estabilidad del talud (si es estable o inestable y el margen de estabilidad).
- Investigar los mecanismos potenciales de falla (analizar cómo ocurre la falla).
- Determinar la sensibilidad o susceptibilidad de los taludes a diferentes mecanismos o factores detonantes (Efecto de las lluvias, sismos, etc.)
- Comparar la efectividad de las diferentes opciones de remediación o estabilización y su efecto sobre la estabilidad del talud.
- Diseñar los taludes óptimos en término de seguridad, confiabilidad y economía.

Figura 1

Esquema de un análisis de estabilidad de taludes.



Fuente: U.S. Corpsmof Engineers, 2003

2.7.3.4. Análisis contra desbordamiento. Rojas Linares (2002), afirma que el defectuoso control del agua embalsado puede causar rebosamiento sobre la corona y progresivamente un posible colapso de la presa. En el diseño de presa se debe tener en consideración un borde libre mínimo, con el fin de controlar el aumento del flujo de relave, incremento de nivel por la presencia de precipitaciones y escorrentía superficial de la cuenca. De otro lado, de acuerdo al número de años en servicio de la presa de relave, se deberá diseñar un vertedero para evacuar el caudal de agua excedente que ingresa al depósito.

2.7.3.5. Ancho de corona. La dimensión del ancho mínimo de corona está condicionada a: la viabilidad de acceso vehicular, facilidad durante el proceso constructivo, característica física del material utilizado en el cuerpo de la presa o altura máxima de presa.

En función a la altura de presa, la normativa propone lo siguiente:

$$Ac = 1.65 \times h^{1/2}$$

$$Ac = 1.10 \times z^{1/2} + 1$$

$$Ac = 3.60 \times z^{1/2} - 3$$

Y la instrucción española de presas:

$$Ac = K \times (3 + 1.5 \times (z - 15))^{1/3}$$

Donde:

Ac: Ancho de corona (m).

h: Altura máxima de depósito (m).

Z: Altura máxima de la presa (m).

K = 1.3 (factor sísmico).

2.7.3.6. Análisis contra flujo incontrolado. El no control del flujo de agua subterránea ocasiona graves problemas en el cuerpo de dique:

- Vulnerabilidad en la estabilidad del talud aguas abajo
- Descontrol de la gradiente hidráulica.
- Erosión en el interior del cuerpo de presa.

De acuerdo a Rojas Linares (2002), El nivel freático ocasiona considerablemente la estabilidad de la presa, inmerso a carga sísmica y estática. Por ello, es de suma importancia sostener el nivel freático en una cota baja, a su vez disponer en el cuerpo de la presa material permeable, específicamente en la dirección del flujo.

2.7.3.7. Control de la erosión interna o tubificación. La distribución de materiales en el cuerpo de la presa no solo busca el control del nivel freático, al mismo tiempo previene el transporte de suelo o relave.

Investigaciones realizadas por Cedergren (1967) y Sherard (1984) plantearon la necesidad de filtros con el fin de evitar la erosión interna.

Según Rojas Linares (2002), cuando el material de relleno es únicamente Residuo Solido de Mina, frecuentemente se evidencia erosión interna e infiltración inadecuada en el cuerpo de la presa de relaves. Una alternativa para controlar la erosión interna es la utilización de filtros sintéticos (geosintéticos) a cambio de filtros de arena, por la durabilidad de geosintéticos y corta vida activa de las presas es una opción adecuada.

2.7.3.8. Análisis de estabilidad sísmica. Los estudios de análisis sísmico están basados al comportamiento dinámico de los materiales que conforman los componentes estructurales de la presa de relaves. El análisis facilita determinar los esfuerzos, deformaciones, características de amplificación del depósito, riesgos de licuefacción y estabilidad de los taludes.

El correcto control de la compacidad y cantidad de finos en el relleno ayuda a garantizar un adecuado comportamiento de la presa. Igualmente, durante el diseño debe hacerse un estudio minucioso a las características del relave, nivel de saturación, cimentación, dimensiones del dique de depósito y sismicidad local.

El análisis de estabilidad sísmica puede evaluarse de acuerdo a las características y condiciones que presenten las presas de relaves, por ejemplo, Modelos numéricos, métodos de Newmark, método de Makdisi y Seed para la determinación de deformaciones permanente. Análisis Pseudo-estático, Modelos numéricos para el análisis de estabilidad durante sismos y los modelos constitutivos de Finn, Byrne, UBCSAND para la generación de exceso de presión de poros.

2.7.3.9. Análisis de la susceptibilidad de licuefacción. La licuefacción de los suelos se inicia cuando la presión de poros es tan alta que las partículas sólidas pierden resistencia al corte y el terreno su capacidad soportante. Generalmente se producen en suelos granulados sueltos saturados con un drenaje deficiente, tales como arenas limosas saturadas, arenas limpias y rellenos mineros no controlados.

La susceptibilidad del suelo obedece a la compacidad y esfuerzo inicial en estado saturado; cuando el nivel freático está a una reducida altura de la superficie.

El fenómeno de la licuefacción ha sido causa de varias fallas de presas, por ello, con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento, la evaluación potencial de licuefacción se realiza con métodos empíricos basado en el número de golpes de la prueba de penetración

estándar (SPT), método basado en la resistencia por punta de penetración con cono (CPT) y método basado en la medición de velocidad de onda de corte.

2.8. Hipótesis

2.8.1. Hipótesis general

La implementación del proceso de mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo favorecerá para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal.

2.8.2. Hipótesis específicas

1. Las características físicas al término del proceso de mejora del Residuo Sólido de Mina con Material de Préstamo favorecerán para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal.
2. Las propiedades en la Etapa de Colocación del Residuo Sólido de Mina mejorado con Material de Préstamo favorecerán para su utilización como Material de Relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal.

2.9. Variables

2.9.1. Variable independiente

- Propiedades físicas del Material de Relleno considerados en el diseño del dique de relaves Huachuacaja.
- Parámetros permisibles del Material de Relleno considerados en el diseño del dique de relaves Huachuacaja.
- Ensayos de control y aseguramiento de calidad del Material de Relleno considerados en el proceso constructivo de la Presa de relaves Huachuacaja.

2.9.2. Variable dependiente

- Residuo Sólido de Mina.
- Material de Préstamo.

2.10. Marco metodológico

2.10.1. Tipo de informe

La investigación es de tipo aplicada, porque se ha empleado un marco teórico existente de la mecánica de suelos para utilizarlo en la determinación de mejora del Residuo Solido de Mina con material de préstamo para su uso en la construcción del dique de relaves, cumpliendo parámetros de diseño.

2.10.2. Nivel de informe

Es de nivel aplicativo, porque se observa, describe, analiza, experimenta e interpreta las características físicas y demás propiedades del Material de Relleno.

2.10.3. Diseño de informe

El Diseño del informe es:

Experimental, porque con los ensayos realizados se dio solución al problema.

Cuantitativo, porque los resultados de estudio fueron interpretados en números.

Prospectivo, porque la información utilizada para la obtención de resultados no fue de fechas anteriores, sino de ensayos o test.

Longitudinal, porque las variables fueron medidas en más de una oportunidad.

2.10.4. Población y muestra

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las canteras entorno al proyecto donde se obtuvieron Residuo Solido de Mina y Material de Préstamo, botadero de Mina y Cantera Vanesa respectivamente. Así mismo, se extrajeron muestras del material procesado en el pie de la presa de relaves Huachuacaja.

Las muestras fueron de 3 a 4 m³ en campo y para complementación en laboratorio fueron porciones representativas de 200 kg.

2.10.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para diagnosticar la Granulometría, Humedad, Límites de ATTERBERG y Densidad In Situ que presenta el Residuo Sólido de Mina, Material de Préstamo y el material mejorado a utilizarse como material de relleno en el recrecimiento de la Presa de Relaves Huachuacaja se utilizó la Normativa Internacional de la Mecánica de Suelos

Tabla 2

Ensayos de mecánica de suelos y normativa aplicada.

Descripción de Ensayo	Normativa Aplicada
Granulometría	
<i>Partículas mayores de 3" de diámetro</i>	<i>Norma ASTM D5519</i>
<i>Partículas menores de 3" de diámetro</i>	<i>Norma ASTM D422</i>
Contenido de Humedad	<i>Norma ASTM D2216</i>
Límites de ATTERBERG	
<i>Límite Líquido</i>	<i>Norma ASTM D423</i>
<i>Límite Plástico</i>	<i>Norma ASTM D423</i>
Densidad In Situ del Suelo	
<i>Reemplazo por Agua</i>	<i>Norma ASTM D5030</i>

Para el desarrollo del ensayo y manejo de resultados se utilizó el Laboratorio de suelos de la Empresa Comunal de Servicios Múltiples Huaracaca y Formatos de Ensayo de acuerdo a la normativa aplicada respectivamente.

A continuación, describimos los procedimientos llevados a cabo para determinar las propiedades físicas y propiedades de los materiales en estudio.

2.10.5.1. Análisis granulométrico. El objetivo del análisis granulométrico es caracterizar cuantitativamente la distribución de partículas sólidas del suelo ensayado. El tamizaje a considerar es superior al tamiz N° 200.

Los aparatos más imprescindibles para ejecutar el ensayo son:

- Balanza electrónica: De sensibilidad de 0,01 g para el pesaje de material pasante la malla N° 10 (2,0 mm), y otra de sensible a 0,1g para el pesaje de material retenido en la malla N°10.

- Tamices: Un juego de tamices metálicos, de malla cuadrada y de acuerdo a lo especificado en la ASTM E11. (ver tabla 2).

Tabla 3

Tamices de laboratorio según ATSM E 11.

Tamiz	Abertura mm
3"	76.200
2 1/2"	63.500
2"	50.800
1 1/2"	38.100
1"	25.400
3/4"	19.100
1/2"	12.700
3/8"	9.520
1/4"	6.350
#4	4.760
#8	2.360
#10	2.000
#20	1.190
#30	0.600
#40	0.420
#60	0.250
#100	0.149
#200	0.074
< # 200	Fondo

Fuente: Norma ASTM

A. Análisis granulométrico según Norma ASTM D5519, para partículas mayores de 3" de diámetro. El ensayo Macro granulométrico ejecutado en campo, permite obtener información cuantitativa de la distribución de partículas de una muestra representativa de suelo y roca, el cual es clasificado en los términos de roca, grava, arena, material fino (limo y arcilla).

El ensayo se aplicó al Residuo Solido de Mina procesado en zaranda, Material de Préstamo y combinación de estos, se tomó material homogenizado entre 3 a 4 m³ con ayuda de equipo mecánico retroexcavadora y/o cargador frontal según disponibilidad.

Se realiza el extendido de la muestra para la selección y pesado de rocas mayores de 3", esta actividad se desarrolló manualmente con un flexómetro y plantillas, en caso de rocas de 20" se utilizó la retroexcavadora para maniobrar el pesaje y selección.

- Una vez seleccionado, clasificado y pesado rocas entre 3", 6", 12" y 20" se realiza el cuarteo de material menores que 3" de diámetro, de este último se lleva a laboratorio una muestra representativa aprox. de 200 kilos, para el ensayo de acuerdo a la Norma ASTM D422.

B. Análisis granulométrico según Norma ASTM D422, para partículas menores que 3" de diámetro.

- Luego se realizó el cuarteo del suelo en laboratorio, seguidamente se procede con el mismo procedimiento anterior pero solo tomando 02 de las 04 partes hasta conseguir una muestra representativa. A continuación, se pesa la muestra y se inicia el secado con ayuda de una cocina o horno a temperatura máxima entre $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, según la disponibilidad.
- Una vez seca y fría la muestra es pesada para llevar el control del ensayo.
- Se procede con el lavado sobre la malla N° 200 con el fin de evitar pérdida de partículas mayores a 0.074, seguidamente el material retenido se seca en horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para obtener el peso lavado y seco.
- La muestra es colocada por la parte superior de la serie de tamices ordenada de acuerdo al diámetro descendientemente y con un dispositivo mecánico o en forma manual se criba.
- Al término del tamizado se procedió con el pesaje de material retenido en cada tamiz, para determinar el porcentaje pasante en cada uno de los tamices.

- A continuación, se fracciona la muestra ensayada en dos porciones. Una de partículas retenidas en el tamiz 4,76 mm (N° 4), mientras la otra conteniendo partículas pasantes el tamiz 4,76 mm (N° 4) con el fin de identificar gravas y arenas.

Equipos y Herramientas utilizados.

- Retroexcavadora y/o Cargador Frontal.
- Balanza de 600 kg, 30 kg y 10 kg.
- Flexómetro y plantillas.
- Pala, cuchara
- Bandejas, tazones y costales.
- Horno, Cocina.
- Juego de tamices designación ASTM D422

2.10.5.2. Contenido de humedad. El ensayo se realizó según indica la Norma ASTM D2216, pero considerando muestras tomadas según Norma ASTM D5519, para el caso se tomó tres humedades (cada uno con tres muestras representativas):

- Humedad 1: humedad de partículas mayores que 3” de diámetro.
- Humedad 2: humedad de partículas entre, menores o iguales que 3” de diámetro y mayores que los retenidos en el tamiz N° 4.
- Humedad 3: humedad de partículas que pasan el tamiz N° 4.

Procedimiento:

- La muestra fue tomada In Situ (2000 a 4000 gr), llenado en bolsas herméticas para evitar perder la humedad natural en el proceso de llevar al horno de laboratorio.
- Antes de colocar al horno para su secado se tomó datos del peso húmedo del suelo y/o roca, así como también el peso del recipiente.
- pasado 24 horas se retiró la muestra del horno él cual estuvo a 110 °c, se esperó el enfriamiento de la muestra para dañar la balanza de sensibilidad igual a 0.1 g.

- A continuación, se realizó el pesaje de la muestra seca y los cálculos para la obtención de resultados.

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

$$W = \frac{Mrws - Mr}{Mrs - Mr} \times 100 = \frac{Mw}{Ms} \times 100$$

En donde:

w: Contenido de humedad en porcentaje.

Mrws: Peso del receptáculo más suelo húmedo (gr).

Mrs: Peso del receptáculo más suelo seco (gr).

Mr: Peso del receptáculo (gr).

Mw: Peso del agua (gr).

Ms: Peso del suelo seco (gr).

2.10.5.3. Límites de atterberg. La ingeniería geotécnica del informe en estudio analizó el límite líquido, y en algunos casos se ensayó el límite plástico con el fin de obtener una mayor caracterización del suelo.

Procedimiento:

- La muestra a ensayar es aquella que pasa por el tamiz N° 40. El límite líquido se obtiene midiendo la humedad, luego de realizar pruebas en las cuales se esparce una porción de muestra en la copa de Casa Grande, seguidamente con ayuda de un ranurador se divide en dos raciones, y luego cerrar una determinada longitud con los impactos causados por las sucesivas caídas de la copa sobre el hule duro del dispositivo mecánico estándar. Es necesario tener tres o más pruebas, seguidamente con los resultados conseguidos se grafica y se establece una relación de humedad a los 25 golpes, para determinar el límite líquido.

- El límite plástico se ensaya con el suelo pasante por el tamiz N° 40, el procedimiento consiste en enrollar alternadamente a un hilo de 3,2 mm con cierto contenido de humedad, hasta que el rollito alargado se quiebre y no pueda ser más presionado ni reenrollado, entonces este nuevo contenido de humedad de la muestra se considera como el límite plástico del suelo.
- El índice de plasticidad es resultado de la operación matemática del límite líquido menos el límite plástico.

2.10.5.4. Ensayo de reemplazo de Agua – Norma ASTM D5030. Se tomaron muestras representativas provenientes de las 04 calicatas donde se determinaron la densidad in situ por el método de reemplazo por agua, el mismo se realizó fuera del Espaldón de Presa ubicado en la Plataforma de la cota 4197.40 msnm. Las muestras se ensayaron en campo y laboratorio, realizándose los siguientes ensayos:

- Densidad in situ, método de reemplazo por agua (ASTM D5030)
- Contenido de humedad (ASTM D2216)
- Análisis de granulométrico (ASTM D422)

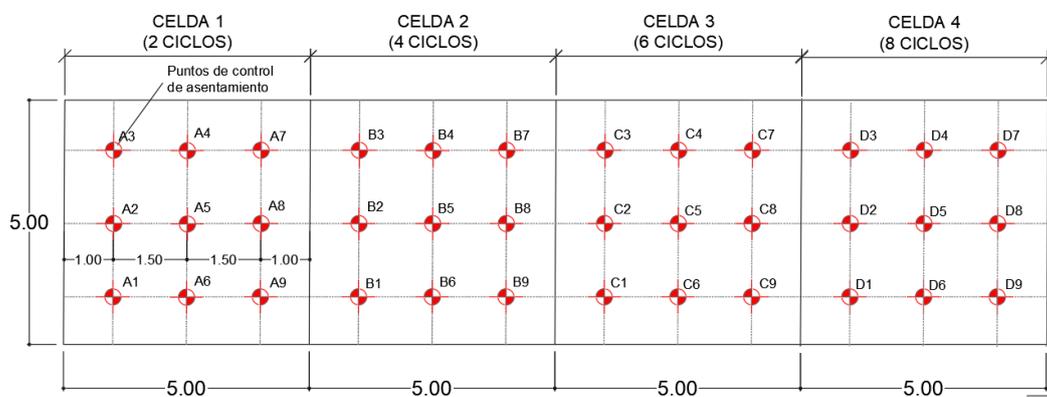
Procedimiento:

- Se realizó la conformación de una plataforma de prueba (Test Fill) fuera del espaldón de presa con dimensiones 20 m de largo, 5 m de ancho y espesor suelto 0.65 m, verificando que se cumpliera la tolerancia de horizontalidad ± 5.5 cm. (ver figura 2)
- El material de relleno provino de la Pila donde se mezclaron en proporción volumétrica los materiales de préstamo (60%), Residuo Sólido de Mina procesado (40%) y material de piedra over (5%).

- El tramo de prueba se dividió en 04 celdas o subtramos, cada una de 5 m x 5 m. En cada celda se señalaron 9 puntos de control de asentamiento (total 36), estos últimos a originarse por la compactación (Ver Figura 2).
- Se procedió a realizar la compactación y controles de asentamiento de la primera celda con 02 ciclos, la segunda celda con 04 ciclos, la tercera celda con 06 ciclos, y la cuarta celda con 08 ciclos, utilizando rodillo vibratorio liso de 10 toneladas.

Figura 2

Trazo de terreno para ensayo ASTM D 5030.



- Para el cálculo de contenido de humedad según la Norma ASTM D 2216, se ha obtenido los resultados para diferentes intervalos de tamaño del material como: Tamiz de 20" a Tamiz de 3"; Tamiz de 3" a Tamiz N° 04, y menores del Tamiz N° 04; esto con el fin de hallar un Contenido de Humedad Global a nivel macro, que será un indicador para los controles de contenido de humedad a nivel macro y a diferentes tamaños del material.
- Para el Análisis Granulométrico, la fracción fina es a partir del Tamiz N° 04 a la Tamiz N° 200.

2.11. Caracterización del proyecto

2.11.1. Ubicación, clima, topografía

Ubicación. El proyecto, recrecimiento de la presa de relaves Huachuacaja está ubicado en la quebrada del centro poblado de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia y región Pasco a una altitud de 4 200 a 4 280 msnm, siendo las coordenadas estándar UTM: 8,808,259.6 Norte y 357,927.2 Este.

Clima. El entorno local del proyecto presenta un clima frío y seco muy común de la zona alto andina, diferenciándose claramente dos estaciones. El invierno que inicia en diciembre y finaliza marzo, en esta temporada se produce precipitaciones pluviales muy elevadas, tormentas eléctricas considerables, nevada y granizos. Mientras que en el periodo complementario hay presencia de heladas y pocas precipitaciones atmosféricas. La temperatura máxima y mínima están en los 30°C durante el día y desciende a -5°C en la noche respectivamente.

Topografía. El área de estudio que enmarca el proyecto tiene un relieve característico de la región puna (jalca), lomas y colinas con plegamientos regularmente erosionado, vegetación en cantidad reducida y un suelo superficial orgánico (Top-Soil).

2.11.2. Antecedente histórico

La Minera El Brocal, tiene proyectado incrementar su nivel de explotación y procesamiento de mineral en los siguientes años, ya que los indicadores anuales van elevándose favorablemente desde el año 2001 con producción diaria de 3 000 TM/día; el año 2006 con 4 000 TM/día; en el año 2011 con 7 000 TM/día; y para el año 2012 con 11 000 TM/día. Actualmente, la producción de mineral es de 18 000 TM/día. A causa del contexto, la Minera El Brocal, esta en la necesidad de continuar las etapas constructivas de la presa de relaves Huachuacaja, el cual demanda la utilización de roca y suelo granular, específicamente el recrecimiento del espaldón de dique.

Tabla 3*Producción de la Unidad Minera El Brocal.*

Descripción	Cantidad	Unidad
Reservas de mineral	130 M	TM.
Producción promedio de mineral	180000	TM/día
Producción promedio de relaves	16.74 K	TM/día
Densidad seca de los relaves depositados	1.59 K	TM/m ³
Gravedad específica de los relaves depositados	3.17	
Volumen total de relaves espesados a ser depositados	76.3	M-m ³
Vida útil de la mina	19.8	años
Contenido de suelos de los relaves espesados en la relavera	62	%
Vw. Descarga en los relaves espesados depositados	10 260	M ³ /día
Vw. Retenida por los relaves espesados depositados	5 281	M ³ /día
Vw que forma la poza del depósito de relaves	4 979	M ³ /día
Volumen promedio anual de la poza del depósito de relaves	3	M-m ³

Fuente: Procesos, Unidad Minera El Brocal

2.11.3. Caracterización de los relaves depositados

El relave producto del procesamiento de minerales contiene sulfuros de hierro (pirita), plomo (galena), zinc (esfalerita) y cobre (Tennantita), con minerales de ganga como illita, cuarzo, caolinita, arcillas de tipo alunita, óxidos de hierro y carbonatos como dolomita y siderita (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.4. Características geológicas del depósito de relaves

El entorno superficial del depósito de relaves presenta una configuración de ambiente glacial, está asentada en un valle en forma de U, sub-horizontal (pendiente < 2 %), de ancho aproximado de 1 000 m, el valle se ha consolidado sobre areniscas, conglomerados y dolomías que se despliegan hacia los flancos. Debajo de estos materiales existen depósitos glaciales, lacustrinos y suelos saturados bofedáticos. La Presa Huachuacaja esta ubicada en el sector sur del depósito, donde el valle es angosta y asimétrica, por su extremo derecho (lado oeste) está el cerro Lachipana, con talud moderada y labrado sobre dolomías estratificadas del Pucará Occidental, la roca en su mayoría es fragmentada, con presencia de carsticidad y niveles de

contenido argílico. Mientras que por el extremo izquierdo (sector Este del cerro Marcapunta), con talud suave de 10° se tiene un suelo de material morrénico apoyado sobre las areniscas, limolitas y conglomerados del Mitú. El suelo superficial encontrado en el fondo intermedio de la presa fue orgánico saturado, y debajo de este lacustrinos y una mezcla de material morrénico, con fluvio-glaciares que se apoya en dolomías del Pucará y la secuencia de areniscas, limolitas y conglomerados del Mitú.

2.11.5. Geomorfología de la Presa de Relaves Huachuacaja

La presa de relaves ubicada en la quebrada Huachuacaja, con un ancho promedio de 200 m. De acuerdo a los Diseños el cuerpo de presa está constituida por una cimentación a base enrocado mientras que el núcleo y espaldón por Residuo Sólido de Mina procesado en zaranda, siendo este extraído del tajo Norte de mina. El esquema gráfico del recrecimiento de la presa de relaves se denota en el Anexo Planos. La impermeabilización del talud aguas arriba, el cual tiene un espesor mínimo de 10m, presenta un suelo de baja permeabilidad, a la vez contiene una geomembrana de HDPE de 1,5 mm para evitar la erosión interna o tubificación en la estructura de la presa.

La fundación de la presa consideró; excavación, retiro del material Top Soil, suelo saturado bofedáticos y suelo morrénico en un espesor promedio de 4 m en toda el área de fundación de la presa, esta actividad se llevó a cabo en la etapa 01 de construcción (cota 4 207 – 4 217 msnm). Con referencia al cierre proyectado la fundación tendrá un tratamiento mediante columna de grava y construcción de una berma de pie, previa verificación de la instrumentación geotécnica y análisis de las pruebas SPT.

2.11.6. Etapa constructiva de la presa

El objetivo constructivo de la tercera etapa, consiste en el recrecimiento del espaldón de la presa desde la cota 4197 msnm hasta la cota 4217 msnm. Las tareas son las siguientes:

- Trabajos preliminares para la mejor facilidad y accesibilidad durante la construcción del relleno masivo en el espaldón de la presa.
- Proceso de extracción, carguío y transporte de material desde las canteras hasta el pie de la Presa.
- Procesamiento de material acopiado en pie de presa.
 - Procesamiento de material en zaranda y chancadora.
 - Acopio de material procesado.
 - Blending para obtención de material tipo M4.
 - Carguío y transporte de material tipo M4 desde pie de presa a talud del espaldón.
- Recrecimiento de espaldón, relleno masivo.
 - Limpieza y desbroce de estribos de dique.
 - Conformación de sub rasante
 - Engrape en talud existente.
 - Homogenización de Material en talud para obtención de humedad.
 - Relleno compactado con material tipo M4, e-50 cm.
 - Corte, nivelado y compactación en talud de espaldón.
- Actividades Varios.
 - Control de calidad CQC.
 - Elaboración, implementación y administración del plan de seguridad.
 - Rehabilitación de vías en cantera.
 - Mejoramiento de sub rasante con enrocado.

Tabla 4*Parámetros sísmico y geológico del dique de relaves Huachuacaja.*

Parámetros de Diseño Depósito de Relaves Huachuacaja			
Item	Descripción	Valor	Unidad
Peligro Sísmico			
01	Actividad sísmica del área	Moderada	Adim.
02	Fuente tectónica principal	Placa de Nazca/Sud-A	Adim.
03	Aceleración del máximo sismo creíble a nivel de la roca basal	0.39	Grados
04	Aceleración del sismo con PR 475 años a nivel de la roca basal	0.25	Grados
Geología e Hidrología			
01	Presencia de fallas activas	No	M-m3
02	Presencia de fallas de contacto	Si	años
03	Geodinámica: deslizamientos	No	%
04	Presencia de suelos especiales	Bofedales	Adim.
05	Presencia de carts	Laderas Oeste del Dep. Relaves	Adim.
06	Formaciones rocosas relacionadas	Pucara, Calizas y Mitu,	Adim.

Fuente: Ingeniería de Detalle de Golder Associates S.A.

Tabla 5*Parámetros de diseño del dique de relaves Huachuacaja.*

Parámetros de Diseño Depósito de Relaves Huachuacaja			
Item	Descripción	Valor	Unidad
Presa de relaves			
01	Tipo de presa	Zonificada	Adim.
02	Material de construcción	Desmante de mina (20" – 75")	Adim.
03	Fuente del material de cantera	Desmante de mina / cantera	Adim.
04	Ancho mínimo de coronamiento	20	m.
05	Borde libre mínimo	5	m.
06	Altura máxima	60	m.
07	Talud de aguas abajo	3H:1V	H:V
08	Talud de aguas arriba	3H:1V	H:V
09	Instrumentación geotécnica	Si	Adim.
10	Sistema de drenaje	Si	Adim.
Ingeniería de detalle, parámetros de construcción			
11	Impermeabilización de talud	Si	Adim.
12	Cortina de inyecciones	No	Adim.
13	Tratamiento de fundaciones	Evaluado durante la operación	Adim.

Fuente: Ingeniería de detalle de Golder Associates S.A.

2.11.7. Materiales de relleno para la construcción del dique de presa

2.11.7.1. Tipo 1 – Suelo de baja permeabilidad. El Material Tipo 1 será obtenido de las canteras de material de baja permeabilidad. Su colocación y relleno compactado garantizará la estabilidad del talud de aguas arriba del dique, a su vez servirá de apoyo para la geomembrana. La granulometría del material de baja permeabilidad se adecuará al material encontrado en los botaderos y/o canteras. Asimismo, es factible colocar rocas hasta un diámetro de 7” en un 5% de la capa antes de compactar el relleno (Golder Associates S.A., 2017).

A. Colocación y conformación. El ejecutor colocará y compactará el Material Tipo 1 – Grava Arcillosa de baja permeabilidad un espesor uniforme de 300 mm luego de ser compactado a menos que el Ingeniero apruebe otro procedimiento, a su vez, paralelo al eje del dique. Los 5 cm superiores de cada capa serán escarificados, secados o humedecidos según el contenido de humedad que se requiera para colocar la capa superior. El control de vibración será verificado durante la actividad. El equipo mecánico utilizado para la compactación será un rodillo vibratorio de tambor liso de peso estático no menor a 10 ton. El ejecutor compactará el Material Tipo 1 a no menos del 95% de la densidad seca máxima del Proctor Estándar, de acuerdo con la ASTM D698. La humedad del suelo estará en $\pm 3\%$ del OCH (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.2. Material tipo 2 – enrocado fino. Este material cumplirá la función de transición, entre el Material Tipo 1 y el Material Tipo 3. El Material Tipo 2 estará compuesto de over, gravas, arenas y poco o nada de finos. Las partículas deben presentar durabilidad, limpio de material orgánico, arcilla, o algún otro material inadecuado. El TM será de 30 cm y sin plasticidad (Golder Associates S.A., 2017).

Tabla 6*Gradación del material tipo 2.*

Diámetro de partículas (US Número de tamiz)	% Pasa (peso)
304.8 mm (12")	100
152.4 mm (6")	92 – 100
76.2 mm (3")	83 – 100
25.4 mm (1")	85 – 60
4.75 mm (# 4)	15 – 35
2.00 mm (# 10)	0 – 26
0.425 mm (# 40)	0 – 14
0.075 mm (# 200)	0 - 7

Fuente: Golder Associates S.A.

B. Colocación y conformación. El enrocado fino será colocado y compactado utilizando un tractor D8 o similar y rodillo liso vibratorio. El número de pasadas del compactador será definido con las plataformas de prueba (panel test). El espesor de la capa compactada no deberá exceder los 50 cm (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.3. Material tipo 3 – enrocado grueso. El Material Tipo 3 será colocado en la cimentación del dique. Este material presenta una granulometría a base de bolones, gravas, arenas y poco o nada de finos. Las partículas deben presentar durabilidad, limpio de material orgánico, arcilla o algún otro material inapropiado. El TM será de 100 cm. Las partículas serán duras, durables, sin material orgánico, arcilla, partículas blandas o algún otro material inadecuado. El TM será de 100 cm (40") (Golder Associates S.A., 2017).

El material Tipo 3 debe tener la siguiente gradación:

Tabla 7*Gradación material tipo 3.*

Diámetro de partículas (US Número de tamiz)	% Pasa (peso)
1000 mm (40")	100
304.8 mm (12")	60 - 100
76.2 mm (3")	30 - 60
25.4 mm (1")	10 - 40
4.75 mm (# 4)	0 - 20
0.425 mm (# 40)	0 - 8
0.075 mm (# 200)	0 - 3

Fuente: Golder Associates S.A.

La roca tendrá una resistencia a la compresión uni-axial no menor de 40 MPa, un Peso Específico mayor a 2.6 gr/cm³ y menor 40% de pérdidas durante la prueba de Abrasión en el Equipo de Los Ángeles. La Durabilidad no debe superar el 18% (Golder Associates S.A., 2017).

A. Colocación y conformación. La capa a colocarse tendrá una altura de 100 cm de material compactado, luego de extender el material y antes del compactado, se rociará agua sobre la superficie de las capas a razón de 150 litros por metro cúbico de enrocado colocado. El material será colocado y compactado utilizando un tractor D8 o similar y rodillo liso vibratorio. El número de pasadas del compactador será definido con las plataformas de prueba (panel test) (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.4. Material tipo 3A – bolonería – bloques. El Material Tipo 3A será colocado en la cimentación del dique. Este material presenta una granulometría a base de bolones, gravas y poco o nada de finos. Las partículas deben presentar durabilidad, limpio de material orgánico, arcilla o algún otro material inapropiado. Este material presenta una granulometría a base de bolones, bloques y poco o nada de finos. Las partículas serán durables, sin material orgánico, arcilla o algún otro material inapropiado. El tamaño promedio será de 80 cm (31.5") (Golder Associates S.A., 2017).

A. Colocación y conformación. El espesor máximo de la capa para el Material Tipo 3A será de 100 cm. Por la existencia de bofedal en la fundación se permitirá un desplazamiento de (1) metro por el peso sobre el nivel de excavación (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.5. Material tipo 4 – Residuo Sólido de mina del tajo sur y botaderos. El Material será utilizado como relleno masivo del dique. El material se extraerá en el botadero del tajo abierto, estará constituido de fragmentos duros, resistentes de roca cuyo TM será de 50 cm (20”). La permeabilidad de este material deberá ser mayor a 10^{-4} cm/s (Golder Associates S.A., 2017).

Tabla 8

Gradación de material tipo 4.

Diámetro de partículas (US Número de tamiz)	% Pasa (peso)
508 mm (20”)	100
152.4 mm (6”)	80 - 100
76.2 mm (3”)	65 – 85
4.75 mm (# 4)	20 – 40
0.425 mm (# 40)	5 – 20
0.075 mm (# 200)	0 - 10

Fuente: Golder Associates S.A.

A. Colocación y conformación. El material será colocado y extendido con cuidado para prevenir su segregación y contaminación. El colocado, extendido y compactación será en sentido paralelo al eje del dique. La compactación será, en capas de 75 cm de espesor, a menos que el Ingeniero opte por otro procedimiento constructivo, considerando (4) pasadas de un rodillo vibratorio de tambor liso de peso estático mayor o igual a 20 ton (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.6. Material tipo 4A – Residuo Sólido de mina de tajo sur y botaderos TM = 3”. El Material Tipo 4A – Residuo Solido de Mina se empleará como relleno de baja permeabilidad de acuerdo a los planos correspondientes. El material será extraído del tajo

abierto, estará constituido de fragmentos duros, resistentes de roca cuyo TM será de 7.5 cm (3") (Golder Associates S.A., 2017).

Tabla 9

Gradación material tipo 4A.

Diámetro de partículas (US Número de tamiz)	% Pasa (peso)
75 mm (3")	100
25.4 mm (1")	60 - 100
4.75 mm (# 4)	40 - 75
0.425 mm (# 40)	25 - 55
0.075 mm (# 200)	20 - 45

Fuente: Golder Associates S.A.

A. Colocación y conformación. El material será colocado y extendido con cuidado para prevenir su segregación y contaminación. El colocado, extendido y compactación será en sentido paralelo al eje del dique. La compactación será, en capas de 30 cm de espesor, a menos que el Ingeniero opte por otro procedimiento constructivo, considerando (4) pasadas de un rodillo vibratorio de tambor liso de peso estático mayor o igual a 10 ton (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.7. Material tipo 5 – carpeta de rodadura. El Material Tipo 5 será empleado en la corona del dique para las ocho (8) etapas constructivas, el material será extraído de las Canteras de material tipo 4, previo procesamiento en chancadora y zaranda. Este material presenta una granulometría a base de gravas, arenas y finos. Las partículas serán durables, sin material orgánico, arcilla o algún otro material inapropiado. El TM será de 5 cm (2") y sin plasticidad. (Golder Associates S.A., 2017).

Tabla 10*Gradación material tipo 5.*

Diámetro de partículas (US Número de tamiz)	% Pasa (peso)
50.8 mm (2")	100
25.4 mm (1")	75 - 95
9.5 mm (3/8")	40 - 75
4.75 mm (# 4)	30 - 60
2.00 mm (# 10)	20 - 45
0.425 mm (# 40)	15 - 30
0.075 mm (# 200)	5 - 15

Fuente: Golder Associates S.A.

A. Relleno y conformación. Este material deberá ser compactado en capas de 30 cm, según las indicaciones de los planos, compactadas a no menos del 95% de la máxima densidad seca y entre del $\pm 2\%$ del óptimo contenido de humedad, correspondientes al Proctor Estándar, según lo establecido en la norma ASTM D698 (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.8. Material tipo 6 – Residuo Sólido de mina (relleno estructural). El Material Tipo Relleno Estructural se empleará en relleno de obras civiles de la poza colectora de filtraciones y de la planta de espesamiento entre otros de acuerdo a los planos correspondientes. Este material presenta una granulometría a base de gravas, arenas y arcillas, sin material orgánico. El TM será de 15 cm (6") (Golder Associates S.A., 2017).

A. Relleno y conformación. Este material deberá ser colocado en capas de 25 cm, según las indicaciones de los planos, compactadas a no menos del 95% de la máxima densidad seca y entre del $\pm 2\%$ del óptimo contenido de humedad, correspondientes al Proctor Estándar, según lo establecido en la norma ASTM D698 (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.9. Material tipo 7 - material random. El material tipo random es resultado de los cortes necesarios para la construcción del dique y canales de derivación. Se usará el material con granulometría a base de gravas, arenas y arcillas, sin material orgánico, siendo empleado como relleno común no estructural. El TM será de 15 cm (6") (Golder Associates S.A., 2017).

A. Relleno y conformación. El espesor máximo de la capa para el relleno común o Random (Material Tipo 8) es de 25 cm del material en estado suelto. La compactación se llevará a cabo con pasadas necesarias de un rodillo vibratorio de tambor liso de peso estático mayor o igual a 10 Ton. Podrá requerirse de compactadores pequeños para compactar zonas de difícil acceso para el rodillo vibratorio o para compactar zonas alrededor de estructuras de concreto. El ejecutor compactará el Material Tipo 7 a no menos del 95% de la densidad seca máxima del Proctor Estándar, de acuerdo con la ASTM D698. La humedad del suelo estará en $\pm 3\%$ del OCH (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.10. Material tipo 8 - material de filtro. El Material Tipo Filtro producto del procesamiento bien gradada de grava, arena y cierto contenido de finos no plásticos. Las partículas serán durables, de TM 5 cm (2") y poseer una permeabilidad $<10^{-1}$ cm/s (Golder Associates S.A., 2017).

Tabla 11

Gradación material tipo 8.

Diámetro de partículas (US Número de tamiz)	% Pasa (peso)
50.8 mm (2")	100
19 mm (3/4")	70 - 100
9.5 mm (3/8")	50 - 75
4.75 mm (# 4)	38 - 55
2.00 mm (# 10)	24 - 42
0.425 mm (# 40)	10 - 22
0.075 mm (# 200)	5 - 9

Fuente: Golder Associates S.A

A. Relleno y conformación. El material de filtro deberá ser colocado en capas sueltas, el espesor lo determinará el Ingeniero según lo indicado en los Planos, se deberá compactar uniformemente con dos (2) ciclos (pasadas ida y vuelta) con un rodillo vibratorio de tambor liso con peso estático de 0.5 Ton. El número de ciclos de compactación del rodillo liso puede modificarse en campo como lo indique el Ingeniero. El Contratista debe ejecutar la colocación

del filtro y las operaciones de compactación de tal manera que prevenga la contaminación del material de filtro con otros tipos de material o materiales externos. Si, en la opinión del Ingeniero, el material de filtro se vuelve contaminado, las porciones contaminadas identificadas por el Ingeniero deberán ser removidas y reemplazadas por el Contratista a satisfacción del Ingeniero bajo ningún costo adicional para el Propietario (Golder Associates S.A., 2017).

2.11.7.11. Material tipo 9 - material de dren. El Material Tipo Dren se empleará en drenaje de acuerdo a los planos, serán extraídas de las Canteras de material tipo 4, previo procesamiento en chancadora y zaranda o en su efecto del río San Juan. La granulometría a base de gravas, arenas y poco o nada de finos. El TM será de 7.5 cm (3”), la fracción gruesa (gravas y arenas) deberá ser mayor de 50% y el contenido de finos no deberá ser mayor de 3% (Golder Associates S.A., 2017).

Tabla 12

Gradación material tipo 9.

Diámetro de partículas (US Número de tamiz)	% Pasa (peso)
76.2 mm (3”)	100
19.1 mm (3/4”)	90 - 100
4.75 mm (# 4)	70 – 100
2.00 mm (# 10)	55 – 100
0.85 mm (# 20)	30 – 75
0.425 mm (# 40)	10 – 55
0.25 mm (# 60)	0 – 35
0.075 mm (# 200)	< 3

Fuente: Golder Associates S.A

A. Relleno y conformación. Se deberá colocar el material para dren en capas sueltas de un máximo de 75mm y se deberá compactar uniformemente con dos (2) ciclos (pasadas ida y vuelta) con un rodillo vibratorio de tambor liso con peso estático de 0.5 Ton. El transporte y el equipo de esparcimiento no serán considerados como equipo de compactación. El número de ciclos de compactación del rodillo liso puede modificarse en campo como lo indique el Ingeniero. El ejecutor debe realizar las operaciones de la colocación y compactación del

material de dren de tal manera de prevenir la contaminación del material de dren con otros tipos de material o materias externas. Si, en la opinión del Ingeniero, el material de drenaje se vuelve significativamente contaminado; las porciones contaminadas identificadas por el Ingeniero deberán ser removidas y reemplazadas por el Contratista a satisfacción del Ingeniero, bajo ningún costo adicional para el Propietario.

2.11.8. Ensayos de los rellenos

Al especificar los ensayos de material de relleno a utilizarse, los siguientes términos tendrán los siguientes significados, de acuerdo a la Ingeniería de Detalle de Golder Associates S.A.

- Contenido de humedad significa el contenido medido de humedad determinado según ASTM D2216-10.
- Curva de gradación significa la obtenida graficando los resultados según ASTM D422.
- El OCH significa el óptimo contenido de humedad determinado según ASTM D698.
- Abrasión de Los Ángeles significa el porcentaje del peso de partículas perdido bajo la malla 1 ½” después de 500 revoluciones en la máquina de Los Ángeles, según se determina en ASTM C-535-16.
- Reemplazo de Agua: representa la determinación de la densidad de rellenos de materiales gruesos, según determina la Norma ASTM D5030-13a
- El Anexo 2, indicada la frecuencia mínima con la que los materiales de relleno deberán ser sometidos.

2.12. Presentación de los resultados

2.12.1. Características físicas del Residuo Sólido de mina y material de préstamo

Para determinar la granulometría y contenido de humedad natural del Residuo Sólido de mina (Material de desmonte de mina zarandeado) y material de préstamo se tuvo en cuenta 03 muestras seleccionadas, cada muestra está conformado con un volumen aprox. de entre 2 a 3 m³.

2.12.1.1. Ensayo del Residuo Sólido de mina (desmonte de mina) para determinar las características físicas

Tabla 13

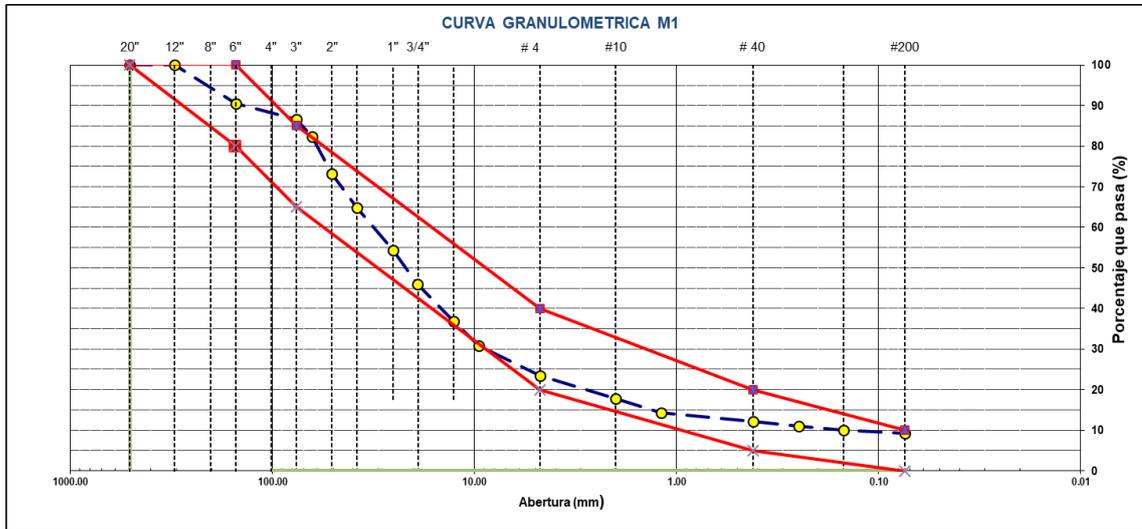
Resultados de muestra 1 (M1), muestra 2 (M2) y muestra 3 (M3): granulometría y contenido de humedad del Residuo Sólido de mina.

GRANULOMETRIA DEL MATERIAL DE DESMONTE - ASTM D 5519						
TAMIZ	ABERT. m.m.	% PASA M1	% PASA M2	% PASA M3	ESPECIFICACION DE OBRA	
20"	508.000	100.0	100.0	100.0	100	100
12"	304.800	100.0	100.0	100.0		
6"	152.400	90.5	99.8	83.6	80	100
3"	76.200	86.7	96.7	57.0	65	85
2 1/2"	63.500	82.3	89.9	55.5		
2	50.800	73.2	79.4	51.5		
1 1/2"	38.100	64.9	70.5	44.2		
1"	25.400	54.3	54.3	33.4		
3/4"	19.100	46.0	41.6	27.3		
1/2"	12.700	36.9	30.5	19.4		
3/8"	9.520	30.9	22.2	15.0		
1/4"	6.350					
# 4	4.760	23.4	11.2	12.4	20	40
# 8	2.360					
# 10	2.000	17.9	8.1	9.0		
# 20	1.190	14.3	6.8	7.5		
# 30	0.600					
# 40	0.420	12.1	6.1	6.8	5	20
# 60	0.250	10.9	5.7	6.4		
# 100	0.149	10.1	5.4	6.1		
# 200	0.074	9.3	5.2	5.7	0	10
< # 200	FONDO	0.0	0.0	0.0		

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL DE DESMONTE - ASTM D 2216				
TAMIZ	M1 (%)	M2 (%)	M3 (%)	HUMEDAD PROMEDIO(%)
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL >3"	0.4	0.6	0.4	0.45
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL <3"	1.6	1.7	1.7	1.65
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL <4"	3.6	2.9	2.8	3.06
CONTENIDO DE HUMEDAD CORREGIDA	2.3	2.0	1.5	1.93

Figura 3

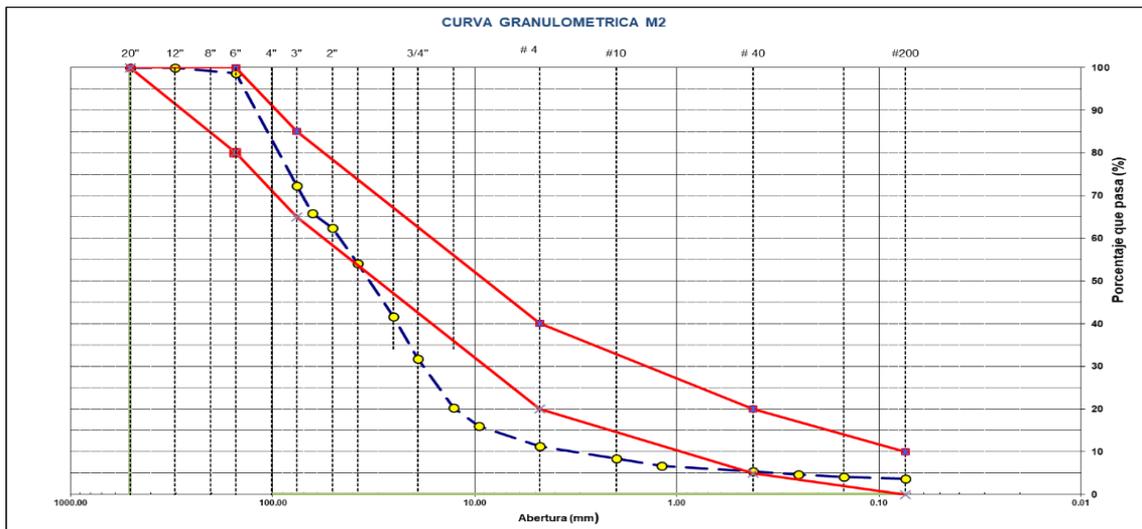
Curva granulométrica, Residuo Solido de mina - muestra 1.



De la figura 3, de acuerdo al huso granulométrico del material de relleno del expediente técnico se cumple con la cantidad de rocas, no se cuenta con partículas entre 3" a 2 ½" de diámetro (falta grava de diámetros 3" a 2 ½"), pero si cumple con la cantidad de arena y finos.

Figura 4

Curva granulométrica, Residuo Solido de mina - muestra 2.

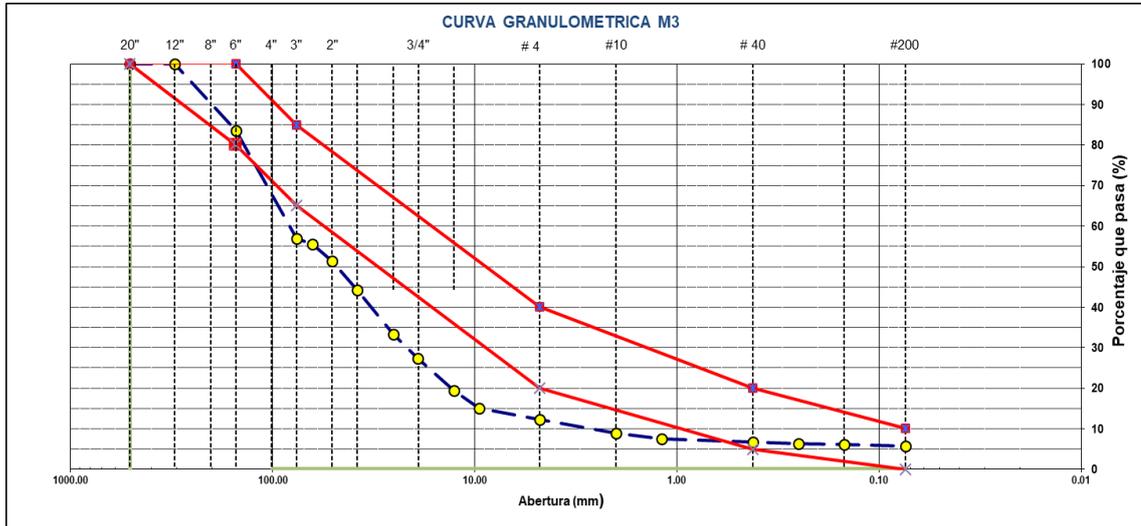


De la figura 4, de acuerdo al huso granulométrico del Material de Relleno del expediente técnico la cantidad de roca está en limite, falta cantidad de grava, falta partículas

entre N° 4" a 2 ½" de diámetro, hay un exceso de arena y respecto a los finos si está dentro de los parámetros.

Figura 5

Curva granulométrica, Residuo Solido de mina - muestra 3.



De la figura 5, de acuerdo al huso granulométrico del material de relleno del expediente técnico se cumple con la cantidad de roca, se presenta falta de gravas y arena, pero respecto a los finos si está dentro de los parámetros.

2.12.1.2. Ensayo del material de préstamo para determinar las características físicas.

Tabla 14

Resultado muestra 1 (M1), muestra 2 (M2), muestra 3 (M3), muestra 4 (M4) y muestra 5 (M5): granulometría y contenido de humedad natural del material de préstamo.

GRANULOMETRIA DEL MATERIAL DE PRESTAMO - ASTM D 5519								
TAMIZ	ABERT. mm.	% PASA M1	% PASA M2	% PASA M3	% PASA M4	% PASA M5	ESPECIFICACION DE OBRA	
20"	508.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
12"	304.800	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		
6"	152.400	100.0	99.0	99.1	100.0	100.0	80	100
3"	76.200	100.0	90.3	91.1	100.0	100.0	65	85
2 1/2"	63.500	97.9	87.4	87.8	93.7	86.1		
2	50.800	95.4	80.5	81.9	87.1	79.6		
1 1/2"	38.100	90.9	75.9	74.5	80.0	74.1		
1"	25.400	80.4	63.1	63.9	70.2	64.2		
3/4"	19.100	71.8	54.5	56.9	63.0	59.2		
1/2"	12.700	60.4	45.3	49.3	54.5	52.8		
3/8"	9.520	52.5	39.5	44.5	49.7	49.1		
1/4"	6.350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
# 4	4.760	36.9	27.8	34.9	39.2	39.1	20	40
# 8	2.360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
# 10	2.000	26.9	22.9	26.8	30.4	30.0		
# 20	1.190	17.6	16.6	19.9	20.2	19.4		
# 30	0.600	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
# 40	0.420	10.7	11.4	13.7	9.5	10.3	5	20
# 60	0.250	7.3	8.6	10.1	5.1	5.6		
# 100	0.149	5.8	6.9	7.7	3.5	3.5		
# 200	0.074	4.7	5.6	6.0	2.7	2.5	0	10
< # 200	FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL DE PRESTAMO - ASTM D 2216						
TAMIZ	M1 (%)	M2 (%)	M3 (%)	M4 (%)	M5 (%)	HUMEDAD PROMEDIO(%)
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL >3"	0.6	0.9	0.9	0.8	0.9	0.83
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL <3"	1.7	3.6	3.0	2.1	2.3	2.56
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL <4"	3.4	7.3	6.4	8.4	7.7	6.64
CONTENIDO DE HUMEDAD CORREGIDA	3.0	4.4	4.0	5.4	5.3	4.42

Tabla 15

Resultados de la muestra 1 (M1): límites de Atterberg del material de préstamo.

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	4	5	6	3	4
N° de tarro	4	5	6	3	4
N° de golpes	30	24	17	—	—
Tarro + suelo húmedo	64.77	63.16	64.97	20.22	25.75
Tarro + suelo seco	60.63	59.2	60.9	18.65	23.98
Agua	4.14	3.96	4.07	1.57	1.77
Peso del tarro	41.72	41.55	43.47	9.92	13.68
Peso del suelo seco	18.91	17.65	17.43	8.73	10.3
Porcentaje de humedad	21.89	22.44	23.35	17.98	17.18

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	22.4 %
Límite Plástico	17.6 %
Índice de Plasticidad (Malla N°40)	4.8 %

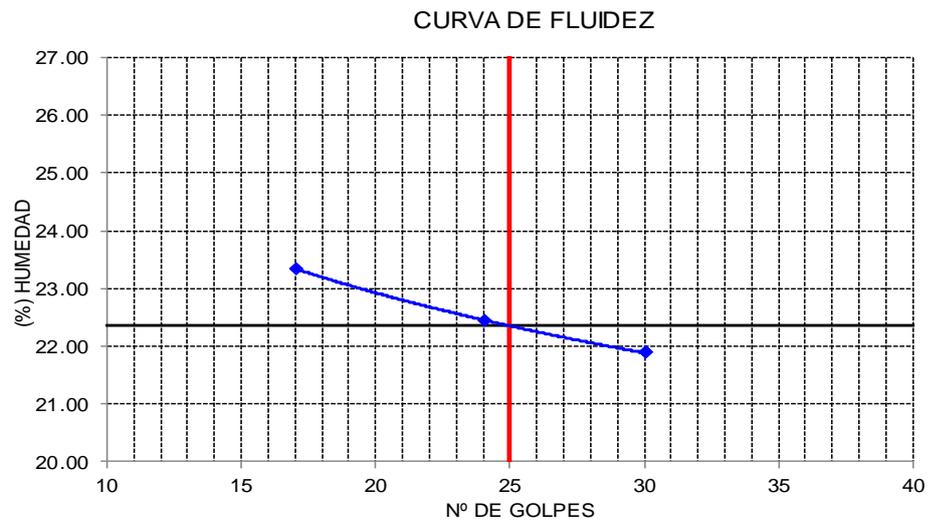
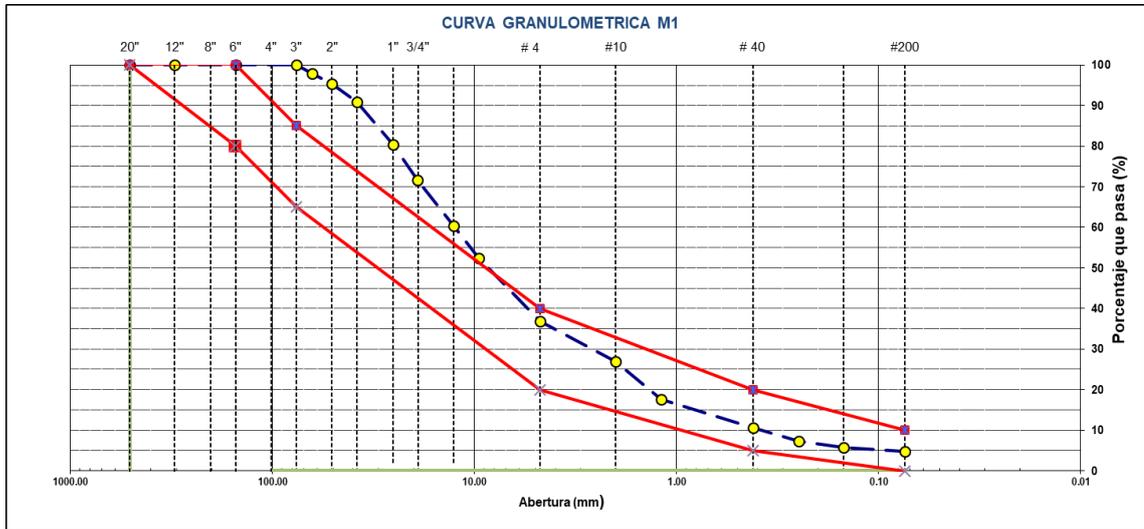


Figura 6

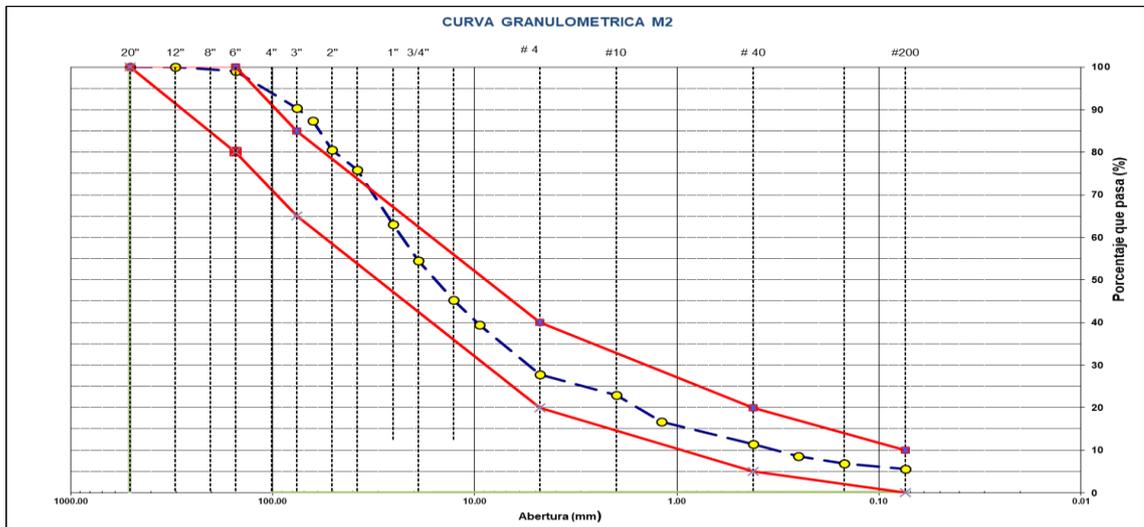
Curva granulométrica, material de préstamo M1.



De la figura 6, de acuerdo al huso granulométrico del material tipo 4 del expediente técnico el material no tiene roca, tiene grava de regular volumen al igual que arena y finos.

Figura 7

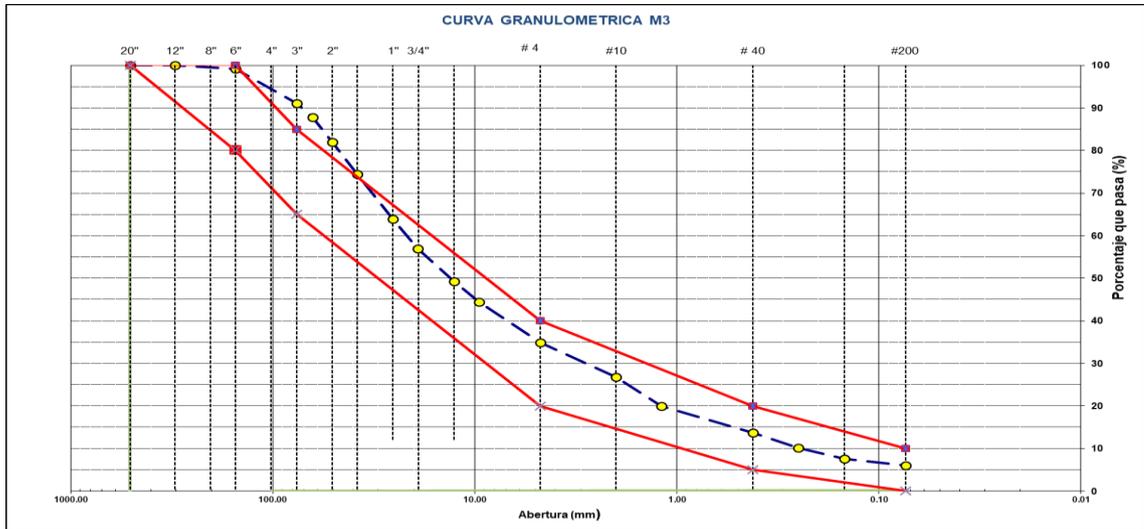
Curva granulométrica, material de préstamo M2.



De la figura 7, de acuerdo al huso granulométrico del material tipo 4 del expediente técnico el material no tiene roca, tiene grava entre 2" a N° 4, presenta arena y finos necesarios.

Figura 8

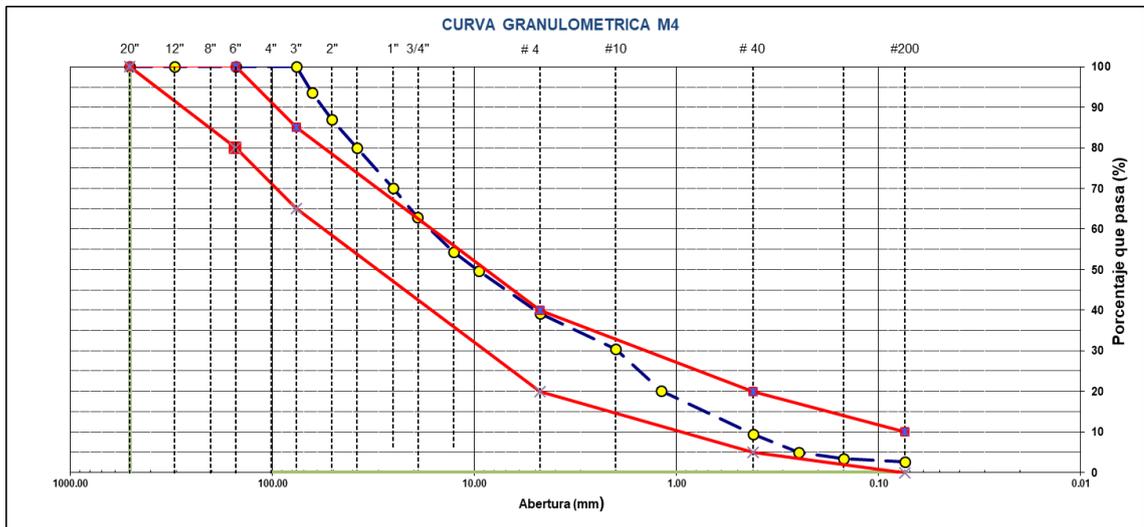
Curva granulométrica, material de préstamo M3.



De la figura 8, de acuerdo al huso granulométrico del material tipo 4 del expediente técnico el material no tiene roca, tiene grava entre 2" a N° 4, presenta arena y finos.

Figura 9

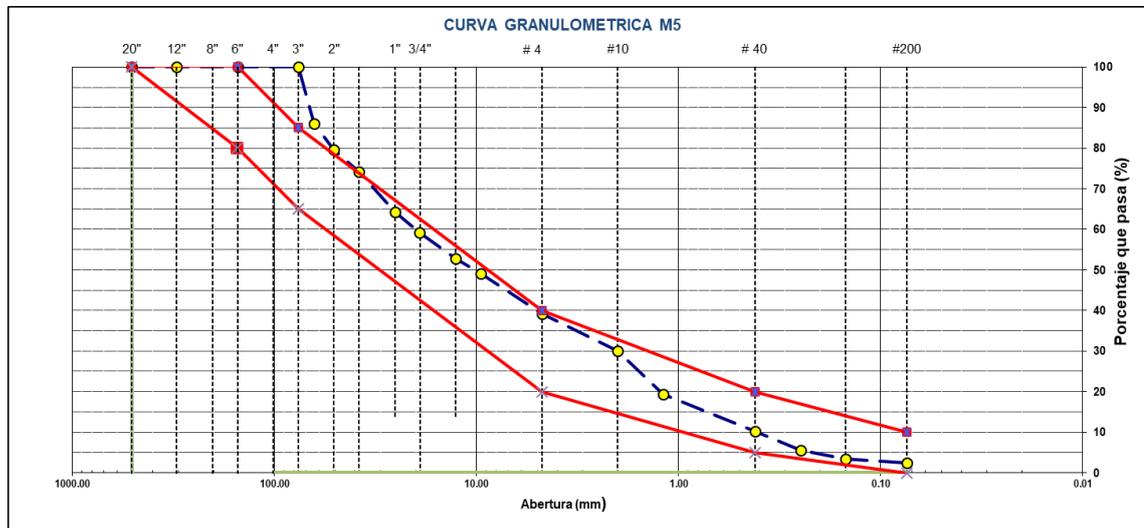
Curva granulométrica, material de préstamo M4.



De la figura 9, de acuerdo al huso granulométrico del material tipo 4 del expediente técnico el material no tiene roca, tiene grava entre 1" a N° 4, presenta arena y finos.

Figura 10

Curva granulométrica, material de préstamo M5.



De la figura 10, de acuerdo al huso granulométrico del material tipo 4 del expediente técnico el material no tiene roca, tiene grava entre 1" a N° 4, presenta arena y finos necesarios.

2.12.2. Características físicas del Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo

2.12.2.1. Ensayo teórico del Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo para determinación de características físicas del material. Luego de haber obtenido las características físicas del Residuo Sólido de mina (material de desmonte) y material de préstamo, y con fines a alcanzar una granulometría aceptable de material de relleno, con la ayuda del programa Microsoft Excel se ha idealizado una mezcla del Residuo Sólido de mina (material de desmonte) y material de préstamo en porcentajes que alcancen los valores permisibles del Huso Granulométrico de diseño.

A. Resultado teórico 1: Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo.

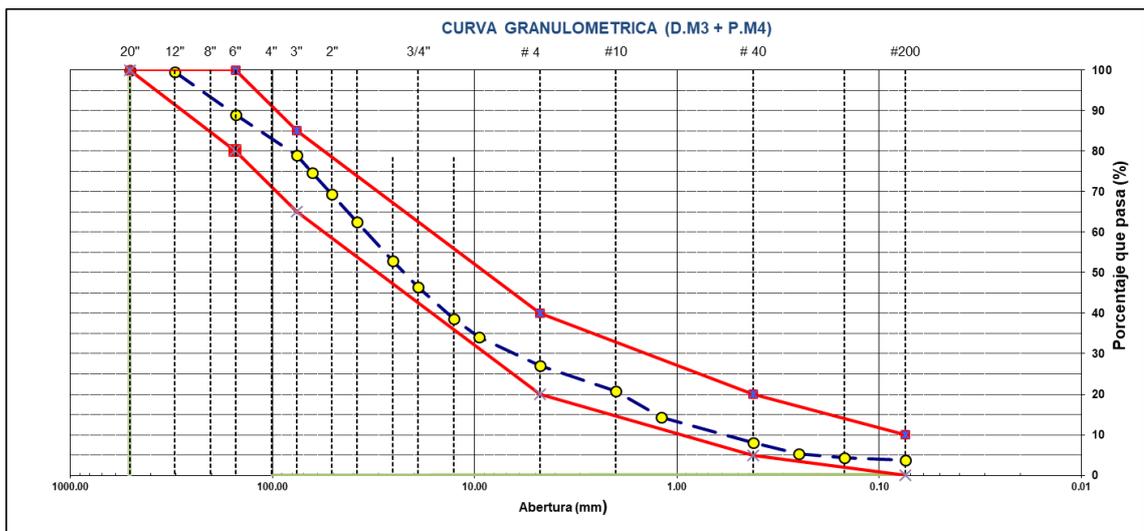
Tabla 16

Granulometría del material combinado (desmonte M3+préstamo M4 + over).

TAMIZES Y ABERTURAS (mm)		COMBO 1		COMBO 2		BLENDING	ESPECIFICACION DE OBRA		CHEQUEO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		MATERIAL DESMONTE M3	MATERIAL PRESTAMO M4	COMBO 1	OVER 5%					
		40%	60%	95.24%	4.76%					
20"	508.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	OK	
12"	304.800	100.0	100.0	100.0	90.0	99.5				PESO TOTAL <3" gr
6"	152.400	83.6	100.0	93.5		89.0	80	100	OK	PESO FRACCION <3" gr
3"	76.200	57.0	100.0	82.8		78.9	65	85	OK	PESO TOTAL <N°4 gr
2 1/2"	63.500	55.5	93.7	78.4		74.7				PESO GLOBAL MUEST. gr
2	50.800	51.5	87.1	72.9		69.4				PESO FRACCION <N°4
1 1/2"	38.100	44.2	80.0	65.7		62.6				
1"	25.400	33.4	70.2	55.5		52.8				OBSERVACIONES :
3/4"	19.100	27.3	63.0	48.7		46.4				Material de desmonte 40%
1/2"	12.700	19.4	54.5	40.4		38.5				Material de préstamo 60%
3/8"	9.520	15.0	49.7	35.8		34.1				Material Over 5%
1/4"	6.350									
# 4	4.760	12.4	39.2	28.5		27.1	20	40	OK	PROFUNDIDAD :
# 8	2.360									COORDENADAS :
# 10	2.000	9.0	30.4	21.8		20.8				X
# 20	1.190	7.5	20.2	15.1		14.4				Y
# 30	0.600									Z
# 40	0.420	6.8	9.5	8.4		8.0	5	20	OK	Roca (%) : 21.1
# 60	0.250	6.4	5.1	5.6		5.3				Grava (%) : 51.7
# 100	0.149	6.1	3.5	4.5		4.3				Arena (%) : 23.4
# 200	0.074	5.7	2.7	3.9		3.7	0	10	OK	Limos y Arcillas (%) 3.7
<# 200	FONDO	0.0	0.0	0.0		0.0				

Figura 11

Curva granulométrica del material combinado (desmonte M3+préstamo M4 + over).



B. Resultado teórico 2: Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo.

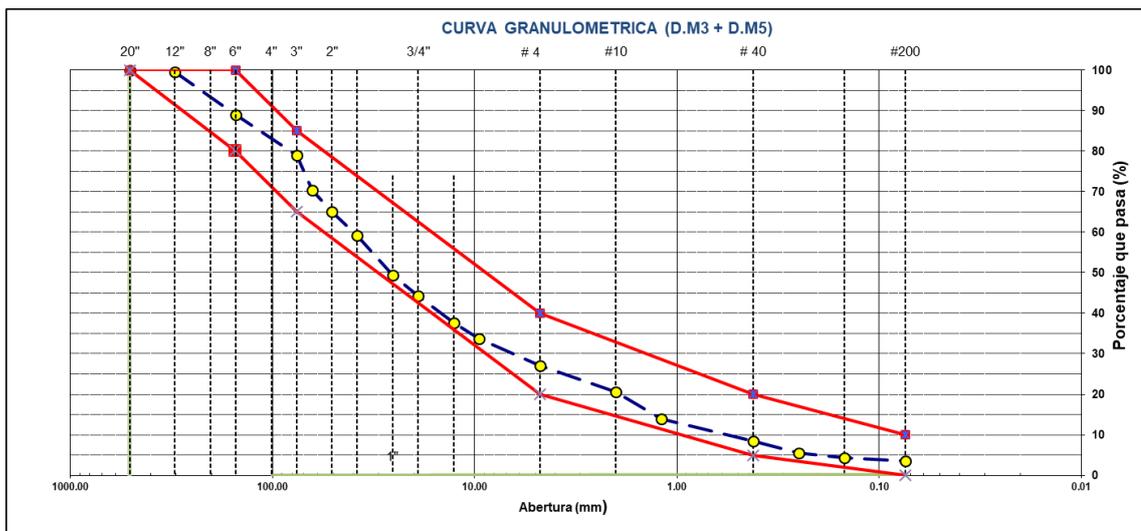
Tabla 17

Granulometría del material combinado (desmonte M3+préstamo M5 + over).

TAMIZES Y ABERTURAS (mm)		COMBO 1		COMBO 2		BLENDING	ESPECIFICACION DE OBRA		CHEQUEO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		MATERIAL DESMONTE M3	MATERIAL PRESTAMO M5	COMBO 1	OVER 5%					
		40%	60%	95.24%	4.76%					
20"	508.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	OK	
12"	304.800	100.0	100.0	100.0	90.0	99.5				PESO TOTAL <3" gr
6"	152.400	83.6	100.0	93.5		89.0	80	100	OK	PESO FRACCION <3" gr
3"	76.200	57.0	100.0	82.8		78.9	65	85	OK	PESO TOTAL <N°4 gr
2 1/2"	63.500	55.5	86.1	73.9		70.3				PESO GLOBAL MUEST. gr
2	50.800	51.5	79.6	68.4		65.1				PESO FRACCION <N°4
1 1/2"	38.100	44.2	74.1	62.2		59.2				
1"	25.400	33.4	64.2	51.9		49.4				OBSERVACIONES :
3/4"	19.100	27.3	59.2	46.4		44.2				Material de desmonte 40%
1/2"	12.700	19.4	52.8	39.4		37.6				Material de préstamo 60%
3/8"	9.520	15.0	49.1	35.5		33.8				Material Over 5%
1/4"	6.350									
# 4	4.760	12.4	39.1	28.4		27.1	20	40	OK	PROFUNDIDAD :
# 8	2.360									COORDENADAS :
# 10	2.000	9.0	30.0	21.6		20.5				X
# 20	1.190	7.5	19.4	14.6		13.9				Y
# 30	0.600									Z
# 40	0.420	6.8	10.3	8.9		8.5	5	20	OK	Roca (%) : 21.1
# 60	0.250	6.4	5.6	5.9		5.6				Grava (%) : 51.8
# 100	0.149	6.1	3.5	4.5		4.3				Arena (%) : 23.5
# 200	0.074	5.7	2.5	3.8		3.6	0	10	OK	Limos y Arcillas (%) 3.6
<# 200	FONDO	0.0	0.0	0.0		0.0				

Figura 12

Curva granulométrica del material combinado (desmonte M3+préstamo M5 + over).



C. Resultado teórico 3: Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo.

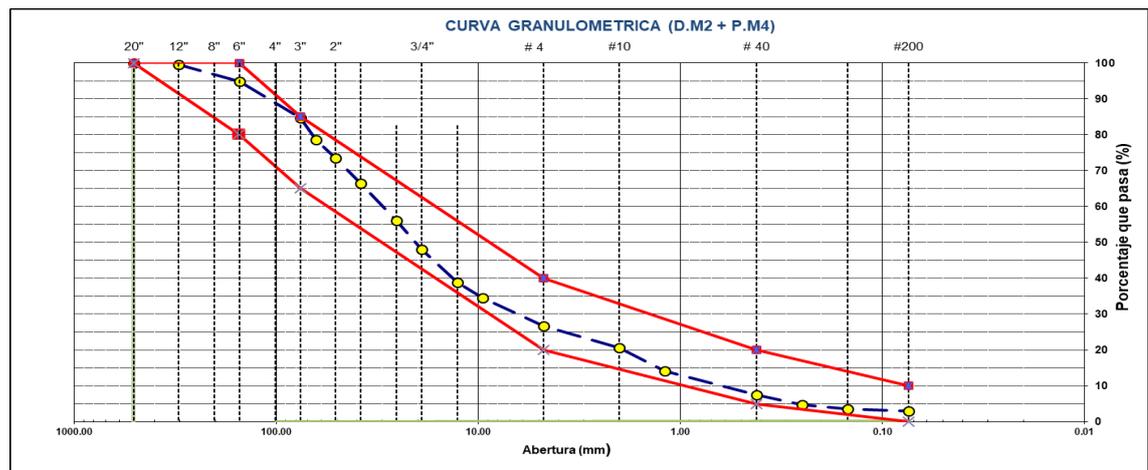
Tabla 18

Granulometría del material combinado (desmonte M2+préstamo M4+ over).

TAMIZES Y ABERTURAS (mm)		COMBO 1		COMBO 2		BLENDING	ESPECIFICACION DE OBRA		CHEQUEO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		MATERIAL DESMONTE M2	MATERIAL PRESTAMO M4	COMBO 1	OVER 5%					
		40%	60%	95.24%	4.76%					
20"	508.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	OK	
12"	304.800	100.0	100.0	100.0	90.0	99.5				PESO TOTAL <3" gr
6"	152.400	98.6	100.0	99.5		94.7	80	100	OK	PESO FRACCION <3" gr
3"	76.200	72.2	100.0	88.9		84.7	65	85	OK	PESO TOTAL <N°4 gr
2 1/2"	63.500	65.9	93.7	82.6		78.6				PESO GLOBAL MUEST. gr
2	50.800	62.3	87.1	77.2		73.5				PESO FRACCION <N°4
1 1/2"	38.100	54.1	80.0	69.7		66.3				
1"	25.400	41.6	70.2	58.8		56.0				OBSERVACIONES :
3/4"	19.100	31.8	63.0	50.5		48.1				Material de desmonte 40%
1/2"	12.700	20.3	54.5	40.8		38.8				Material de préstamo 60%
3/8"	9.520	16.1	49.7	36.2		34.5				Material Over 5%
1/4"	6.350									
# 4	4.760	11.3	39.2	28.0		26.7	20	40	OK	PROFUNDIDAD :
# 8	2.360									COORDENADAS :
# 10	2.000	8.5	30.4	21.6		20.6				X
# 20	1.190	6.6	20.2	14.8		14.1				Y
# 30	0.600									Z
# 40	0.420	5.4	9.5	7.9		7.5	5	20	OK	Roca (%) : 15.3
# 60	0.250	4.6	5.1	4.9		4.6				Grava (%) : 58.0
# 100	0.149	4.1	3.5	3.7		3.6				Arena (%) : 23.7
# 200	0.074	3.7	2.7	3.1		3.0	0	10	OK	Limos y Arcillas (%) 3.0
<# 200	FONDO	0.0	0.0	0.0		0.0				

Figura 13

Curva granulométrica del material combinado (desmonte M2+préstamo M4+ over).



2.12.2.2. Ensayo en campo del Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo para determinación de características físicas del material. La muestra considerada en el ensayado es resultado de la combinación en volumen del Residuo Solido de mina (40%) + material de préstamo (60%) + material over (5%), este último 6" < D < 20" que sumaría un volumen aproximado de 2,000.00 m3. El mezclado de materiales, llamado también blending se realizó con equipo pesado; 01 cargador frontal y 01 excavadora sobre orugas para la preparación y volteo de material respectivamente, siendo 02 la cantidad de volteo del material. A continuación, se muestra los resultados.

A. Resultado de campo 1: Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo.

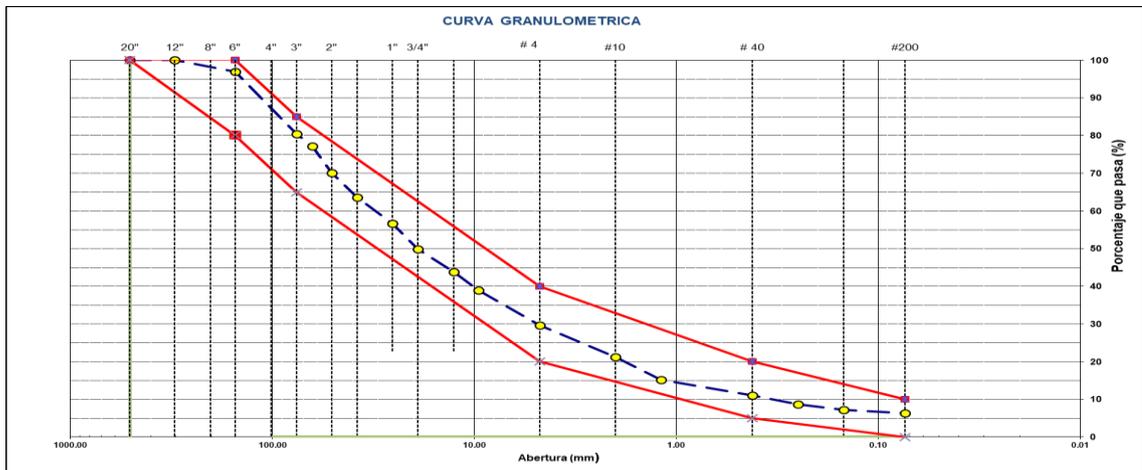
Tabla 19

Granulometría y contenido humedad del material combinado: muestra, pila N° 18.

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFIC. OBRA		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
20"	508.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	
12"	304.800	0.0	0.0	0.0	100.0			PESO TOTAL <3" = 128,620.0 g
6"	152.400	126,000.0	3.0	3.0	97.0	80	100	PESO FRACCION <3" = 81,168.0 g
3"	76.200	698,000.0	16.6	19.6	80.5	65	85	PESO TOTAL <N°4 = 47,452.0 g
2 1/2"	63.500	5,320.0	3.3	22.9	77.1			PESO GLOBAL MUEST. = 4214200.0 g
2	50.800	11,210.0	7.0	29.9	70.1			PESO FRACCION <N°4 = 980.0
1 1/2"	38.100	10,440.0	6.5	36.4	63.6			771.4
1"	25.400	11,108.0	7.0	43.4	56.6			OBSERVACIONES :
3/4"	19.100	10,850.0	6.8	50.2	49.8			Se recomienda mezclar ó batir para homogenizar el material y así obtener resultados satisfactorios en la faja granulométrica.
1/2"	12.700	9,620.0	6.0	56.2	43.8			MATERIAL DE DESMONTE 40% - MATERIAL DE PRESTAMO 60% + MATERIAL OVER 5%
3/8"	9.520	7,840.0	4.9	61.1	38.9			PILA N° 18
1/4"	6.350							PROFUNDIDAD :
# 4	4.760	14,780.0	9.2	70.3	29.7	20	40	COORDENADAS :
# 8	2.360							Roca (%) : = 19.6
# 10	2.000	277.0	8.4	78.7	21.3			Grava (%) : = 50.8
# 20	1.190	201.0	6.1	84.8	15.2			Arena(%) : = 23.4
# 30	0.600							Limos y Arcillas(%) = 6.3
# 40	0.420	138.4	4.2	89.0	11.0	5	20	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL >3" 0.96%
# 60	0.250	78.4	2.4	91.4	8.6			N° 4< CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL <3" 2.30%
# 100	0.149	46.2	1.4	92.8	7.2			CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL < N° 4 6.80%
# 200	0.074	30.4	0.9	93.7	6.3	0	10	CONTENIDO DE HUMEDAD 3.40%
< # 200	FONDO	208.6	6.3	100.0	0.0			
FRACCION		980.0						
TOTAL		47,452.0						

Figura 14

Curva granulométrica del material de combinado: muestra, pila N° 18.



B. Resultado de campo 2: Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo.

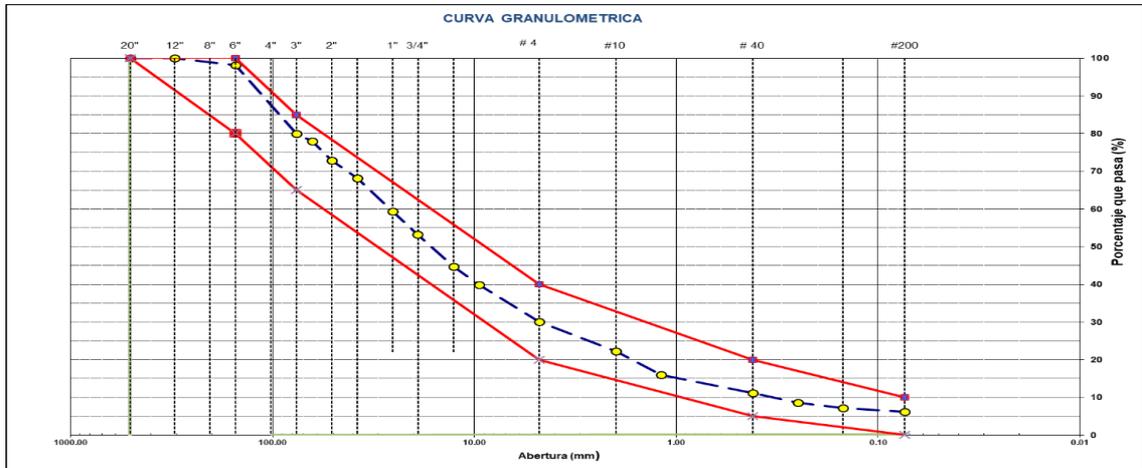
Tabla 20

Granulometría y contenido humedad del material combinado: muestra, pila N° 19.

TAMIZ	ABERT. m.m.	PESO RET. RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFIC. OBRA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
20"	508.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100 100	
12"	304.800	0.0	0.0	0.0	100.0		PESO TOTAL <3" = 120,550.0 g
6"	152.400	86,000.0	1.8	1.8	98.2	80 100	PESO FRACCION <3" = 74,380.0 g
3"	76.200	868,000.0	18.3	20.1	79.9	65 85	PESO TOTAL <N°4 = 46,170.0 g
2 1/2"	63.500	3,017.0	2.0	22.1	77.9		PESO GLOBAL MUEST. = 4749200.0 g
2	50.800	7,614.0	5.1	27.1	72.9		PESO FRACCION <N°4 = 1,345.0
1 1/2"	38.100	7,008.0	4.7	31.8	68.2		1072.5
1"	25.400	13,320.0	8.8	40.6	59.4		OBSERVACIONES :
3/4"	19.100	9,310.0	6.2	46.8	53.2		Se recomienda mezclar ó batir para homogenizar el material y así obtener resultados satisfactorios en la faja granulométrica.
1/2"	12.700	12,900.0	8.6	55.3	44.7		MATERIAL DE DESMONTE 40% - MATERIAL DE PRESTAMO 60% + MATERIAL OVER 5%
3/8"	9.520	7,240.0	4.8	60.1	39.9		PILA N° 19
1/4"	6.350						PROFUNDIDAD :
# 4	4.760	14,710.0	9.8	69.9	30.1	20 40	COORDENADAS :
# 8	2.360						Roca (%) = 20.1
# 10	2.000	352.0	7.9	77.8	22.2		Grava (%) = 49.8
# 20	1.190	281.0	6.3	84.1	15.9		Arena(%) = 24.0
# 30	0.600						Limos y Arcillas(%) = 6.1
# 40	0.420	213.5	4.8	88.8	11.2	5 20	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL >3" 0.67%
# 60	0.250	118.0	2.6	91.5	8.5		N° 4< CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL <3" 2.31%
# 100	0.149	60.0	1.3	92.8	7.2		CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL < N° 4 5.23%
# 200	0.074	48.0	1.1	93.9	6.1	0 10	CONTENIDO DE HUMEDAD 2.90%
<# 200	FONDO	272.5	6.1	100.0	0.0		
FRACCION		1,345.0					
TOTAL		46,170.0					

Figura 15

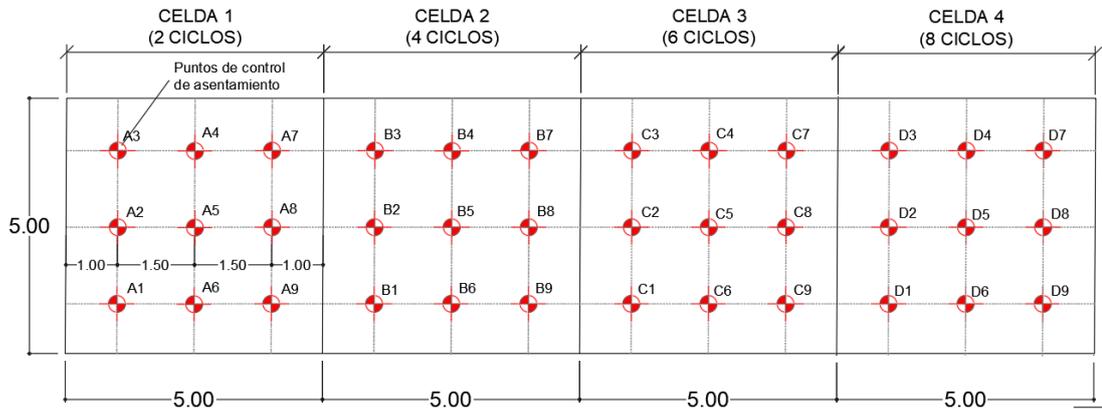
Curva granulométrica del material de combinado: muestra, pila N° 19.



2.12.3. Ensayo de reemplazo de agua de acuerdo norma ASTM D5030 para la determinación de la Densidad In Situ y características físicas del material para su utilización como material de relleno.

Figura 16

Esquemmatización de trazo en terreno_ panel test.



En la figura 16, se muestra el trazo en planta para el panel test (Tes Fill) del relleno compactado, así como también los 09 puntos ubicados en cada celda para llevar el control de los asentamientos.

Tabla 21*Resultados del control de asentamientos.*

CELDA 1 CON 2 CICLOS				CELDA 2 CON 4 CICLOS			
PUNTO	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL	PUNTO	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL
A1	4,197.453	4,197.366	0.087	B1	4,197.451	4,197.380	0.072
A2	4,197.456	4,197.402	0.054	B2	4,197.451	4,197.388	0.062
A3	4,197.454	4,197.411	0.044	B3	4,197.443	4,197.403	0.040
A4	4,197.458	4,197.429	0.029	B4	4,197.449	4,197.386	0.063
A5	4,197.457	4,197.422	0.035	B5	4,197.447	4,197.385	0.063
A6	4,197.450	4,197.388	0.062	B6	4,197.447	4,197.363	0.084
A7	4,197.446	4,197.377	0.069	B7	4,197.446	4,197.379	0.067
A8	4,197.449	4,197.403	0.045	B8	4,197.452	4,197.393	0.059
A9	4,197.451	4,197.407	0.044	B9	4,197.450	4,197.393	0.057

CELDA 3 CON 6 CICLOS				CELDA 4 CON 8 CICLOS			
PUNTO	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL	PUNTO	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL
C1	4,197.444	4,197.350	0.094	D1	4,197.449	4,197.382	0.067
C2	4,197.455	4,197.390	0.065	D2	4,197.447	4,197.393	0.054
C3	4,197.459	4,197.398	0.061	D3	4,197.455	4,197.408	0.046
C4	4,197.448	4,197.380	0.068	D4	4,197.445	4,197.415	0.030
C5	4,197.449	4,197.382	0.067	D5	4,197.452	4,197.402	0.051
C6	4,197.449	4,197.374	0.074	D6	4,197.445	4,197.398	0.047
C7	4,197.450	4,197.372	0.078	D7	4,197.454	4,197.365	0.089
C8	4,197.447	4,197.377	0.070	D8	4,197.457	4,197.405	0.052
C9	4,197.447	4,197.383	0.064	D9	4,197.446	4,197.419	0.028

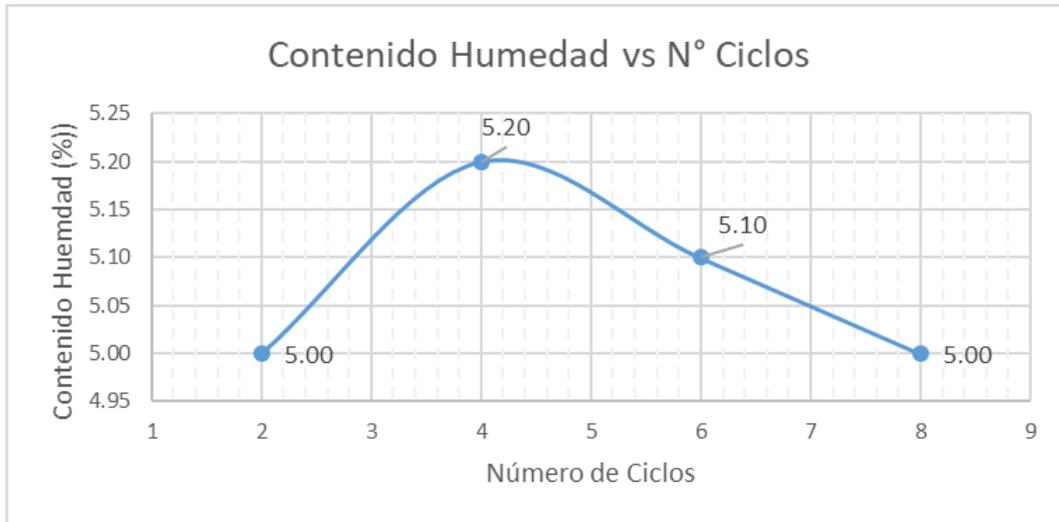
En la tabla 21, se puede identificar el asentamiento que tuvo cada punto de control en el número de ciclos pasados con rodillo de 10 ton.

Tabla 22*Resultados, contenido de humedad.*

Nº de Celda	Nº de Ciclos	Contenido Humedad > Tamiz 3" (%)	Contenido Humedad entre Tamices 3" a Nº 04 (%)	Contenido Humedad < Tamiz Nº 04 (%)	Contenido de Humedad Global (%)
1	2	1.84	4.48	8.44	5
2	4	1.77	4.72	8.61	5.2
3	6	1.86	4.48	8.75	5.1
4	8	1.7	4.47	8.91	5

Figura 17

Contenido de humedad vs número de ciclos.



Finalmente, se realizaron los ensayos de densidad de suelos in situ en cada una de las celdas (total 04), utilizando el método de reemplazo por agua ASTM D 5030. En la figura 18 se muestra el número de ciclos de rodillo versus las densidades secas alcanzadas.

Figura 18

Densidad seca vs número de ciclos.

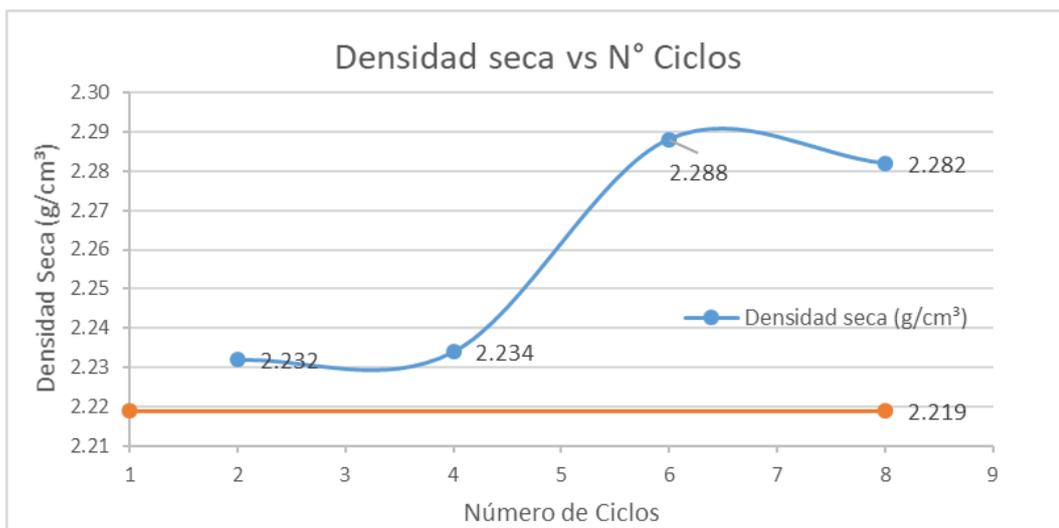


Tabla 23*Resultado, densidad seca.*

Nº de Celda	Nº de Ciclos	Densidad húmeda (g/cm ³)	Densidad seca (g/cm ³)	Densidad Maxima Seca al 95% (g/cm ³)
1	2	2.344	2.232	-
2	4	2.35	2.234	-
3	6	2.405	2.288	2.219
4	8	2.396	2.282	-

De la Tabla 23, se concluye que el parámetro de densidad especificado en el diseño (2.21 g/cm³), se cumple con 6 ciclos de compactación con una humedad de 5.10 %. (ver anexo 3, ensayo de panel test).

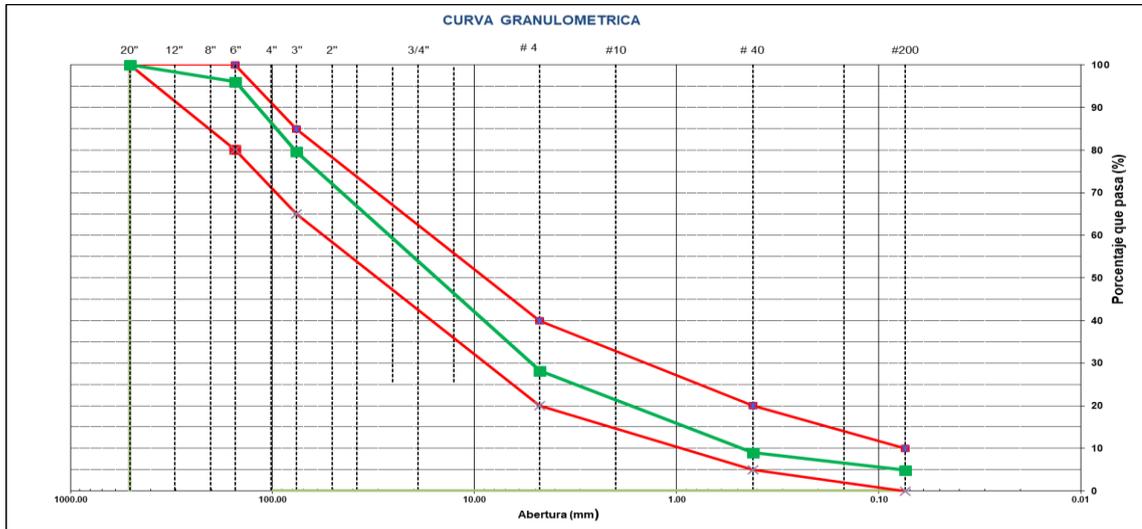
Tabla 24

Resultado del análisis macro granulométrico ASTM D 5519 en la muestra ensayada en el test de reemplazo de agua.

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFIC. OBRA		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
20"	508.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	
12"	304.800	0.0	0.0	0.0	100.0			PESO TOTAL < 3" = 120,649.0 g
6"	152.400	79,200.0	4.0	4.0	96.0	80	100	PESO FRACCION < 3" = 77,959.0 g
3"	76.200	325,200.0	16.4	20.4	79.6	65	85	PESO TOTAL < N°4 = 42,690.0 g
2 1/2"	63.500	7,998.0	5.3	25.7	74.4			PESO GLOBAL MUEST. = 1985200.0 g
2"	50.800	5,138.0	3.4	29.0	71.0			PESO FRACCION < N°4 = 1,491.9 g
1 1/2"	38.100	8,381.0	5.5	34.6	65.4			1236.3
1"	25.400	12,338.0	8.1	42.7	57.3			OBSERVACIONES :
3/4"	19.100	10,628.0	7.0	49.7	50.3			La muestra obtenida se encuentra dentro de los Husos Granulométricos
1/2"	12.700	12,318.0	8.1	57.9	42.2			Panel Test N° 05 de espesor 0.60m compactado a 04 ciclos.
3/8"	9.520	7,396.0	4.9	62.7	37.3			
1/4"	6.350							
# 4	4.760	13,762.0	9.1	71.8	28.2	20	40	PROFUNDIDAD : 0.60 m
# 8	2.360							COORDENADAS :
# 10	2.000	389.5	7.4	79.2	20.8			X = 359,191.561
# 20	1.190	366.9	6.9	86.1	13.9			Y = 8,807,776.049
# 30	0.600							Z = 4,197.40
# 40	0.420	259.1	4.9	91.0	9.0	5	20	Roca (%) : = 20.4
# 60	0.250	124.4	2.4	93.4	6.7			Grava (%) : = 51.4
# 100	0.149	54.8	1.0	94.4	5.6			Arena (%) : = 23.4
# 200	0.074	41.6	0.8	95.2	4.8	0	10	Limos y Arcillas (%) = 4.8
< # 200	FONDO	255.6	4.8	100.0	0.0			
FRACCION		1,491.9						
TOTAL		42,690.0						

Figura 19

Curva granulométrica de la muestra ensayada en el test de reemplazo de agua.



2.13. Interpretación de resultados

- En el resultado del ensayo granulométrico realizado al material de Residuo Sólido de mina se puede visualizar que la curva granulométrica no cumple con los parámetros permisibles del material de relleno indicados en el expediente técnico. El material de Residuo Sólido de mina tiene suficiente roca y un ajustado porcentaje de finos, pero le falta grava y arena. Ver figura 3, 4 y 5.
- En el resultado del ensayo granulométrico realizado al material de préstamo se puede visualizar que la curva granulométrica no cumple con los parámetros permisibles del material de relleno indicados en el expediente técnico. El material de préstamo no tiene roca, tiene exceso de grava, suficiente porcentaje de arena y finos. Ver figura 6, 7, 8, 9 y 10.
- Del ensayo granulométrico teórico practicado con el programa Microsoft Excel, al material de Residuo Solido de mina mejorado con material de préstamo, se puede verificar que los porcentajes considerados para la mezcla cumplen para la obtención de un adecuado material de relleno (ver figura 11, 12 y 13). Y en comparación con el ensayo macro granulométrico ejecutado en campo con Equipo Pesado no hay diferencias significativas, por lo que también cumple los paramétricos granulométricos (ver figura 14 y 15).
- El contenido de humedad del material de préstamo se encuentra entre 8% a 10%, superando la humedad de diseño. Sin embargo, al tener el Residuo Solido de mina en una humedad baja entre 2% a 3%, al momento de realizar el blending el material se homogeniza llegando a obtenerse el óptimo contenido de humedad.
- El panel test reemplazo de agua, ha permitido determinar las densidad In Situ y óptimo contenido de humedad del Residuo Sólido de mina mejorado con material

de préstamo para su utilización como material de relleno. El ensayo utilizó 4 celdas, en la primera el rodillo realizó 2 ciclos de compactación, en la segunda 4 ciclos de compactación, en la tercera 6 ciclos de compactación y en la cuarta 8 ciclos de compactación. En la celda 3 se verifica un asentamiento promedio de 7.1 cm (ver tabla 21), una densidad seca de acuerdo al ensayo ASMT D5030 de 2.228 g/cm^3 superando 2.219 g/cm^3 de densidad seca al 95% indicado en el expediente técnico (ver tabla 23), un contenido de humedad de acuerdo al ensayo ASMT D5030 de 5.10 % (ver figura 17), y una granulometría de acuerdo al material de relleno solicitado en el expediente técnico (ver tabla 8 y figura 19).

III. APORTES MAS DESTACABLES A LA EMPRESA

En el proyecto del Recrecimiento de la Presa de Relaves Huachuacaja, Minera el Brocal. Consideró como aporte más destacado la implementación del proceso de mejora del Residuo Solido de mina con material de préstamo para su utilización como material de relleno en el recrecimiento del espaldón de la presa de relaves, en función de los alcances y limitaciones que tuvo el proyecto. Asimismo, cabe indicar los siguientes beneficios para el proyecto y la empresa.

- Se cumplió con las metas del proyecto sin generar perjuicios en el comportamiento estructural de la Presa de Relaves Huachuacaja.
- La implementación del proceso de mejora ha favorecido en el adecuado equipamiento del laboratorio de mecánica de suelos, con ello la empresa comunal se ve beneficiada para las próximas etapas constructivas de la Presa de Relaves Huachuacaja.
- El presupuesto de obra tuvo un incremento final superior a los 900,000.00 dólares americanos, mayor al 60%. Cabe indicar que el costo final de otras 02 alternativas superaría el 75 %.

IV. CONCLUSIONES

- 4.1. De los resultados obtenidos en gabinete, laboratorio de Mecánica de Suelos y del experimento en campo se concluye que la implementación del proceso de mejora del Residuo Sólido de mina con material de préstamo favorecerá para su utilización como material de relleno en el recrecimiento del espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja. En visto que el Residuo Sólido de mina presenta bajo contenido de humedad, bajo porcentaje de grava y arena, pero necesaria cantidad de rocas, y por otra parte el material de préstamo con un suficiente contenido de humedad y granulometría compuesto en su mayoría de grava y arena complementa para la obtención del material de relleno bien gradado, como se indica en los parámetros permisibles del expediente técnico.
- 4.2. La identificación de características físicas del Residuo Sólido de Mina y del Material de Préstamo, de acuerdo a la normativa ASTM; ensayo de mecánica de suelos, ha facilitado para la implementación del proceso de mejora del Residuo Sólido de mina con material de préstamo para su utilización como material de relleno, específicamente en definir los porcentajes y/o proporciones de los materiales a mezclarse en el ensayo teórico y progresivamente la corroboración en el ensayo de campo.
- 4.3. La Identificación de características físicas del Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo en el ensayo de campo, ha favorecido corroborar la caracterización granulométrica planteada en el ensayo teórico. Siendo estas las proporciones de 40%, 60 % y 5%; Residuo Sólido de mina, material de préstamo y material over respectivamente.
- 4.4. El panel test de relleno compactado y ensayo de reemplazo de agua aplicado al Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo, ha permitido

determinar el número mínimo de ciclos de compactación con rodillo para alcanzar la máxima densidad seca en un adecuado contenido de humedad, optimizando los tiempos y recursos para lograr mayor avance de la obra sin incumplir el control de calidad que exige el expediente técnico.

V. RECOMENDACIONES

- 5.1. Al corroborarse que la mejora del Residuo sólido de mina con material de préstamo favorece para su utilización como material de relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja, se da como primera recomendación que se implemente este proceso de mejora en las unidades mineras, específicamente en obras de rellenos masivos.
- 5.2. De acuerdo al estándar minero, para la determinación de las características físicas del Residuo Sólido de mina y material de préstamo, se recomienda aplicar la normativa ASTM en los ensayos de Mecánica de Suelos.

Descripción de ensayo	Normativa
Granulometría	
<i>Partículas mayores de 3" de diámetro</i>	<i>Norma ASTM D5519</i>
<i>Partículas menores de 3" de diámetro</i>	<i>Norma ASTM D422</i>
Contenido de humedad	<i>Norma ASTM D2216</i>
Límites de ATTERBERG	
<i>Límite Líquido</i>	<i>Norma ASTM D423</i>
Densidad InSitu del suelo	
<i>Reemplazo por agua</i>	<i>Norma ASTM D5030</i>

- 5.3. También sería recomendable la utilización del programa Microsoft Excel para la obtención de una adecuada caracterización granulométrica teórica, progresivamente durante el experimento en campo la utilización de 01 cargador frontal y 01 excavadora sobre orugas, el primero para preparar el área de trabajo y alimentar la mezcla según las proporciones de diseño, mientras el segundo netamente para el Blending. Asimismo, utilizar un material de préstamo con medio o bajo contenido de plasticidad con el fin de garantizar una mejor homogenización de la mezcla.
- 5.4. Respecto al panel test del relleno compactado para determinar las propiedades del material de relleno colocado, al comprobarse que las características físicas

del Residuo Sólido de mina mejorado con material de préstamo favorecen como material de relleno en el Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja es recomendable considerar en el ensayo espesores de relleno entre 50 a 70 cm, 4 celdas de prueba de 5.00 x 5.00 m, 01 tractor orugas de 8 ton, 01 rodillo liso vibratorio de 10 ton y para la toma de muestra mediante el ensayo de reemplazo por agua (ASTM D5030) la utilización de una anillo metálico de diámetro 1.80 m.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APAZA QUISPE, S. C. (2019). *Diseño de recrecimiento de la presa de relaves de la unidad de producción UNTUCA-Minera CORI PUNO SAC*. Universidad Nacional del Altiplano: Facultad de Ingeniería de Minas. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10713/Apaza_Quispe_Sixto_Ciriaco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ASTM D2216, N. (2019). *Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa*. ASTM Internacional. Obtenido de <https://www.astm.org/d2216-19.html>
- ASTM D5030, N. (2021). *Densidad In-Situ mediante el método del reemplazo con agua en un pozo de exploración*. EE.UU.: ASTM Internacional. Obtenido de https://www.astm.org/d5030_d5030m-21.html
- ASTM D5519, N. (2001). *Métodos de Prueba Estandar para el Análisis del Tamaño de Partículas de Materiales de Riprap Naturales y Artificiales*. Obtenido de <https://www.astm.org/d5519-15.html>
- BALDEÓN TRAVEZAÑO, C. B., y GABANCHO VALDERRAMA, R. A. (2016). *Determinación de características Físico-Químicas del desmonte de mina, para su empleo en la construcción del dique de relaves. Minera Alpamarca. Junín*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán: Facultad de Ingeniería Industrial y Sistemas. Obtenido de https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/2231/TII_Baldeon_Travezano_Clara.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bowles, J. (1981). *Manual de Suelos de Ingeniería Civil*. México: Mc Graw Hill. Obtenido de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf>
- Carrazana Gómez , R., y Rubio Casanovas, M. A. (1987). *Técnicas Básicas de Construcción: Infraestructura*. La Habana: Pueblo y Educación. Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/tecnicas-basicas-de-construccion-infraestructura/oclc/802948724>
- Espinace, R. (1979). *Laboratorio de Mecánica de Suelos*. Valparaíso, Chile.
- Espinace, R., y Sanhueza, C. (2014). *Texto Guía para la Cátedra de Mecánica de Suelos*. Valparaíso, Chile. Obtenido de <https://1library.co/document/z1rex18q-libro-mecanica-de-suelo.html>

- Golder Associates S.A., 6. (2017). *Ingeniería de Detalle de la Presa de Relaves Huachuacaja*. Unidad Minera El Brocal.
- Lambe, T., y Whitman, R. (2012). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa. Obtenido de https://www.academia.edu/36677655/Mecanica_de_Suelos_lambe
- Rojas Linares, E. (2002). *Diseño de Presa de Relaves*. Lima. Obtenido de <https://docplayer.es/23867614-Diseno-de-presas-de-relaves-rojas-linares-edito-luis.html>
- Schwarz, M. (2013). *Impacto ambiental minero y las exigencias legales*. Lima: Universidad de Lima. Obtenido de <https://www.ulima.edu.pe/departamento/centro-de-estudios-ambientales-cea/noticias/el-impacto-de-la-mineria-y-la-gestion-de>
- SNMPE, S. (2008). *Ciudad Saludable - Innovación en el Manejo de Residuos Sólidos*. Lima. Obtenido de <https://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/el-canon,-sobre-canon-y-las-regal%C3%ADas-en-el-per%C3%BA/185-herramientas-de-desarrollo/foro-de-herramientas-de-desarrollo-sostenible/segundo-foro-25-01-2008/3473-ciudad-saludable-innovacion-en-el-manejo-d>

VII. ANEXOS

ANEXO A. Norma ASTM D5519.

ANEXO B. Norma ASTM D5030.

ANEXO C. Procedimiento del panel test reemplazo x agua.

ANEXO D. Frecuencia de rellenos y controles.

ANEXO E. Panel fotográfico.

ANEXO F. Planos de Presa de Relaves Huachuacaja.

ANEXO A: Norma ASTM D5519.



Designation: D 5519 – 94 (Reapproved 2001)

Standard Test Method for Particle Size Analysis of Natural and Man-Made Riprap Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 5519; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the particle size and mass analysis of natural and man-made riprap and related materials, including filter stone or coarse bedding materials.

1.2 This test method is applicable for graded riprap stone, both naturally occurring and quarried. It is applicable for sizes 3 in. (75 mm) and above, with the upper size limited only by equipment available for handling and weighing of the individual particles. This test method is also applicable for evaluation, sizing, and mass determinations of man-made riprap materials, such as recycled broken concrete.

1.3 Three alternate procedures are provided. The procedure used shall be as indicated in the specification for the material being tested. If no procedure is specified, the choice should be selected and confirmed by the testing agency. The procedures and referenced sections are:

1.3.1 *Test Method A: Size-Mass Grading*—Grading of the material based on both the size and mass. See 9.2.

1.3.2 *Test Method B: Size-Range Grading*—Determination of the grading of the material based on the sizes of the individual particles. See 9.3.

1.3.3 *Test Method C: Mass-Range Grading*—Determination of the grading of the material based on the mass of the individual particles. See 9.4.

1.4 During the measurements using the methods in accordance with 1.3.1, 1.3.2, or 1.3.3, other attributes, such as the amount of slab pieces, can be determined during testing.

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The metric equivalents of inch-pound units given in parentheses may be approximate.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Section 7.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.17 on Rock for Erosion Control.

Current edition approved March 15, 1994. Published May 1994.

C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates²

D 422 Test Method for Particle-Size Analysis of Soils³

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids³

D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction³

D 4992 Practice for Evaluation of Rock to Be Used for Erosion Control³

D 5240 Test Method for Testing Rock Slabs to Evaluate Soundness of Riprap by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate³

D 5312 Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions³

E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 Terminology used within this test method is in accordance with Terminology D 653 with the addition of the following:

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *bedding (riprap)*—a layer of gravel, crushed stone, or filter materials placed on soil and under riprap to prevent soil migration up through the riprap, and to prevent undermining of the riprap due to erosion of the soil.

3.2.2 *slab pieces*—pieces of riprap that exhibit dimensional ratios of the thickness to width or width to length, or both, in excess of a specified ratio. The specified ratios typically range from 1:4 to 1:3 or less.

4. Summary of Test Method

4.1 The following three test methods for evaluating particle size distribution are available.

4.1.1 *Test Method A: Size-Mass Grading*—A sample of the material is obtained, individual particles are measured, and the particles are grouped into size ranges desired. The total mass of

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.



particles in the desired size range is determined. Particle size distribution percentages are then determined by calculation.

4.1.2 *Test Method B: Size Range Grading*—A sample of the material is obtained, individual particles are measured, counted, grouped into size ranges desired, and the distribution by size range is determined. The distribution in a size range, by mass, retained or passing, can be estimated.

4.1.3 *Test Method C: Mass-Range Grading*—A sample of the material is obtained, the mass of individual particles is measured, counted, masses are summed into mass ranges desired, and the distribution by mass ranges is determined.

5. Significance and Use

5.1 Riprap is commonly used to prevent erosion of underlying materials due to the effects of rain runoff, wind, flowing water, or wave action. The particle size distribution and mass of particles are two of the more important physical characteristics of riprap, whether quarried or from naturally occurring deposits.

5.2 The grading, particle mass, and other characteristics are important to ensure that riprap and the underlying bedding stone and filter materials will perform as designed to prevent erosion. Particle size and shape are key to having a uniform and interlocked riprap layer that will resist wind, wave, and water action. Poorly graded materials will result in either less than desired performance or the need to place additional riprap thickness.

5.3 This test method can be used to determine the particle size distribution of a sample of riprap or related materials, such as bedding, gabion, or riprap stone. It can be used during evaluation of a potential source or later as a means of product acceptance.

5.4 If a complete gradation in terms of size and mass is required, it will be necessary to perform testing in accordance with Test Method A. Mass and size can be related if the specific gravity of the rock is known and the shapes generated during production do not vary significantly. To obtain a complete gradation in terms of both mass and size, the unknown parameter may be estimated by calculation assuming that the clear square opening size is that of a particle midway between the size of sphere or cube, without significant amounts of slab-type pieces. Fig. 1 can be used to estimate either the size or mass of a rock piece.

5.5 Of the three test methods available, Test Method A is considered to provide the most quantitative description of the sample because both particle sizes and masses are determined. Test Method A employs a methodology similar to standard soil and aggregate particle size analysis tests (see Test Methods D 422 and C 136). Test Method B can be used for periodic product checks of particle sizes to ensure distribution meets specifications. Test Method C can be used if size can be inferred from a consistent source, and abnormal shapes or characteristics of the rock are not of concern.

5.6 Calculation needs for Test Methods B and C depend on the performance requirements specified for a particular project need. Requirements may be expressed in terms of percentage passing or retained for range of mass or size, or both. Test Method B determines the number of particles by size while Test Method C is by mass.

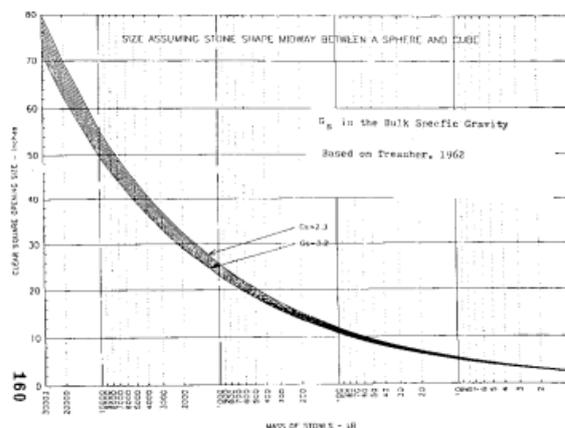


FIG. 1 Size Assuming Stone Shape Midway Between a Sphere and a Cube

5.7 Other characteristics of interest, such as average individual particle mass, presence of bedding planes of weakness, angularity, or amount of slab material may be determined during the performance of this test method.

5.8 The accuracy of this test method is limited by the representativeness of the sample tested. Interpretation of test results must consider the representativeness of the sample.

5.9 For large sizes of riprap, large sample sizes are required. Performance of this test method is labor and equipment intensive and therefore costly. The application of this test method should include considerations of the costs and time involved.

NOTE 1—The agency performing this test method can be evaluated in accordance with Practice D 3740. Notwithstanding statements on precision and bias contained in this test method: The precision of this test method is dependent on the competence of the personnel performing it and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing. Users of this test method are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not in itself ensure reliable testing. Reliable testing depends on many factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of those factors.

6. Apparatus

6.1 *Scales*, of adequate capacity to determine the mass of the sorted riprap pieces either individually or in whole. The scale will be accurate to 1 % of the indicated mass. Calibrated or certified commercial truck or quarry scales of adequate capacity are typically used. For individual particle measurements using Test Method B, hoist line load cells have been used successfully.

6.2 *Sieves or Templates*, meeting the requirements of Specification E 11 for sizes up to 5 in. (125 mm). For sizes above 5 in., single-opening templates may be fabricated for the required sizes. Templates may be fabricated from steel bar or other sufficiently rigid materials in the sizes required. For templates openings from 5 in. to 16 in. (125 to 400 mm), the openings will be within $\pm 2\%$ of the size, for templates greater than 16 in., the openings will be within ± 0.25 in. (6.35 mm). Sieves and templates should be checked on a regular basis to verify

squareness, straightness, and conformance to opening tolerances. Hand grips or handles should be considered for ease of use. For larger sizes, it has been found useful to fabricate templates in the form of a C-shaped caliper representing the sieve opening and the diagonal of the sieve opening (see Fig. 2).

6.3 *Transport Vehicle*, capable of conveying the individual or groups of the individual sorted riprap pieces from the sampling point to the test area, and from the test area to the weighing station. If truck scales are used, the transport vehicle should be tared prior to and after determination of the masses.

6.4 *Handling Equipment*, such as forklifts, loaders, or like equipment for sampling, transporting, assisting in the sorting, loading for transport, weighing, and other tasks involved in the physical performance of the test.

6.5 *Tape Measures* for determining particle size dimensions to estimate mass or determine slab pieces.

6.6 *Test Area*, sufficiently large to allow the placement of the test sample, areas or bins to place the sorted materials, and adequate to allow trucks, loaders, and other required equipment to operate safely. The test area should have a smooth surface, preferably of concrete, to provide a suitable work surface and prevent loss of the fines.

6.7 *Proportional Calipers*, fabricated in a sufficient size or sizes for use in determining if pieces meet or exceed dimensional ratios to be considered slab pieces (see Fig. 2).

6.8 *Miscellaneous Equipment*, such as spray paints to mark pieces, rock hammers, cameras for photo documentation, sample bags, tags or signs, data-recording forms, heavy work gloves, safety goggles or glasses, respirators or dust masks, and steel-toed boots or caps, as required for the work.

7. Hazards

7.1 Performance of this test method includes the moving, lifting, measurement, and transfer of large pieces of rock. This presents the potential for personnel injury from crushing,

dropped or rolling of the riprap pieces. Whenever possible, the sample should be spread to a single layer depth to reduce personnel hazard from rolling or falling pieces.

7.2 Personnel performing this test method will be in the vicinity of working heavy equipment and precautions should be taken to prevent injury from equipment.

7.3 Working with and around the pieces may subject personnel to dust, flying particles, falling pieces, and excessive noise. Personnel should be adequately equipped and trained in the use of personal protective equipment.

8. Sampling

8.1 The precision and representativeness of this test method is directly related to the sampling process. The sampling should be carefully planned and executed to achieve optimum representativeness. All parties should be involved in the planning process. The sampling plan should be documented and included as a part of the final report.

8.2 The mass of the total test specimen should be large enough to ensure a representative gradation and should be such that it provides test results to the desired level of accuracy. One analogy is to consider a test specimen size of such size that the addition or loss of the largest expected piece will not change the results by more than a specified percentage.⁴ If the particle mass is not known from experience, the particle mass may be estimated using Fig. 1, with an assumed representative specific gravity, or calculated using an assumed specific gravity and volume of the largest expected piece.

NOTE 2—Example: For a test specimen size to achieve a 1 % accuracy, assume that the largest individual piece mass is expected to be 150 lb (68 kg). For this piece to represent less than 1 %, the sample mass would be 15 000-lb (6 800-kg) minimum. For this piece to represent less than 5 % accuracy, the sample size would be 3000-lb (1360-kg) minimum.

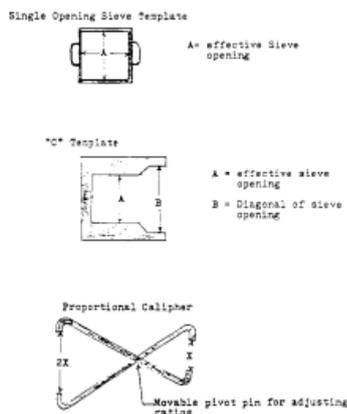
8.3 Take an adequate amount of sample to ensure that the minimum test specimen mass is available, however sampling will not be to a predetermined exact mass. Composite samples will be allowed only when included in the sample plan.

8.4 Sampling from the source material will be in accordance with the sampling plan with the emphasis on obtaining a sample representative of the whole in respect to mass, size, and shape.

8.5 Sample handling should be minimized to avoid unnecessary degradation and breakage. For materials that have been submerged, allow the sample to freely drain. Moisture content of riprap samples is considered inconsequential and the sample will be tested and reported as-found.

8.6 Other characteristics, such as soundness by Test Method D 5240, freeze-thaw resistance by Test Method D 5312 are normally determined prior to testing for size and mass. If these tests have not been performed previously, or if confirmation of the results is desirable, the sampling for these tests will be included in the sampling plan.

8.7 Photographs of the sampling process and related activities should be included in the report.



159

NOTE 1—The following figure illustrate typical apparatus that have been fabricated for use in this test method.

FIG. 2 Single-Opening Sieve Template

⁴ Howard, A. K., and Horz, R. C., "Minimum Test Specimen for Gradation Analysis," *Geotechnical Testing Journal*, Vol 11, No. 3, September 1988, pp. 213-217.



D 5519

8.8 Select the selection of sieve or template sizes for size or mass range groupings, or both, in accordance with project needs but should not be less than four sieve sizes or mass range groupings.

8.9 It may be desirable to retain the sample after testing to provide a visual comparison of a known gradation for quality-control purposes at a later date.

9. Procedure

9.1 Determine the total mass or volume of the sample delivered to the test site for all methods. Mass can be determined by truck scale prior to delivery to the test site.

9.2 Test Method A: Size-Mass Grading:

9.2.1 Move the sample to the test location. For samples that contain large pieces (greater than 12 in. (300 mm) in size), spread the sample in a thin layer.

9.2.2 Place each individual piece on the sieve or template to determine the sizes that the piece will pass and be retained on. Alternately, the template may be placed over the piece to determine the piece sizes. Either place the pieces into separate piles depending on size, or mark the individual pieces using paint or other means. For individual pieces over 36 in. (900 mm) in minimum dimension, determine the size by two or more individuals using a tape measure instead of a sieve or template. When a tape measure is employed, the measurements should determine the square sieve or template dimensions that the piece will pass through and be retained on.

NOTE 3—For samples containing large size pieces, it has been found convenient to mark the pieces for size using a color code, rather than sorting and moving them into separate piles. This eliminates the need to move the piece until the mass determination is made.

NOTE 4—A preliminary sorting by size can often be accomplished visually with only periodic checking with the template. If there is question concerning the size, the sieve or template will be used.

9.2.3 Determine the mass for each sorted piece size, including the fines passing the smallest required sieve (the sieve pan material). This may be accomplished by individual piece weighing at the test location, loading individual or numbers of pieces within a size in a transport vehicle for delivery to a weigh station, or by any other means that will result in the total mass for each sieve size.

9.2.4 If required, perform secondary sorts and counts of the number of pieces, the number of pieces exhibiting angularity (number of fractured faces), and the number of slab-like shapes for each of the sorted sizes.

9.2.5 Take photographs to document shape, color, or any unusual or unique properties of the material under test and include in the report.

9.2.6 Calculate the percentages in accordance with Section 10 for Test Method A.

9.3 Test Method B: Size-Range Grading:

9.3.1 Move the sample to the test location. For samples that contain large pieces (greater than 12 in. (300 mm) in size), the sample should be spread in a thin layer.

9.3.2 Place the particle piece on the sieve or template to determine the sieve sizes that the particles will pass and be retained on. Alternately, the template may be placed over the particle to determine the particle sizes. Either sort the pieces into separate piles, or mark the individual pieces using paint or

other means. For individual pieces over 36 in. (900 mm) in minimum dimension, determine the size by two or more individuals using a tape measure instead of a sieve or template. When a tape measure is employed, the measurements should determine the square sieves or template dimensions that the piece will pass through and be retained on.

NOTE 5—For samples containing large pieces, it has been found convenient to mark the pieces for size using a color code, rather than sorting and moving them into separate piles.

9.3.3 If required, perform secondary sorts and counts of the number of pieces, the number of pieces exhibiting angularity (number of fractured faces), and the number of slab-like shapes for each of the sorted sizes.

NOTE 6—Slab pieces are those whose minimum to maximum dimensions (thickness to width, or width to length) ratios exceed a specified value, such as 1:4. Slab pieces are often considered detrimental in riprap due to their propensity to break during placement, “raft” with wave action, or to align and slip in use.

9.3.4 Take photographs to document shape, color, and any unusual or unique properties of the material under test and include in the report.

9.3.5 Count the number of particles falling into each size range within the gradation. If the project specifications are by mass, obtain the estimated size distributions by knowing the specific gravity of the rock and assuming a shape midway between a cube and a sphere. Use Fig. 1 to estimate mass from clear square opening equivalent size.

9.3.6 Calculate the percentages in accordance with Section 10 for Test Method B.

9.4 Test Method C: Mass-Range Grading:

9.4.1 Move the sample to the test location. For samples that contain large pieces (greater than 12 in. (300 mm) in size), spread the sample in a thin layer.

9.4.2 Determine the mass of each piece by placing the particle on a scale or by use of a hoist-type load cell. Determine the mass of each particle down to the minimum particle mass of importance. Determine the mass of material finer than the smallest mass of importance by comparing the initial sample mass minus the final cumulative mass of the individual particles measured. Count the number of particles and the cumulative mass of particles falling into the mass ranges of concern as testing proceeds and mark the individual pieces as to mass group. For individual pieces larger than hoist load-cell capacity, determine the mass by using large platform or truck scales.

9.4.3 If required, perform secondary sorts and counts of the number of pieces, the number of pieces exhibiting angularity (number of fractured faces), and the number of slab-like shapes.

9.4.4 Take photographs to document shape, color, and any unusual or unique properties of the material under test and include in the report.

9.4.5 Calculate the percentages in accordance with Section 10 for Test Method C.

10. Calculation

10.1 Calculation needs for Test Methods B and C depend on the performance requirements specified for a particular project


D 5519

need. Requirements may be expressed in terms of percentage passing or retained for range of mass or size, or both. Test Method B determines the number of particles by size while Test Method C is by mass.

10.2 Test Method A—Size-Mass Percentage Grading:

10.2.1 Determine the mass of each separate sieve size and the cumulative total mass, including the fines, of the test sample.

10.2.2 Calculate the percentage, P_r , retained on each sieve size by the following equation:

$$P_r = I/T \times 100 \quad (1)$$

where:

I = total mass of the material retained on a specific sieve size, and

T = total mass of the sample tested.

10.2.3 Calculate the percentage passing for each sieve size by subtracting the percentage retained from 100 for the largest sieve size, and then subtracting from that each successive sieve size. Plot the results on a graph showing the percentage of mass retained for each sieve size.

10.3 Test Method B—Size-Range Grading:

10.3.1 Determine the number of particles retained on each separate sieve and the total number of particles retained in accordance with 9.3.

10.3.2 Calculate the percentage, P_s , retained on each sieve by the following equation:

$$P_s = N/T_n \times 100 \quad (2)$$

where:

N = number of particles within a size range (passing a specific sieve and retained on a specific sieve), and

T_n = total number of particles.

10.3.3 Calculate the percentage passing for each sieve size by subtracting the percentage retained from 100 for the largest sieve size, and then subtracting that from each successive sieve size. Plot results on a graph showing the percentages retained or passing for each size range.

10.4 Test Method C—Mass-Range Grading:

10.4.1 Determine the number of particles in each mass range and the total mass, including the fines, of the test specimen in accordance with 9.4.

10.4.2 Calculate the percentage of each mass range, P_m , by the following equation:

$$P_m = M/M_t \times 100 \quad (3)$$

where:

M = number of particles within a mass range, and

M_t = total number of particles.

10.4.3 Calculate the percentages for each size range by subtracting the percentage from 100 for the largest range, and then subtracting that from each successive percentage. Plot the results on a graph showing the percentages for each mass range.

11. Report

11.1 Prepare a report including the following for each test performed:

11.1.1 Date test was performed,

11.1.2 Sample identification, source, and source location, including when appropriate, the elevation and coordinates of the sample source,

11.1.3 Test location at which the test was performed,

11.1.4 Location, capacity, accuracy, and last calibration of the scales used to determine the mass,

11.1.5 A copy of the sampling plan used to obtain the test sample, including the calculations of the required sample size, and assumed specific gravities,

11.1.6 Narrative of the actual method for performing the test,

11.1.7 Results of the test, including the specification acceptance limits (if provided), particle counts with accompanying masses or sizes determined, or both. Report cumulative masses or numbers of particles retained on or passing the size or mass ranges of concern. Report any other information obtained, such as the average piece mass on each sieve and the number of pieces retained on each sieve (Test Method A), mass of material not measured (Test Method C). Indicate any values that were determined by calculation,

11.1.8 A graph of the results. When project specifications have been provided, the specification ranges should also be plotted on the graph. Fig. 3 provides an example of a typical graph used for reporting results,

11.1.9 Report the largest particle mass or size encountered, the initial mass of the sample, and the resulting estimated accuracy of the sample representativeness (see 8.2).

11.1.10 Other test information obtained during the test, such as the number of slab pieces per sieve size, angularity, and the like,

11.1.11 Names of the individuals performing the test,

11.1.12 Any other test samples taken and the purpose, such as freeze-thaw, durability, hardness, and the like,

11.1.13 Specifications provided, including the sieve sizes, acceptance percentages, or other acceptance criteria,

11.1.14 Photographs or other illustrative information that may be relevant in evaluating the materials under test, and

11.1.15 Calibration data and frequency on the test sieves, templates, or calipers.

12. Precision and Bias

12.1 The precision of this test method has not been determined. Limited data are being evaluated to determine the precision of this test method. Subcommittee D18.17 is seeking pertinent data from users of this test method.

12.2 The procedure defined in this test method has no bias because the values of riprap particle size can be defined only in terms of a test method.

12.3 Variation in the results of this test method is a consequence of the variation in the materials sampled and tested and variation in the application of the test method.

13. Keywords

13.1 armor stone; filter bedding stone; filter material; gradation; riprap; slab

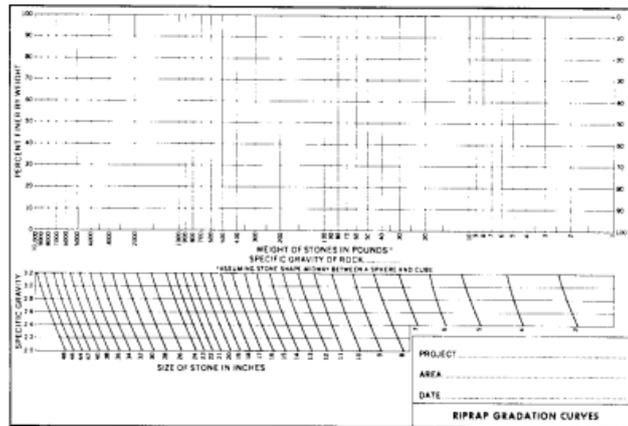


FIG. 3 Typical Grading Graph

The ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO B: Norma ASTM D5030.

Método de prueba estándar para
Densidad de suelos y rocas en el lugar por el agua de reemplazo
Método en un pozo de prueba

1. **Ámbito de aplicación**

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad "in situ" y peso unitario de agua del suelo y roca utilizando para llenar un pozo de sondeo alineados para determinar el volumen del pozo de sondeo. El uso de la palabra "piedra" en este método de prueba se utiliza para implicar que el material que está siendo probado típicamente contienen partículas de tamaño superior 3 pulgadas (75 mm).

1.2 Este método de ensayo es el más adecuado para pozos de sondeo con un volumen aproximadamente entre 3 y 100 ft³ (0,08 y 2,83 m³). En general, los materiales ensayados se han máximo de las partículas los tamaños de más de 5 pulgadas (125 mm). Este método de ensayo puede ser utilizado para excavaciones más grandes de tamaño si se desea.

1.2.1 Este procedimiento se realiza generalmente mediante plantillas circulares de metal con un diámetro interior de 3 pies (0,9 m) o más.

Otras formas o materiales pueden ser utilizados siempre y cuando cumplan los requisitos de este método de prueba y las directrices que figuran en Anexo A1 para el volumen mínimo del pozo de sondeo.

1.2.2 Método de Prueba D 4914 puede ser utilizado como un método alternativo. Su uso, sin embargo, por lo general sólo es práctico para determinación de volúmenes de los pozos de sondeo entre aproximadamente 1 y 6 ft³ (0,03 y 0,17 m³).

1.2.3 Método de Prueba D 1556 o D 2167 es por lo general se utiliza para determinar el volumen de agujeros de prueba menores a 1 ft³ (0,03 m³).

1.3 Los dos procedimientos se describen de la siguiente manera:

1.3.1 Procedimiento A Densidad "in situ" y peso unitario de Total del material (Sección 10).

1.3.2 Procedimiento B Densidad "in situ" y peso unitario de Control de la fracción (Sección 11).

1.4 Selección del Procedimiento:

1.4.1 El procedimiento A se utiliza cuando el peso unitario "in situ" de material total se determina. Procedimiento A también se puede utilizar para determinar la densidad de compactación por ciento por ciento con respecto cuando el máximo de las partículas presentes en el tamaño en el lugar material que está siendo ensayado no supera el máximo de las partículas tamaño permitido en la prueba de compactación de laboratorio (métodos de ensayo D 698, D 1557, D 4253, D 4254, D 4564). Para los métodos de prueba D 698 y D 1557 solamente, la unidad de peso determinado en el prueba de laboratorio de compactación puede ser corregida por las partículas más grandes tamaños de acuerdo con, y sujeto a las limitaciones de, Práctica D 4718.

1.4.2 El procedimiento B se utiliza cuando el porcentaje de compactación o el porcentaje de la densidad relativa se determina y los materiales "in situ" contiene

partículas más grande que el máximo de las partículas tamaño permitido en la prueba de compactación de laboratorio o cuando la práctica D 4718 no es aplicable para el ensayo de compactación de laboratorio.

Luego el material se considera que consta de dos fracciones, o porciones. El material de la prueba del peso unitario "in situ" es dividido físicamente en una fracción de control y una fracción de sobre-tamaño basada en un tamaño de tamiz designado. El peso unitario de la fracción de control se calcula y se compara con el peso unitario(s) establecido por el ensayo de compactación de laboratorio (s).

1.4.2.1 Debido a los posibles densidades inferiores creadas cuando hay interferencia de partículas (véase la Práctica D 4718), el porcentaje compactación de la fracción de control no se debe asumir que representa al porcentaje de compactación del total del material en el campo.

1.4.3 Normalmente, la fracción de control es el material de tamaño menor que el tamiz N°4 para los materiales cohesivos o no libre de drenaje y los materiales de tamaño menor a 3" menos cohesivos, materiales de drenaje libre. Mientras que otros tamaños se utilizan para la fracción de control (3/8, 3/4-in.), Este método de ensayo ha sido preparado con sólo el N° 4 y la 3". tamiz de tamaños para mayor claridad.

1.5 Cualquier material puede ser ensayado, siempre que el material que se está siendo ensayado tenga suficiente cohesión o la atracción de las partículas para mantener los lados estable durante la excavación del pozo de sondeo y por medio de realización de esta prueba. También debe ser suficiente firme para no deformar o mudar debido a las presiones ejercidas menores en la excavación el agujero y rellenar con agua.

1.5.1 Una evaluación muy cuidadosa se debe hacer en cuanto a si o no al volumen determinado es representativo de la condición "in situ" cuando este método de ensayo se utiliza para la limpieza, relativamente partículas de tamaño uniforme de 3 pulgadas (75 mm) y más grande. La alteración durante la excavación, debido a la falta de cohesión, y espacios vacíos entre las partículas se extendió por el forro puede afectar a la medición del volumen del pozo de sondeo.

1.6 Este método de ensayo se limita generalmente a los materiales en una condición insaturados y no se recomienda para los materiales que son blandos ni friables (se desmoronan fácilmente) o en condición húmeda tales que se filtra el agua en el agujero excavado. La exactitud de la prueba puede verse afectada por los materiales que se deforman fácilmente o que puedan sufrir una variación en el volumen de la excavación orificio de pie o caminando cerca del agujero durante el ensayo.

2. 1.7 Los valores indicados en unidades pulgada-libra deben ser considerados como el estándar. Los valores entre paréntesis son para informativo.

1.7.1 En la profesión de ingeniero, es una práctica habitual utilizar, indistintamente, las unidades que representan la masa y la fuerza, menos que los cálculos dinámicos ($F = ma$) están involucrados. Esto implícitamente combina dos sistemas separados de las unidades, es decir, el sistema absoluto y el sistema gravimétrico. Está científicamente indeseables para combinar el uso de dos sistemas separados

ANEXO C: Procedimiento del panel test reemplazo por agua.

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

INDICE

- 1.-OBJETIVOS
- 2.-ALCANCE
- 3.-DEFINICIÓN Y ABREVIATURAS
- 4.-RESPONSABILIDADES
- 5.-DESARROLLO
- 6.-REGISTROS
- 7.-REFERENCIAS
- 8.-ANEXOS

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

1. OBJETIVO

El objetivo de este procedimiento es describir las condiciones mínimas de Seguridad y Calidad para establecer el método de ensayo para determinar la densidad in situ del suelo y la roca mediante el reemplazo de agua.

Establecer los lineamientos y actividades a seguir basados en la Norma ASTM D5030 según la frecuencia indicada en las especificaciones técnicas del proyecto y considerando los estándares de seguridad que se empleará en el proyecto: Servicio de Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja (Fase 3).

2. ALCANCE

El presente procedimiento aplica para todos los ensayos de reemplazo de agua que se realice en campo por el técnico de suelos, según las especificaciones técnicas y frecuencia requerida del proyecto.

Este método de prueba es para materiales mayores de 3" (75 mm) y cubre la determinación del peso, volumen y densidad en sitio del suelo y la roca usando agua para llenar un hoyo de prueba, que se sustenta en la Norma ASTM D5030, que será utilizado en el Proyecto "Servicio de Recrecimiento del Espaldón de la Presa de Relaves Huachuacaja (Fase 3)".

3. DEFINICIÓN Y ABREVIATURAS

- **Suelo:** Es el sustrato físico sobre el que se fundan las obras de ingeniería, nos importan sus propiedades físico-químicas y especialmente sus propiedades mecánicas.
- **ASTM:** American Society For Testing Materials
- **Peso:** medida de la masa
- **Volumen:** espacio ocupado por una masa
- **Densidad:** se expresa como la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo
- **Plantilla:** dispositivo de interfaz, suele proporcionar una separación entre la forma o estructura y el contenido. Es un medio o aparato que permite guiar, a un esquema predefinido.
- **Equipo de Laboratorio de Suelos:** son todos los equipos de laboratorio de suelos, los cuales tienen que estar en perfectas condiciones de operatividad y contar con sus correspondientes certificados de calidad y calibración.

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

4. RESPONSABILIDADES

- **Gerente de Proyecto/Residente de Obra:** Hacer cumplir y difundir el presente procedimiento al personal.
- **Ingeniero de Calidad:** Inspeccionar y verificar el cumplimiento de este procedimiento según las normas y especificaciones técnicas que rigen en este proyecto.
- **Jefe SSOMA/Supervisor SSOMA:** Revisar y controlar los aspectos de seguridad y medio ambiente que involucra este procedimiento. Verificar y mitigar los riesgos en el terreno.
- **Supervisor de Construcción:** Hacer cumplir, difundir y dirigir la obra en base al presente procedimiento en el lugar de trabajo.
- **Técnico de suelos:** cumplir con este procedimiento según las normas y especificaciones técnicas que rigen en este proyecto.
- **Ayudantes:** Realizar las actividades de acuerdo a este procedimiento.

5. DESARROLLO

5.1. Revisión de equipos

El ingeniero de calidad y el técnico de suelos asignado para el proyecto, revisarán los equipos antes de realizar el ensayo de reemplazo de agua, verificaciones que serán controladas por el Supervisor QA.

5.2. Descripción del ensayo

Una vez que se ha verificado los certificados de calidad y calibración de los equipos que se emplearán para reemplazo de agua, se procederá a realizar lo siguiente:

5.2.1. Procedimiento

- Se preparará una superficie del suelo en el área donde se realizará el ensayo del material tipo 4 con un espesor de capa de 700 mm, que se construirá en dos capas de espesores de 35cm, o en una sola capa de 500mm, se colocará la plantilla de anillo metálico y se fija en la posición para el ensayo.

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

Asegurar firmemente el anillo metálico al suelo para evitar el movimiento de este mientras se realiza el ensayo. El uso de cinceles, punta, pesos u otros elementos puede ser necesario para fijar la posición del anillo. Compruebe la nivelación del anillo metálico en varios lugares de la zona de prueba. Verificando que la guía de la regla de referencia de nivel de agua esté razonablemente por debajo de la parte superior del anillo metálico quede exactamente en un nivel horizontal, no obstante, la pendiente del anillo metálico no debe exceder de 5% o lo permitido por este.

- Una membrana de revestimiento de 0.1 mm a 0.15mm (100 a 150 micras) está previsto para ser colocado entre el área seleccionada y el indicador de referencia de nivel de agua con el cual se determinará el volumen del espacio entre un nivel seleccionado dentro del marco del anillo sobre el suelo a excavar.
- Se usarán cilindros, baldes y una balanza y así posteriormente llenar al hoyo con los baldes una vez pesada el agua.
- Se retira la membrana de revestimiento y se procede a excavar con el uso de herramientas manuales (picos, palas, barretas) el material dentro de los límites del marco, formando un hoyo se registra el peso del material extraído del hoyo de prueba.
- No permitir el movimiento de equipos pesados en la zona de prueba, porque puede ocurrir la deformación del material en el hoyo de prueba.
- Coloque el material extraído del pozo de prueba en un recipiente adecuado, pesar y anotar cuantas veces sea necesario hasta el término de la extracción del material del pozo de prueba teniendo cuidado para evitar la pérdida de cualquier material.
- Corte cuidadosamente los lados de la excavación para que las dimensiones del hoyo de prueba entre el suelo-marco estén tan cerca como sea posible a las dimensiones del hoyo de prueba. No alterar la posición del marco en la excavación del hoyo.
- Se coloca la membrana de revestimiento de 0.1mm o 0.15mm (100 a 150 micras) en el hoyo de prueba dentro del marco, se vierte agua en el hoyo de prueba con el indicador de referencia de nivel de agua seleccionado

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

anteriormente, se registra el volumen de agua dentro del hoyo, posteriormente se determina el volumen del hoyo de prueba.

- Una vez realizada la prueba del reemplazo de agua se llenarán las muestras de menores de 3" en sacos para sus respectivos ensayos.
- Se calcula la densidad húmeda, entre el material extraído y el volumen neto del hoyo de prueba. El contenido de humedad es determinado y se calcula la densidad seca del ensayo.

5.2.2. Cálculos de la densidad

- Calcule datos de campo de: Agua para llenar la Calicata (2-1) como sigue:

$$M1=(1) - (2)$$

Donde:

- (1): Cantidad de agua utilizada para llenar el Anillo (cm3).
- (2): Cantidad de agua utilizada para llenar el Anillo + Calicata (cm3).
- (3): M1= Cantidad de agua para llenar la Calicata (cm3).
- (4): Peso Total del material húmedo extraído de Calicata (g).

- Del cálculo del Formato N° EH-CQC-LAB-F02, del cálculo de contenido de Humedad Global se tiene:

$$(6): \text{Contenido de Humedad Global} = \text{Ensayo ASTM D2216}$$

- Cálculo de Densidad Húmeda:

$$\text{Densidad Húmeda} = (4) / (7) \dots (\text{g/cm}^3)$$

- (7): Volumen de la calicata (cm3), sabiendo que es igual al punto (3).
- (8): Densidad Húmeda

- Cálculo de la Densidad Seca:

$$\text{Densidad Seca} = (8 / (1+6/100)) \dots (\text{g/cm}^3)$$

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

Donde:

(8): Densidad Húmeda en gr/cm³ del material retirado del hoyo de prueba.

(6) Contenido de humedad del material retirado del hoyo de prueba (%)

Nota: El contenido de humedad puede ser determinado en forma referencial en terreno tomando como referencia el óptimo contenido de humedad del Panel Test correspondiente, sin embargo es necesario realizar el secado en horno de la muestra para obtener el valor real de la humedad y calcular el porcentaje de compactación definitivo a reportar.

5.3. Recursos

5.3.1 Mano de Obra

- Técnico de laboratorio
- Ayudantes

5.3.2 Equipo/Herramientas

- Anillo de acero diámetro 1.80 m, para servir como patrón para la excavación, regla con el indicador de nivel de agua.
- Plástico transparente doble ancho de 100 a 150 micras de espesor.
- Baldes de capacidad de 20 litros.
- Cilindros de 55 galones para almacenamiento de agua
- Nivel de mano
- Envases, recipientes, bolsas de polietileno u otros recipientes adecuados para contener las muestras.
- Conos de seguridad
- Herramientas y accesorios: barretas, palas, combas, huinchas de medir, libreta de apuntes y/o fichas de registro de datos.
- Hoja de reporte

5.3.3 Materiales

- Material de relleno tipo 4

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

5.4. Seguridad y Medio Ambiente

- Todo personal deberá portar el fotocheck que acredita haber recibido los cursos de inducción de Seguridad correspondiente.
- Todo personal que tendrá contacto con el material de relleno, deberá contar con el EPP adecuado, como ropa de trabajo, mascarilla, guantes de nitrilo o jebe, zapatos de seguridad y lentes de seguridad.
- De acuerdo al Plan de Prevención de Riesgos y Gestión Ambiental específico para el proyecto se realizarán charlas de 5 minutos, charlas de sensibilización y/o específicas e inspecciones planificadas, de acuerdo al esquema de programación de actividades de la obra.
- Señalización en el campo.
- Señalización en el laboratorio, debe estar identificado las zonas de riesgo eléctrico, altas temperaturas, zonas calientes, así como el voltaje en los interruptores y tomacorrientes, rutas de escape y ubicación de extintores.
- Uso del horno eléctrico, el cual será usado solo por el personal autorizado para tal fin con los equipos de protección adecuados.
- Se deberá contar con el kit de primeros auxilios en el área de trabajo.

5.5. Protección ambiental

- Efectuar una inspección al entorno de la zona de trabajo, a fin de establecer las medidas de control para minimizar el efecto del ruido, desechos, etc, que se produzcan durante la realización del trabajo.
- Colocación de cilindros para almacenamiento de cada tipo de residuos, según el código de colores y clasificación de residuos del cliente.
- Colocación de baños portátiles y su limpieza programada para las diferentes áreas de trabajo.
- Esparcir agua con cierta frecuencia, en las zonas donde se genere polvo.
- Al término de las actividades se debe realizar la limpieza general de la zona de trabajo; incluyendo la desinstalación de todo ambiente y/o estructura temporal habilitada, asimismo se deberá eliminar todo suelo contaminado si fuese el caso.

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

6. REGISTROS

Identificación del registro		Conservación del registro			
Código	Nombre	Responsable	Criterio de ordenamiento	Lugar	Tiempo
EH-CQC-LAB-F03 Rev.0	Ensayo de densidad IN SITU método de reemplazo por agua	Ingeniero de Calidad	Correlativo/fecha	Obra	Según avance

7. REFERENCIAS

- ASTM D5030; ASTM D2216

8. ANEXOS

- Formato de Densidad In Situ Método de reemplazo reemplazo por agua ASTM D5030.

CLIENTE:	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL		
PROYECTO:	SERVICIO DE RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN DE LA PRESA DE RELAVES HUACHUACAJA (Fase 3)		
	PROCEDIMIENTO DE DENSIDAD IN SITU POR EL MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA ASTM D5030		
	CÓDIGO:	EH-CQC-PROC-03	REV: 0

	ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU (MÉTODO DE REEMPLAZO POR AGUA)		EH-CQC-LAB-F02 Rev. 0
	ASTM D 5030		Fecha: 10/09/19 Pág. 01 de 01
SERVICIO DE LABORATORIO			
Proyecto :			
Reg. Laboratorio :	Cliente :		
Fecha Muestreo :	Orden de Compra :		
Fecha Ensayo :	Material :		
Procedencia :			
Ensayado Por :	Aprobado Ing. CQC :		
DATOS DEL ENSAYO			
Ubicación del ensayo:			
N° Capa:			
Cota Superior Compactada (mm):			
Diámetro del Anillo (m):			
Profundidad de la Prueba (m):			
Equipos para conformación del Material:			
N° de pasadas (ciclos) de Rodillo de 10 t:			
DATOS DE CAMPO DEL ENSAYO			
	Unidad	Valor	
1 Cantidad de agua utilizada para llenar el Anillo	cm ³		
2 Cantidad de agua utilizada para llenar el Anillo + Calicata	cm ³		
3 Cantidad de agua para llenar la Calicata (2 - 1)	cm ³		
4 Peso total del material húmedo extraído de Calicata	g		
CONTENIDO DE HUMEDAD GLOBAL (CHG)			
5 N° registro donde se calculó el CHG			
6 Contenido de Humedad Global	%		
CALCULOS			
7 Volumen de Calicata (3)	cm ³		
8 Densidad húmeda (4 / 7)	g/cm ³		
9 Densidad seca (8 / (1 + 6/100)	g/cm ³		
10 Densidad seca de diseño	g/cm ³		
APROBACION (SI / NO)			
OBSERVACIONES :			

TECNICO DEL LABORATORIO EH	INGENIERO DE CALIDAD EH	TEC. LABORATORIO OGA GOLDER	SUPERVISOR OGA GOLDER
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

ANEXO 4: Frecuencia de rellenos y controles.

 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA - RELLENOS			
Tabla 1: Requerimientos Mínimos para Ensayos de Control de Calidad			
Material	Norma	Ensayo	Frecuencia
Material 1- Relleno de Presa y Apoyo de Geomembrana	ASTM D2216	Contenido de Humedad	1 ensayo/1,000 m ³
	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/3,000 m ³
	ASTM D4318	Límites de Atterberg	1 ensayo/3000 m ³
	ASTM D2922 y D3017	Densidades in situ mediante densímetro Nuclear. Ver Nota 1	2 ensayos por capa ó 1 ensayo cada 300 m ³
	ASTM D698	Densidad Proctor Estándar	1 ensayo/3,000 m ³
	ASTM D5084	Permeabilidad	1 ensayo/15,000 m ³
		Espesor de capa	medido continuamente
		Número de pasadas de la compactadora	medido continuamente
Material 2 – Enrocado Fino		Elevación de la capa compactada	medido continuamente
	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/5,000 m ³
	ASTM C131	Abrasión Los Ángeles	1 ensayo/5,000 m ³
	ASTM C88	Durabilidad	1 ensayo/5,000 m ³
	ASTM D 5030	Densidad in-situ por reemplazo de agua	1 ensayo/15,000 m ³
		Espesor de capa	medido continuamente
		Número de pasadas de la compactadora	medido continuamente
Material 3 – Enrocado Grueso		Elevación de la capa compactada	medido continuamente
	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/10,000 m ³
	ASTM C131	Abrasión Los Ángeles	1 ensayo/10,000 m ³
	ASTM C88	Durabilidad	1 ensayo/10,000 m ³
	ASTM D 5030	Densidad in-situ por reemplazo de agua	1 ensayo/20,000 m ³
		Espesor de capa	medido continuamente
		Número de pasadas de la compactadora	medido continuamente
Material 3A – Bolonería - Bloques		Elevación de la capa compactada	medido continuamente
	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/10,000 m ³
	ASTM C131	Abrasión Los Ángeles	1 ensayo/10,000 m ³
	ASTM C88	Durabilidad	1 ensayo/10,000 m ³
Material 4, 4A – Desmonte de Mina		Espesor de capa	medido continuamente
	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/9,000 m ³
	ASTM D 5030	Densidad in-situ por reemplazo de agua	1 ensayo/18,000 m ³
	-	Permeabilidad pared rígida	1 ensayo/40,000 m ³



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA - RELLENOS

Material	Norma	Ensayo	Frecuencia
	ASTM D2216	Contenido de Humedad	1 ensayo/9,000 m ³
		Espesor de capa	medido continuamente
		Número de pasadas de la compactadora	medido continuamente
		Elevación de la capa compactada	medido continuamente
Material 5,6,7 – Carpeta de Rodadura, Relleno estructural, Material Random	ASTM D2216	Contenido de Humedad	1 ensayo/200 m ³
	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/500 m ³
	ASTM D4318	Límites de Atterberg	1 ensayo/500 m ³
	ASTM D2922 y D3017	Densidades in situ mediante densímetro Nuclear. Ver Nota 1	1 ensayo/200 m ³
	ASTM D698	Proctor	1 ensayo/600 m ³
		Espesor de capa	medido continuamente
		Número de pasadas de la compactadora	medido continuamente
Material 8 – Material de Filtro	ASTM D2216	Contenido de Humedad	1 ensayo/200 m ³
	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/500 m ³
	ASTM D4318	Límites de Atterberg	1 ensayo/500 m ³
	ASTM D2922 y D3017	Densidades in situ mediante densímetro Nuclear. Ver Nota 1	1 ensayo/200 m ³
		Espesor de capa	medido continuamente
		Número de pasadas de la compactadora	medido continuamente
		Elevación de la capa compactada	medido continuamente
Material 9 – Material de Dren	ASTM D422	Granulometría	1 ensayo/500 m ³
		Espesor de capa	medido continuamente
		Número de pasadas de la compactadora	medido continuamente
		Elevación de la capa compactada	medido continuamente

Nota 1. El **Ingeniero** decidirá el uso del densímetro nuclear o el ensayo de cono de arena para determinar la densidad de la capa compactada.

ANEXO 5: Panel fotográfico.



Fotografía 01: Levantamiento Topográfico Inicial de la presa Huachuacaja.



Fotografía 02: Protección Inicial de los Piezómetros Existentes de la presa Huachuacaja de ubicación referencial.



Fotografía 03: Carguío de Material Residuo Sólido de Mina en Botadero de Tajo Abierto. Sector Candy



Fotografía 04: Carguío de Material Residuo Sólido de Mina en Botadero de Tajo Abierto. Sector Pasamayo



Fotografía 05: **Procesamiento de Material para la obtención de Material M-1, M-4 y Over.**



Fotografía 06: **Limpieza y Desbroce de Material Top Soil en Estribo Derecho.**



Fotografía 07: **Perfilado de Talud de la Presa y recuperación de Material Tipo 4**



Fotografía 08: **Perfilado y Limpieza de Sub Rasante Cota 4 196.90 m. s. n. m.**



Fotografía 09: Conformación y Compactación de material tipo 4, de la Capa 01 al 08 con Material Procedente de Material de Acopio Rampa Candy y Pasamayo + Material Recuperado de perfilado de talud existente y Control Topográfico.



Fotografía 10: Elaboración del Panel Test 01 espesor de 0.70 m. – Ensayo de Densidad In Situ Método de Reemplazo por Agua ASTM D5030.



Fotografía 11: **Extracción y Carguío de Material de Préstamo. Sector Cantera Vanesa.**



Fotografía 12: **Preparación del Material Tipo 4 (Blending) : 50% de Material de Talud recuperado + 50% de Material Grueso procesado en zaranda.**



Fotografía 13: **Obtención del Material Tipo 4 (Blending): 60% Material Préstamo + 40% de Material Grueso procesado en zaranda + 5 % de Over.**



Fotografía 14: **Trazo para limpieza y desbroce para la Fundación del Estribo Izquierdo .**



Fotografía 15: Ensayo de Densidad In Situ método de Reemplazo por Agua, Análisis Granulométrico y Contenido de Humedad en plataforma capa 02, 17 y 25.



Fotografía 16: Corte de material no competente para la fundación en la sub rasante cota 4 213,50 m. s. n. m.



Fotografía 17: Engrape en el Talud Existente para la conformación de capas de relleno con material tipo 4.



Fotografía 18: Conformación y Compactación de capas con material de relleno tipo 4 proveniente de la combinación (Blending) Material Préstamo 60% + Residuo Sólido 40% + Over 5% en las capas 9 al 39.



Fotografía 19: Excavación y Eliminación de material arcilloso no competente para la Fundación estribo izquierdo.



Fotografía 20: Mejoramiento de la Fundación con Enrocado en la sub rasante cota 4 213,50 m. s. n. m. estribo izquierdo progresiva 0+100 a 0+190.



Fotografía 21: **Perfilado, nivelación y compactado del Talud Conformado hasta la cota 4 217.0 m. s. n. m.**



Fotografía 22: **Excavación para conformación del Sub Dren en el Estribo Izquierdo Prog 0+128.03 a 0+145.29**



Fotografía 22: Excavación de Zanja del Sub Dren, para la conformación y compactación de capas de relleno con material de baja permeabilidad..



Fotografía 23: Ensayo de Densidad In Situ por método de Cono de Arena para relleno de material de baja permeabilidad al 98% de compactación.



Fotografía 24: Colocación de Material tipo Filtro y Geotextil no Tejido para sub dren Longitud de 32.77m, se observa empalme a 02 sub dren existentes.



Fotografía 25: Colocación de letreros de Piezómetros existentes georeferenciados topográficamente y colocación de progresivas en hombre de talud de presa cota 4 217.00 m. s. n. m.



Fotografía 26: Colocación de letreros de los Piezómetros y Celdas existentes, georeferenciados topográficamente.
Colocación de progresivas en hombro de talud de presa cota 4 217.00 m. s. n. m.



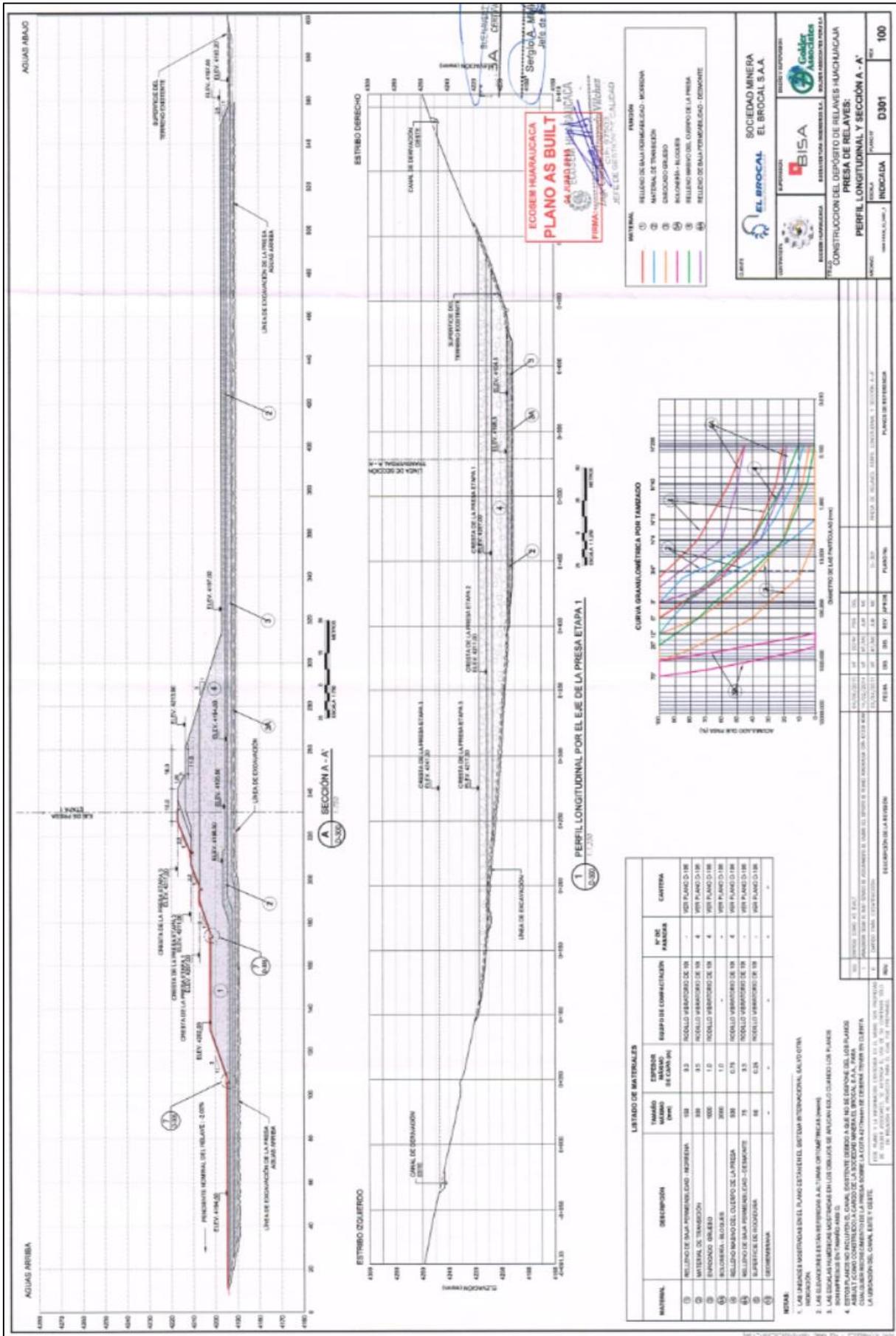
Fotografía 27: Ensayo de Densidad In Situ método por reemplazo por Agua Capa 39 estribo izquierdo prog. 0+109 cota 4 217.00 m. s. n. m.



Fotografía 28: Conformación de acceso vehicular a la cresta de la presa con señalización y berma de seguridad. Asimismo, se conformó canal de coronación a pie de talud para escurrimiento del sub dren proyectado.



Fotografía 29: Recrecimiento de Espaldón de Presa Huachuacaja a la cota 4 217.00 m. s. n. m.



ECOBEN HUAYUCACA
PLANO AS BUILT
 SERGIO A. VILABAR
 JEFE DE GERENCIA CALIDAD

PROYECTO: CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES HUAYUCACA
RESERVA DE RELAVES
PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIÓN A - A'

CLIENTE: SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

PROYECTISTA: BISA

REVISOR: SERGIO A. VILABAR

FECHA: 03/03/2015

ESCALA: 1:500

HOJA: D391

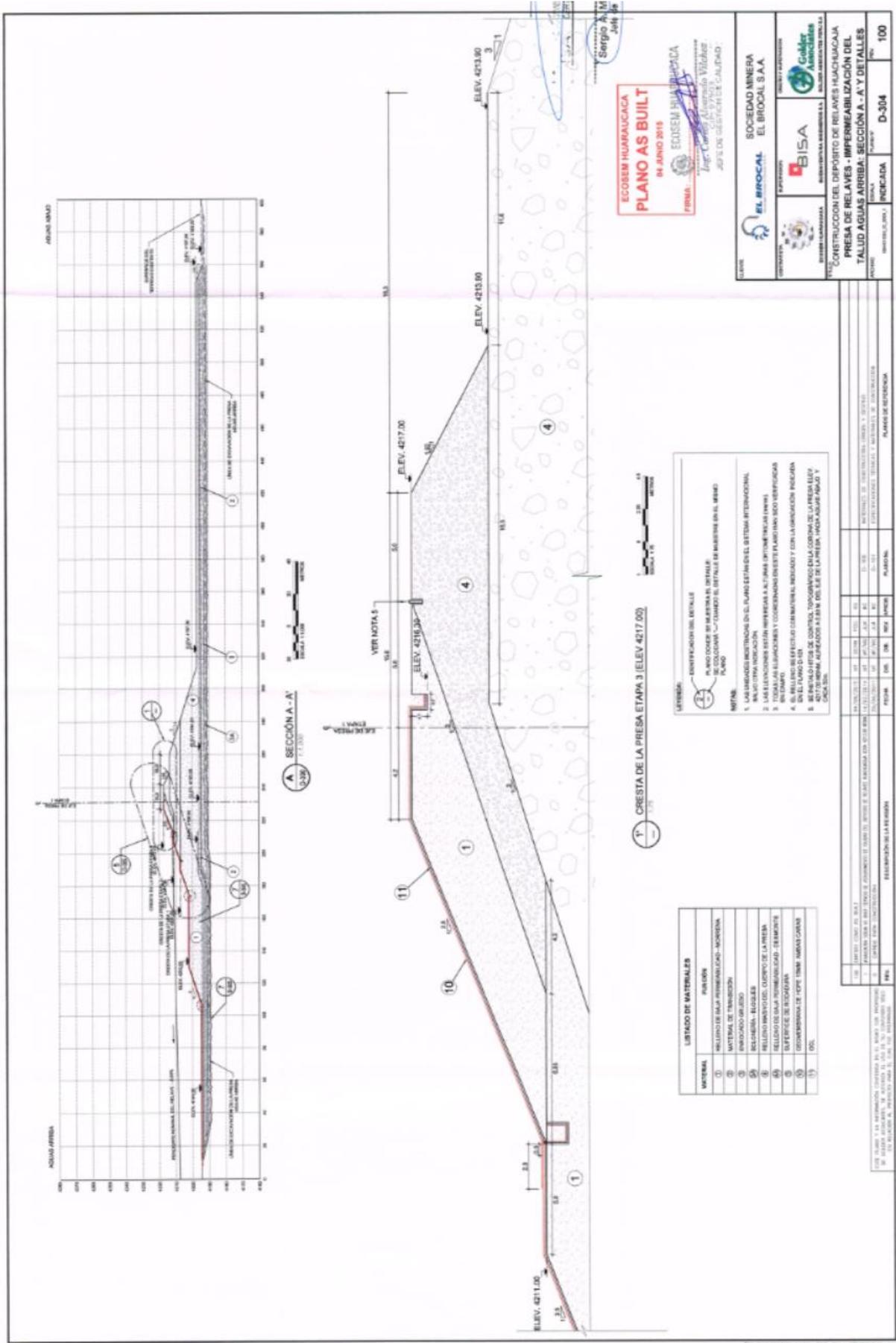
TOTAL: 100

LISTADO DE MATERIALES

MATERIAL	DESCRIPCION	TAMAYO MEDIO DE CADA UNO	ESPESOR DE COMPACTACION	M ³ M PLANCHA	CANTIDAD
1	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
2	MATERIA DE TRANSFERENCIA	100	10	100	100
3	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
4	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
5	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
6	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
7	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
8	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
9	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100
10	RELLENO DE BALA FORMEALIDAD - MORSINA	100	10	100	100

- NOTAS:**
1. LAS LINDAS SUJETADAS EN EL PLANO SON DEL SISTEMA ESTACIONAL, SALVO CERRA.
 2. LAS ELAVACIONES SE HAN REFERENCIADO A ALTURA ORTOMETRICA (PMS).
 3. LAS LINDAS SE HAN REFERENCIADO EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.
 4. SE HAN HECHO LAS NECESARIAS CORRECCIONES EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.
 5. SE HAN HECHO LAS NECESARIAS CORRECCIONES EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.
 6. SE HAN HECHO LAS NECESARIAS CORRECCIONES EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.
 7. SE HAN HECHO LAS NECESARIAS CORRECCIONES EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.
 8. SE HAN HECHO LAS NECESARIAS CORRECCIONES EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.
 9. SE HAN HECHO LAS NECESARIAS CORRECCIONES EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.
 10. SE HAN HECHO LAS NECESARIAS CORRECCIONES EN LOS ORIJENES DE PUNTO DE VENCION DEL CERRA Y LOS PLANOS.

FECHA	DESIGNACION DEL DISEÑO	PLANOS DE REFERENCIA
03/03/2015	01	01
03/03/2015	02	02
03/03/2015	03	03
03/03/2015	04	04
03/03/2015	05	05
03/03/2015	06	06
03/03/2015	07	07
03/03/2015	08	08
03/03/2015	09	09
03/03/2015	10	10



ECOSEM HUARAUACA
 04 JUNIO 2019
PLANO AS BUILT

ECOSEM HUARAUACA
 Ing. Carlos Alvarado Valdez
 JEFE DE OFICINA DE CALIDAD

Sergio A. M.
 Jefe de Obra

EL BROCAL
 SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.
 INGENIERIA DE PROYECTO

BISA
 INGENIERIA DE PROYECTO

Gubler Asociados
 INGENIERIA DE PROYECTO

SUBSECTOR MINA
 MINISTERIO DE ENERGIA Y PETROLEO

CONSTRUCCION DEL DEPÓSITO DE RELAVES HUARAUACA
 PRESA DE RELAVES - IMPERMEABILIZACIÓN DEL TALUD AGUAS ARRIBA- SECCIÓN A - A' Y DETALLES

PLAN NO. D-304
 ESCALA 1:100

EXPLICACION DE LOS DETALLES

PLANOS DE MATERIALES, DETALLE DE COLOCACION Y DETALLE DE MUESTRA EN EL TERRENO.

NOTAS:

1. LAS DIMENSIONES MOSTRADAS EN EL PLANO SON EN EL SISTEMA INTERNACIONAL.
2. LAS ELEVACIONES SE SON REFERIDAS AL DATUM DE MAREAS MUNDIALES.
3. TODAS LAS DIMENSIONES Y COORDENADAS EN ESTE PLANO SON EN METROS.
4. EL MALLADO DE REJILLA DE ALAMBRE DE ACERO Y DE LA OBRERA DE CEMENTO EN EL PLANO DE OBRERA.
5. SE PREVENIÓ EL SECCIONADO DE LA CORONA DE LA PRESA DE OBRERA EN EL PLANO DE OBRERA EN LOS PUNTOS DE INTERSECCION DE LA OBRERA DE CEMENTO Y DE LA OBRERA DE ALAMBRE DE ACERO.

LISTADO DE MATERIALES

MATERIAL	UNIDAD	PROYECTO
1	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA
2	METRO CUBICO	MATERIAL DE TRANSICION
3	METRO CUBICO	ARGILLA SUAVE
4	METRO CUBICO	MATERIAL DE TRANSICION
5	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA
6	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA
7	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA
8	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA
9	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA
10	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA
11	METRO CUBICO	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA

RESUMEN DE LA OBRA

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	MATERIAL DE TRANSICION	M3	10.00	10.00	10.00
2	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
3	ARGILLA SUAVE	M3	10.00	10.00	10.00
4	MATERIAL DE TRANSICION	M3	10.00	10.00	10.00
5	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
6	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
7	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
8	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
9	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
10	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
11	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00

VERIFICACION DE MATERIALES

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	MATERIAL DE TRANSICION	M3	10.00	10.00	10.00
2	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
3	ARGILLA SUAVE	M3	10.00	10.00	10.00
4	MATERIAL DE TRANSICION	M3	10.00	10.00	10.00
5	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
6	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
7	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
8	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
9	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
10	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00
11	CONCRETO DE CALIDAD MEDIANA	M3	10.00	10.00	10.00