

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
E.A.P. de Ingeniería Industrial



**Determinación de características Físico-Químicas del
desmonte de mina, para su empleo en la construcción
del dique de relaves. Minera Alpamarca. Junín 2016**

Tesis para optar el Título Académico de Ingeniero Industrial

Tesistas: Clara Beatriz Baldeón Travezaño
Roy Arturo Gabancho Valderrama

Fecha de inicio: Junio 2016

Fecha de término: Noviembre 2016

HUÁNUCO – PERÚ
2016

DEDICATORIA

A Dios.

Por habernos permitido culminar satisfactoriamente esta tesis, y habernos dado la salud y sabiduría necesaria para lograr nuestros objetivos.

A nuestros Padres.

Por el ejemplo, consejos, valores, apoyo permanente y motivación constante que nos han permitido ser personas de compromiso y de bien.

AGRADECIMIENTO

- A nuestros asesores: Dr. Víctor Cabrera Abanto, Dr. Manuel Marín Mozombite y Msc. Fermín Montesinos Chávez, por brindarnos la orientación respectiva para la elaboración y culminación del proyecto de tesis.
- A nuestros docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Industrial, que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.
- A la compañía minera Alpamarca, por brindarnos la oportunidad de realizar el proyecto de tesis y utilizar el laboratorio de sus instalaciones.
- A todos aquellos familiares y personas que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Los tesistas.

RESUMEN

El objetivo principal de nuestra investigación fue determinar las características físico-químicas del desmonte de mina y su posterior comparación, de cumplimiento de los parámetros obtenidos, con los estándares de calidad establecidos para construir el dique que contendrá los relaves de la actividad minera de la compañía Alpamarca. Utilizando para ello, la metodología establecida en la norma ASTM (Sociedad Americana de Ensayos de Materiales) que respecta a los ensayos utilizados en el estudio de suelo del desmonte de mina con relación a la granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, densidad seca máxima y la generación de acidez del material, obteniendo como resultado granulométrico un material calificado como GP-GC (grava mal graduada con arcilla), un contenido de humedad de 4.28% (mezcla de arcilla y arena), un límite líquido de 23%, límite plástico de 16% y un índice de plasticidad de 7% estableciendo al desmonte de mina como un material muy permeable, excelente resistencia al corte, despreciable compresibilidad y buena facilidad de tratamiento en obra; una densidad seca máxima de 2,265 Kg/m³ y un potencial neto de neutralización de 174 kg CaCO₃/T probando que el desmonte de mina no es generadora de drenaje ácido, concluyendo finalmente que el material de desmonte de mina por el análisis de sus características físico-químicas, sí se ajusta al diseño para la construcción de dique de relaves de la compañía minera Alpamarca.

SUMMARY

The objective of our investigation was to determine the physical-chemical characteristics of the mine stripping material and its subsequent comparison of compliance with the parameters obtained, with the quality standards established to build the dam that will contain the tailings of the mining activity. Using the methodology established in the ASTM (American Society for Testing and Materials) standard for the tests used in the soil study of the mine stripping material in relation to the distribution of particle sizes in soils, moisture content, Atterberg limits, dry density maximum and the acidity of the material, resulting in granulometry of a material classified as GP-GC (gravel poorly graded with clay), a moisture content of 4.28% (clay and sand mixture), a liquid limit of 23%, plastic limit of 16% and a plasticity index of 7%, establishing the mine stripping material as a very permeable material, excellent cutting resistance, negligible compressibility and good on-site treatment; A maximum dry density of 2,265 kg/m³ and a net neutralization potential of 174 kg CaCO₃/T proving that the mine stripping material proving is not generating acid drainage, finally concluding that the mine stripping material by the analysis of its physical-chemical characteristics, does fit the design for the construction of the tailings dam of the mining company Alparamar.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación tiene como principal propósito, determinar las propiedades físico-químicas del material de desmonte de mina que genera la compañía minera Alpamarca, con la finalidad de evaluar si el material se ajusta al diseño para la construcción de un dique de relaves, esto ante la necesidad de contar con un material alternativo, por la baja producción de relaves gruesos que se utiliza en la construcción del dique.

El trabajo presenta los siguientes capítulos:

➤ **CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Se conceptualiza el Planteamiento del Problema de Investigación, el problema, los objetivos, la justificación e importancia durante el desarrollo del proyecto.

➤ **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

Se abordan los aspectos teóricos relacionados a las propiedades físico-químicas del desmonte de mina, sus características y las especificaciones técnicas para la construcción del dique.

➤ **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

Se sustenta el tipo y nivel de investigación, la población y muestra de investigación, las técnicas de recolección de datos que fueron usadas, análisis y comparación de datos, la Hipótesis de Investigación.

➤ **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Se ofrece la discusión e interpretación de resultados y se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta tesis.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Antecedentes y fundamentación del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.	2
1.3. Objetivos	4
1.4. Justificación de la investigación.	5
1.5. Importancia de la investigación	5
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación.	6
2.2. Bases teóricas.....	8
2.3. Hipótesis.....	38
2.4. Variables de la investigación	38
III. MARCO METODOLÓGICO.....	40
3.1. Nivel y Tipo de Investigación.....	40
3.2. Diseño de la Investigación.....	40
3.3. Población y muestra.	40
3.4. Técnicas de recolección y tratamiento de datos.....	41

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
4.1. Propiedades fisico-químicas del material desmonte de mina significativas a evaluar.	55
4.2. Resultado de los análisis.....	55
4.3. Comparación de resultados.....	72
4.4. Conclusiones.....	75
4.5. Recomendaciones.....	81
 V. ANEXOS	 82
 BIBLIOGRAFÍA	 96

CAPÍTULO I

1.1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

La minería es el principal sector productivo de la economía del Perú. El país es considerado a nivel mundial como minero debido a los importantes yacimientos con que cuenta; y encabeza, en Latinoamérica, la lista con mayor inversión minera. El desarrollo notable de la minería durante los últimos 15 años ha dado origen a nuevos desafíos económicos, sociales y ambientales. Un importante desafío ambiental asociado a las faenas mineras corresponde, a la operación y control de depósitos de relaves (suspensión fina de sólidos en líquido), constituidos fundamentalmente por el mismo material presente in-situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído los valores minerales deseados mediante el uso de reactivos químicos. Este residuo toma la forma de una solución acuosa compuesta al menos en un 40% de agua y 60% de finos. La compañía minera Alpamarca, vacía los relaves en instalaciones de almacenamiento donde son retenidos en diques construidos con los mismos relaves, a medida que los relaves son decantados, son utilizados para aumentar la altura del dique de los mismos relaves, en este contexto se ha podido observar, la insuficiente producción de relave grueso que genera la minera, razón por la cual ha dificultado la continuidad en la construcción del dique; Ante esto, si no se toman acciones en la búsqueda y evaluación de nuevas materias primas

alternativas disponibles dentro de la misma minera, lo observado conllevará a la compra de gravas arcillosas, materia prima necesaria para construcción, incrementando el costo. Por ello, se propone una alternativa viable con la utilización del desmonte de mina como materia prima alterna, por la disponibilidad que presenta este material en la minera Alpamarca; con este propósito, realizaremos una investigación que nos permita determinar si el desmonte de mina cumple con las características para construir el dique que contendrá los relaves de la actividad minera.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las características Físico-Químicas del desmonte de mina, de acuerdo a los ensayos expresados en la norma ASTM correspondiente, para la construcción del dique de relaves?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las propiedades físico-químicas del material de desmonte significativas a evaluar para la construcción del dique de relaves?
- ¿Cuáles son los valores de los ensayos de granulometría del material, mediante la norma ASTM - D422?
- ¿Cuáles son los valores del contenido de humedad mediante la norma ASTM - D2216?
- ¿Cuáles son los valores de los límites de ATTERBERG mediante la norma ASTM D4318?
- ¿Cuáles son los valores de la densidad seca máxima mediante la norma ASTM D1557?
- ¿Cuáles son los valores de las propiedades químicas del material?
- ¿El desmonte de mina se ajusta al diseño para la construcción del dique de relaves?

1.3. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades Físico-Químicas del desmonte de mina, de acuerdo a los ensayos expresados en la norma ASTM correspondiente, para la construcción del dique de relaves.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físico-químicas del material de desmonte significativas a evaluar para la construcción del dique de relaves.
- Determinar los valores de los ensayos de granulometría del material, mediante la norma ASTM - D422.
- Determinar los valores del contenido de humedad mediante la norma ASTM - D2216.
- Determinar los valores de los límites de ATTERBERG mediante la norma ASTM D4318.
- Determinar los valores de la densidad seca máxima mediante la norma ASTM D1557.
- Determinar los valores de las propiedades químicas del material.

- Determinar si el desmonte de mina se ajusta al diseño para la construcción del dique de relaves.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Esta investigación pretende principalmente dar un aporte alternativo para el cambio de material actual y determinar si el material de desmonte de mina cumple con especificaciones técnicas basadas en la norma ASTM, (Características físico-químicas), para su empleo en la construcción del dique de depósito de relaves de la compañía minera Alpamarca.

1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

Teniendo en cuenta que la investigación fue desarrollada con actividades de búsqueda caracterizadas por ser reflexiva, sistemática y metódica; el estudio desarrollado es importante¹, porque nos permitió analizar adecuadamente el material de desmonte con el fin de determinar la factibilidad en su uso para la construcción de diques de relaves.

¹Para Nel Quezada Lucio, una investigación es importante porque nos permite establecer contacto con la realidad a fin de que la conozcamos mejor

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1.1. A nivel Internacional

Camero (2000), desarrolló el trabajo de tesis titulado: *Encapsulamiento concurrente de la pirita en presas de relaves*, cuyo objetivo fue demostrar la factibilidad de una nueva tecnología en el manejo de relaves piritosos, con el propósito de realizar un manejo concurrente de los relaves de plantas concentradoras de minerales sulfurados que garanticen una mejor estabilidad química de las presas de relaves. Este estudio determinó que el manejo concurrente tuvo ventajas técnicas frente a los convencionales, ofreciendo grandes ventajas ambientales, al garantizar efectivamente la estabilidad física y química de la presa de relaves, disminuyendo la posibilidad de la ocurrencia de catástrofes.

2.1.2. A nivel Nacional

Ortiz, Canchari y Giraldo (2011), desarrollaron un trabajo de investigación en el año 2011, titulado *Diseño de disposición conjunta de relaves y desmonte en la mina Yauricocha*, cuyo objetivo fue la de probar la factibilidad de almacenamiento conjunto de relaves y desmonte en la mina Yauricocha, encontrar la mezcla adecuada Desmonte/Relave para su co-disposición, demostrar las ventajas técnicas, económicas y medio ambientales que generará este tipo de almacenamiento de materiales estériles en una operación minera. Abriendo la posibilidad de reemplazar métodos tradicionales de almacenamiento de relaves especialmente donde se genera altos volúmenes de desmonte o donde existan muchos botaderos antiguos. El estudio concluyó que la co-disposición de relaves y desmontes como nueva técnica de almacenamiento de estériles en una superficie topográfica es factible en la mina Yauricocha.

2.1.3. A nivel local

A la fecha, en Huánuco, no existen investigaciones a nivel local del tema en mención.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. Desmonte de mina en la minera Alpamarca

2.2.1.1. Marga

Wolfgang (2015), menciona que la marga se compone de arcillas y carbonatos. Según las relaciones cuantitativas se distingue marga arcillosa, marga y marga calcárea. Normalmente el carbonato es presentado por calcita, a veces por dolomita. Componentes adicionales pueden ser cuarzo, mica y compuestos carbonosos. La marga frecuentemente lleva nódulos de yeso, calcita y pirita, es de color gris claro hasta oscuro, café o verdoso, frecuentemente contiene microfósiles y restos de hojas. El tamaño de los granos es igual al de la arcilla ($< 0,02\text{mm}$). Estratificación es difícil de reconocer, pero la marga muestra una exfoliación buena. Se forma en agua dulce y en el mar. Las morrenas de fondo se constituyen de una roca cálcica y arcillosa molida y mezclada por las actividades del hielo y de los glaciares.

2.2.1.2. Panizo

Según Lillo y Oyarzun (2013), el panizo (fault gouge) es una roca arcillosa pulvurulenta, poco consolidada y rompible con los dedos (salvo cuando ha sido cementada por fluidos hidrotermales), que puede presentar colores desde el blanco grisáceo hasta llamativos colores (rojos, verdes, violáceos). Esto último puede provocar grandes equívocos al ser confundida con aquellas rocas fuertemente alteradas asociadas a yacimientos epitermales, o con ciertas rocas sedimentarias o metamórficas de bajo grado (e.g. arcillas, pelitas, esquistos de bajo grado). Al respecto (y dado que la confusión es posible), lo importante es ver si esta roca tiene una persistencia regional dentro de una zona de cizalla (con estructuras internas típicas de estas deformaciones), si pertenece a una formación geológica cartografiable con marcada estratificación (o esquistosidad interna), o corresponde a una fenomenología local de morfología irregular (i.e., zona de alteración). Por otra parte, el que reconozcamos unas rocas alteradas como pertenecientes a una zona de falla no implica que estas carezcan de "interés económico".

Por el contrario, sólo nos encontraríamos en otro ambiente geológico, en el cual también pueden existir mineralizaciones. Al respecto cabe destacar la posibilidad de mineralizaciones auríferas encajadas en la zona de cizalla o zona de falla.

2.2.2. Propiedades físicas

2.2.2.1 Granulometría

Para Espinace (1979), la finalidad del análisis granulométrico es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,074mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración.

Para suelos de tamaño inferior, se utiliza el método del hidrómetro, basado en la ley de Stokes.

Según indica Espinace y Sanhuesa (2004), la distribución granulométrica, o por tamaños, es la propiedad más importante de los suelos granulares. Para determinarla se emplea una serie de tamices normalizados, los cuales se disponen en orden decreciente, es decir, de aquellos de mayor a menor abertura. Para tal efecto, se toma una muestra representativa de masa conocida de suelo y se hace pasar a través de estos tamices, midiendo la masa retenida en cada uno de ellos. Con estos resultados se calcula el porcentaje de la masa de la muestra que pasa por cada tamiz y se representa en función de la abertura correspondiente.

Si el suelo contiene partículas de limo y arcilla, la muestra se trata primero con un agente defloculante y se lava a través de algunos tamices escogidos para separar los finos. Luego, el material grueso se seca y se tamiza como se describió anteriormente.

Los resultados de los análisis mecánicos se presentan usualmente por medio de una curva de distribución

granulométrica. En el eje de las ordenadas y a escala natural, se dibuja el porcentaje de material, mientras que en el eje de las abscisas y en escala logarítmica, se dibuja el diámetro de abertura correspondiente al material que pasó cada tamiz.

Una gráfica de este tipo tiene la ventaja que los materiales de igual uniformidad se representan por curvas de forma similar o parecida, sea el suelo de grano grueso o de grano fino. Además, la forma de la curva es una indicación de la granulometría. Los suelos uniformes están representados por líneas casi verticales, y los suelos bien graduados por curvas con forma de “S”.

2.2.2.1.1 Ensayo de Granulometría por mallas (norma técnica ASTM D 422).

Para Bowles (1981), el ensayo de granulometría por mallas permite la caracterización física del suelo y se emplea para determinar las proporciones de los tamaños de grano de una masa de suelo conocida y su práctica se desarrolla agrupando las muestras en rangos

de tamaños. Esto se logra a partir de unas mallas con aberturas conocidas llamadas tamices. La muestra del suelo se pasa por estos elementos que son organizados de forma descendente desde el tamiz con la abertura más grande hasta el tamiz con la menor abertura, de modo que la masa de suelo retenida en un tamiz sea de tamaño de grano mayor que la masa retenida en el tamiz siguiente. Los tamices son hechos de malla de alambre de acero con aberturas de forma rectangular que varían de tamaño desde 101,6 mm, que corresponde a partículas gruesas, hasta el tamiz número 400 que tiene una abertura de 0.038 mm aproximadamente que corresponde a las partículas finas.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos.

Cuadro N° 01**Clasificación de suelos según 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

2.2.2.2 Contenido de humedad

Según la Norma ASTM D2216; la humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso del agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Contenido de humedad del suelo (porcentaje de humedad $\omega\%$)

$$\omega\% = \frac{W_{agua}}{W_{suelo\ seco}} \times 100$$

2.2.2.3 Límites de Atterberg

Según Espinace y Sanhueza (2014), la granulometría proporciona una primera aproximación a la identificación del suelo, pero no queda claro lo que ocurre con la fracción de material que pasa bajo la malla N°200. Para esto, se utilizan unos índices que definen la consistencia del suelo en función del contenido de agua, a través de la determinación de la humedad. Una de las características más importantes de las arcillas es su plasticidad. La magnitud de la plasticidad que presenta una arcilla en estado natural depende de su composición mineralógica y contenido de humedad. Así, la consistencia de una arcilla natural varía, de acuerdo con el contenido de humedad, desde un estado sólido en condición seca, pasando por un estado semisólido para bajos contenidos de humedad en que el suelo se desmorona y no presenta plasticidad, pasando también por un estado plástico para altos contenidos de humedad, hasta llegar finalmente a un estado esencialmente líquido para contenidos de humedad muy altos. Se ha encontrado que

los contenidos de agua correspondientes a las transiciones de un estado a otro, usualmente son diferentes en las arcillas que tienen propiedades físicas diferentes cuando se han remoldeado, y son aproximadamente iguales en las arcillas que tienen propiedades físicas semejantes, influyendo, además, la cantidad y tipo de arcilla presente. Por lo tanto, las fronteras entre los estados de consistencia, pueden servir como propiedades índice, útiles en la clasificación de las arcillas. El significado de los contenidos de agua que sirven de límite para cada estado físico fue sugerido por primera vez por Albert Atterberg en 1911. Por lo tanto, estos límites se conocen comúnmente como límites de Atterberg, los cuales se definen a continuación:

- **Límite plástico (LP):** Se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo al ser enrollado en bastoncitos de 3,2 mm de diámetro, se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo de forma elipsoidal.

- **Límite líquido (LL):** Se define como el contenido de humedad con el cual una muestra de suelo cohesivo, luego de aplicar 25 golpes en la Cuchara de Casagrande, con una frecuencia de 2 golpes por segundo y una altura de caída de 1 cm, produce el cierre, en aproximadamente 1 cm, de una ranura efectuada sobre la muestra de suelo instalada endicha cuchara.

- **Índice de Plasticidad:** El índice de plasticidad se expresa con el porcentaje del peso en seco de la muestra de suelo, e indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico. En general, el índice de plasticidad depende sólo de la cantidad de arcilla existente e indica la finura del suelo y su capacidad para cambiar de configuración sin alterar su volumen. Un IP elevado indica un exceso de arcilla o de coloides en el suelo. Siempre que el LP sea superior o igual al LL, su valor será cero. El índice de plasticidad también da una buena

indicación de la compresibilidad. Mientras mayor sea el IP, mayor será la compresibilidad del suelo.

- **Determinación del índice plasticidad:** Alayo, Bardales y Vásquez (2012), mencionan que el índice de plasticidad es un parámetro físico que se relaciona con la facilidad de manejo del suelo, por una parte, y con el contenido y tipo de arcilla presente en el suelo, por otra:

Se obtiene de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

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

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

Valores Menores de 10 indican baja plasticidad, y valores cercanos a los 20 señalan suelos muy plásticos.

DONDE:

IP= índice de plasticidad del suelo, %

LL = límite líquido del suelo, %; y

LP = límite plástico del suelo, %.

2.2.2.4 Densidad seca máxima

Para cada suelo existe un contenido en humedad que proporciona la máxima densidad seca. Este es el contenido de humedad óptimo que es el que se debe utilizar en obra cuando se va a compactar un suelo (Relaciones de humedad – masa unitaria seca en los suelos – Universidad del Cauca de Colombia).

Ensayo modificado de compactación

Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 4.54 Kg. (10 lb) que cae desde una altura de 457 mm (18"). Se han previsto cuatro procedimientos alternativos en la siguiente forma:

Método A – Un molde de diámetro 101.6 mm (4"): material de un suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4)

Método B – Un molde de diámetro 152.4 mm (6"): material de suelo que pasa tamiz de 4.75 mm (No.4)

Método C – Un molde de diámetro 101.6 mm (4"): material de suelo que pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4")

Método D – Un molde de diámetro 152.4 mm (6") material de suelo que pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4")

En las especificaciones se debe indicar el método por usar para el material que se va a ensayar. Si no se especifica ninguno, regirá el Método A.

Este método de ensayo se aplica a mezclas de suelos que tienen el 40% o menos retenido en el tamiz de 4.75mm (Nro. 4) al usar los Métodos A o B, y 30% o menos de retenido en el tamiz de 19mm (3/4") cuando se emplee el Método C o el D. El material retenido en estos tamices deberá ser definido como sobretamaños (partículas gruesas).

Equipo

Moldes: Los moldes deberán ser cilíndricos, de paredes sólidas, fabricados con metal y con las dimensiones y capacidades mostradas más adelante.

Deberán tener collares ajustable de aproximadamente 60 mm (2.373") de altura, que permitan la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua con la altura y el volumen deseados. El conjunto de molde y collar deberán estar contruidos de tal manera que se

puedan ajustar firmemente a una placa hecha del mismo material.

Martillo:

De operación manual: Un martillo metálico con una masa de 4.536 ± 0.009 Kg. (10.0 ± 0.02 lb), que tenga una cara plana circular de diámetro de 50.80 ± 0.25 mm (2.000 ± 0.01 "). El diámetro real de servicio no podrá ser menor de 50.42 mm (1.985"). El martillo deberá estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de 457 ± 2 mm (18.0 ± 0.06 ") por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación, de diámetro no menor de 9.5 mm (3/8"), espaciados aproximadamente a 90° (1.57 rad) y 19 mm (3/4") de cada extremo, y deberá tener suficiente luz libre, para que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.

Cara del martillo: Deberá ser circular, aunque se acepta como alternativa un martillo con cara de sector circular. En el informe se deberá indicar si se emplea un tipo de cara usada diferente de la circular de 50.8 mm (2"), de diámetro, pero la utilizada deberá tener un área igual al de la cara circular.

Dispositivo para extrusión de las muestras: Un gato, un extractor u otro dispositivo adecuado que permita sacar por extrusión las muestras del molde.

Balanzas: Una de 11.5 Kg. de capacidad y 5 g de sensibilidad, cuando se usan para pesar moldes de 152.4 mm (6") con suelos húmedos compactados; cuando se usa el molde de 101.6 mm (4"), puede emplearse una balanza de menor capacidad si la sensibilidad y aproximación es de 5 g. También se requiere otra balanza de 1kg de capacidad con sensibilidad de 0.1 g.

Horno: Termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 + 9^{\circ}\text{F}$) para el secado de las muestras.

Regla metálica: De acero endurecido, de borde recto, al menos de 250 mm (10") de largo. Deberá tener un borde biselado y al menos una cara plana en sentido longitudinal (usada para el corte final del suelo).

Cálculos:

Se calcula la humedad y la masa unitaria seca del suelo compactado para cada muestra, así:

$$\omega = \frac{A-B}{B-C} \times 100$$

$$\delta_d = \frac{\delta_h}{\omega + 100} \times 100$$

Donde:

ω = Porcentaje de humedad en la muestra con base en la masa seca del suelo en el horno.

A = Masa del recipiente y del suelo húmedo.

B = Masa del recipiente y del suelo seco.

C = Masa del recipiente.

δ_d = Masa unitaria seca, en Kg./m³

δ_h = Masa unitaria húmeda, en Kg./m³

Humedad óptima: Cuando la masa unitaria y las correspondientes humedades para el suelo han sido determinadas y dibujadas para conformar una curva, el contenido de humedad que corresponda al pico de la

curva, se llamará “humedad óptima” del suelo bajo la compactación.

Masa unitaria seca máxima: La masa unitaria del suelo secado al horno en Kg./m^3 , correspondiente al contenido óptimo de humedad, bajo la compactación, se llamará “masa unitario seca máxima”.

2.2.3 Propiedades Químicas

2.2.3.1 Potencial de generación ácida

Según indica Gonzales (2012), el método de conteo Ácido Base (ABA, del inglés Acid Base Account) es un balance teórico entre el potencial de una muestra de generar ácido y el potencial de neutralizarlo. Involucra la determinación del potencial de acidez (PA) y el potencial de neutralización (PN), ambos expresados en $\text{kg CaCO}_3/\text{tonelada}$.

El potencial de acidez (PA) se calcula considerando que todo el contenido de azufre como sulfuro se oxida a sulfato, generando ácido sulfúrico en una proporción de 2 moles de H^+ por cada mol de azufre como sulfuro contenido en la muestra. El PA se obtiene multiplicado el

porcentaje de sulfuro presente en las muestras por el factor de conversión 31,25 (Dold, 1999, 2007).

El potencial de neutralización (PN) es una medida del material carbonatado disponible para neutralizar la acidez y se determina tratando una muestra con exceso de ácido clorhídrico estandarizado. La muestra es agitada por 24 h para asegurar la reacción completa. Luego, la muestra se titula con una solución de NaOH llegando a pH 8,3 para determinar la cantidad de ácido neutralizado por el material.

Existen diferentes criterios para la interpretación de pruebas ABA estáticas. Realizando una simple comparación de los potenciales PA y PN se tiene una medida de si la muestra puede ser generadora o consumidora de ácido. El potencial neto de neutralización (PNN), correspondiente a la diferencia $PN - PA$, se utiliza como un indicador general de la capacidad de consumo o generación de ácido por la muestra. En términos simples, un valor negativo del PNN indica una muestra con tendencia a formar ácido, mientras que un valor positivo indica que prevalecen los factores neutralizantes. Por otra

parte, el índice de PN/PA también se usa como una pauta interpretativa para clasificar los materiales.

Su interpretación se resume en el cuadro N° 02.

Cuadro N° 02. Categorización de materiales de acuerdo a la interpretación del test ABA.

PNN	PN/PA	INTERPRETACION
>20	>3	Bajo o nulo potencial de generación de ácido (La muestra no genera drenaje ácido)
<20	1 a 3	Potencial marginal de generación de ácido (la muestra genera drenaje ácido)
Negativo	<1	Alto potencial de generación de ácido (la muestra tiene alto potencial de ácido)
(-20)y(20) interpretación difícil	>3	Zona de incertidumbre (comportamiento incierto)
	entre 1 y 3	

Fuente: Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas - MEM

El Instituto Geológico y Minero de España (2015), manifiesta que los objetivos del método de contabilidad Ácido-Base son (Skousen et al., 1987):

- Identificar materiales potencialmente tóxicos o generadores de aguas ácidas.
- Identificar materiales calcáreos que pueden ser mezclados con los potencialmente generadores de acidez para su neutralización.

- Identificar materiales alternativos para recubrir superficies finales cuando los suelos naturales son delgados e infértiles o, en cualquier caso, se presentan en volúmenes insuficientes.

2.2.4 Especificaciones técnicas para la construcción del dique de relaves

Según Geoservice Ingeniería S.A.C. empresa dedicada a la elaboración, ejecución y supervisión de proyectos de construcción de diques de relaves de diversas unidades mineras, para la construcción de un depósito de relaves con empleo de material de préstamo se deberá cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

2.2.4.1 Husos o dominios granulométricos

Se deberá verificar la granulometría del material a ser transportado desde la cantera, definir y ejecutar procedimientos de selección para proporcionar un mejor grado de uniformidad, eliminando o desechando sectores de la cantera que presenten inadecuados materiales para su uso.

Se presenta los dominios o husos granulométricos para la conformación de la presa (Tam. máx. 5''):

Cuadro N° 03. Dominios Granulométricos

Tamices		Huso Granulométrico	
N°	Abertura (mm)	% de material que pasa	
5"	127,000	100	90
3"	76,000	95	65
2"	50,800	85	55
1 1/2"	38,100	80	50
3/4"	19,050	65	35
3/8"	9,500	50	25
N° 4	4,750	35	15
N° 40	0,420	22	5
N° 200	0,075	13	2

Fuente: Geoservice Ingeniería 2016

2.2.4.2 Contenido de Humedad, Límites de Atterberg y Densidad seca máxima

Para el análisis de estabilidad de la presa de relave se requiere los siguientes parámetros del suelo:

Cuadro N° 04. Parámetros de calidad del suelo

Contenido de Humedad (%)		Límites (%)						Densidad seca máx. (g/m3)	
		L.L		L.P		I.P			
4.00	8.00	22.00	25.00	14.00	16.00	5.00	10.00	2.240	2.280

Fuente: Geoservice Ingeniería 2016

2.2.5 Criterios de diseño para la construcción del dique

2.2.5.1 Ubicación y accesos

La Unidad Minera Alpamarca se ubica en una meseta entre las cordilleras Occidental y Oriental de Junín – Cerro de Pasco, a una altitud de 4,700 metros sobre el nivel del mar.

Políticamente se ubica en:

Paraje : Cerro Alpamarca.

Distrito : Santa Bárbara de Carhuacayán.

Provincia : Yauli.

Departamento : Junín.

2.2.5.2 Peso y volumen de almacenamiento

El recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca tendrá una altura total de 33 metros, desde la cota 4670 hasta la cota 4703 msnm. y un peso de 21'476,413.10 toneladas.

Cuadro N° 05. Volumen de almacenamiento

COTA (msnm)	AREA (m2)	VOLUMEN (m3) PARCIAL RELAVES	VOLUMEN (m3) ACUMULADO RELAVES
4668	182841.6		
4669	187500.4	185171	185171
4670	192676.57	190088.485	375259.485
4671	198446.61	195561.59	570821.075
4672	203115.69	200781.15	771602.225
4673	207961.62	205538.655	977140.88
4674	212993.02	210477.32	1187618.2
4675	217804.1	215398.56	1403016.76
4676	222559.6	220181.85	1623198.61
4677	227439.89	224999.745	1848198.36
4678	232498.94	229969.415	2078167.77
4679	237768.07	235133.505	2313301.28
4680	245829.35	241798.71 2	555099.99
4681	251192.46	248510.905	2803610.89
4682	255818.68	253505.57	3057116.46
4683	260426.05	258122.365	3315238.83
4684	265079.08	262752.565	3577991.39
4685	269775	267427.04	3845418.43
4686	274769.84	272272.42	4117690.85
4687	279585.01	277177.425	4394868.28
4688	284471.48	282028.245	4676896.52
4689	289443.36	286957.42	4963853.94
4690	296581.06	293012.21	5256866.15
4691	303208.56	299894.81	5556760.96
4692	309683.48	306446.02	5863206.98
4693	316040.81	312862.145	6176069.13
4694	322494.46	319267.635	6495336.76
4695	332346.97	327420.715	6822757.48
4696	342858.5	337602.735	7160360.21
4697	348620	345739.25	7506099.46
4698	354572.78	351596.39	7857695.85
4699	360548.57	357560.675	8215256.53
4700	366579.45	363564.01	8578820.54
4701	372790.41	369684.93	8948505.47

Fuente: Geoservice Ingeniería 2016

2.2.5.3 Ancho de corona

La selección del ancho mínimo de la corona puede estar regido por factores como: la posibilidad de paso de caminos, la factibilidad de construcción, el tipo de material del cuerpo de la presa o de la altura de la misma.

Basado en el factor altura de presa, el Reglamento propone las siguientes ecuaciones:

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

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

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

La instrucción española de presas:

$$AC = K \times [3 + 1.5 \times (z - 15)^{\frac{1}{3}}]$$

Donde:

AC (m): Ancho de coronamiento.

h (m): Altura máxima del depósito.

Z (m): Altura máxima de la presa.

K = 1.3 (factor por sismicidad en la zona).

Cuadro N°06. Ancho de corona

SOBREELEVACIÓN	
Cota Final (msnm)	4703
Cota Inicial (msnm)	4670
h (m) =	33
Z (m) =	10
AC (m) =	9.47
AC (m) =	7.31
AC (m) =	8.55
AC (m) =	9.1
AC prom=	8.60

Fuente: Geoservice Ingeniería 2016

De acuerdo al cuadro anterior, el ancho de corona asumido para la sobre elevación es 8 metros, teniendo en cuenta también el criterio de transitabilidad por la corona de la presa. Las fórmulas utilizadas obedecen al Reglamento japonés.

Finalmente considerando la estabilidad física evaluada de la Sobreelevación de la Presa, así como factores de obra vial: paso de un camino, alumbrado, ancho de seguridad, se adoptará un ancho mínimo de corona de 8 metros para las Etapas II hasta la Etapa X. Se recomienda reevaluar el ancho de corona para cada Etapa que se realice Basado en factores de obra vial: paso de un camino, alumbrado, ancho

de seguridad, adoptaremos los siguientes valores como ancho de corona, valores expresados en metros.

2.2.5.4 Borde libre

Es importante la correcta selección del borde libre en presas de tierra, en este caso específico de una presa de relaves, ya que estas no pueden bajo ninguna circunstancia trabajar como diques o presas vertedoras.

En el caso de depósitos de relaves, el aumento del nivel de los relaves es progresivo, es decir, a diferencia de las presas de embalse, no se tiene un nivel de aguas máximas ordinarias y mucho menos extraordinarias, los cuales están dados por la capacidad de agua necesaria para satisfacer el déficit hídrico a lo largo de los años, y para la amortiguación de avenidas.

En los depósitos de relaves, contruidos mayormente en quebradas cuyo flujo es intermitente, las aguas naturales son captadas y conducidas mediante canales de coronación hacia aguas abajo del depósito a su cauce natural, destinando el volumen de almacenamiento del depósito exclusivamente para almacenar los relaves producidos en

los procesos metalúrgicos, y las aguas de precipitación ocurridas sobre el depósito mismo.

Realizando una comparación entre las presas de embalse y presas para almacenamiento de relaves, anotamos algunos criterios para la selección del borde libre, así tenemos:

- En las presa de embalse el borde libre se mide a partir del nivel de aguas extraordinarias, calculado a partir de un tránsito de avenidas.
- En presas para almacenamiento de relaves, el escurrimiento superficial es captado mediante canales de coronación y conducido fuera del depósito, quedando únicamente como aporte las aguas de precipitación sobre el depósito mismo, definiendo de esta manera el inicio de borde libre.
- El borde libre se define como la distancia vertical entre el nivel máximo alcanzado en un evento de precipitaciones máximas, y, la altura más baja de la corona.
- El cálculo del borde libre está directamente ligado a las presas de embalse, estando su cálculo en función de la altura y longitud de ola producida por efectos del viento sobre la superficie de agua del embalse.

- El borde libre para presas de almacenamiento de relaves, por efectos de las características de la ola y el viento, no tiene efecto para este tipo de presas.

De lo descrito se recomienda considerar un borde libre de 2 metros, para asegurar la estabilidad contra el desbordamiento.

2.2.5.5 Talud para la Presa

Los taludes de conformación de las presas de tierra están directamente influenciados por el tipo de material de conformación de la presa.

Los taludes recomendados para la conformación de la presa por la USBR, son los siguientes:

Presa: Materiales homogéneos o zonificada

Sujeta a desembalse rápido: No

Clasificación SUCS: GC, GM, SC, SM

Talud de aguas arriba: 2.5H: 1.0V

Talud de Aguas abajo: 2.0H: 1.0V

Estas consideraciones antes indicadas son dadas para presas de retención o almacenamiento de agua.

Para nuestro caso, los taludes recomendados son:

Talud de aguas arriba: 1.5H: 1.0V

Talud de Aguas abajo: 2.0H: 1.0V

Cabe indicar que estos taludes han sido verificados mediante un análisis de estabilidad, en los cuales se ha obtenido factores de seguridad adecuados.

2.2.5.6 Estabilidad de la Presa

El análisis de estabilidad de la presa deberá ser ejecutada para diferentes escenarios y para cada etapa de sobreelevación considerada, obteniendo diferentes factores de seguridad.

El análisis de la estabilidad de los taludes de la presa deberá efectuarse mediante un programa especializado, tomando como método para la determinación de su grado de estabilidad el de equilibrio límite de Bishop simplificado para fallas circulares o falla por volteo y el método de Janbu para fallas planares o falla por traslación, con el modelo de Mohr Coulomb.

El análisis deberá contemplar superficies potenciales circulares y planares que involucren el material del talud tanto para la condición estática como pseudoestático.

2.2.5.7 Material de conformación: Desmonte de Mina

Se utilizará como material de préstamo el desmonte de mina proveniente del Tajo Alpamarca y depositado en las diferentes desmonteras aledañas, previo análisis físico y químico del material.

2.3 HIPÓTESIS.

HIPÓTESIS GENERAL

Las características físico-químicas del desmonte de mina influyen en los parámetros de calidad expresados en la norma ASTM, para la construcción del dique del depósito de relaves de la minera Alpamarca.

2.4 VARIABLES.

2.4.1 Variable de investigación

VARIABLE: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL DESMONTE DE MINA.

2.4.2 Cuadro de operacionalización de variable

CUADRO N° 07. Operacionalización de la variable

VARIABLE	INDICADORES
Características Físico-Químicas del desmonte de mina.	• Tamaño granulométrico (Propiedades físicas).
	• Contenido de humedad (Características físicas).
	• Límite plástico (Propiedades físicas) • Límite líquido (Propiedades físicas). • Índice de plasticidad (Propiedades físicas).
	• Densidad seca / Contenido de humedad (Propiedades Químicas).
	• Nivel de acidez (Propiedades Químicas).

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

La investigación fue del tipo aplicada², ya que utilizamos los descubrimientos y conocimientos teóricos existentes en lo referente a estudios de suelos para aplicarlos y utilizarlos en la determinación de los parámetros de las características físico-químicas del desmonte de mina. Y de nivel descriptivo, debido a que describió, analizó e interpretó las variables de las características físico-químicas, y su comparación en la semejanza y diferencia a los estándares establecidos.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El Diseño de la investigación corresponde a un no experimental³ descriptivo, transeccional.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población es el desmonte de mina de la desmontera Capilla con 30,3 millones de toneladas almacenadas. La minera Alpamarca produce

²Una investigación aplicada se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de conocimientos adquiridos, a la vez que se adquiere otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. (Murillo 2008)

³Una investigación es no experimental cuantitativa cuando se realiza sin manipular deliberadamente variables; es decir de estudios en la que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto en otras variables. (Sampieri 2014:152).

18,500 Ton/día de desmonte de mina, las cuales poseen características comunes en su totalidad provenientes de un único tajo abierto, y dieron origen a los datos de la investigación. Las muestras fueron porciones de 50 kg. seleccionados por conveniencia.

3.4 TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN.

3.4.1 Metodología para determinar las propiedades físicas de las muestras de desmonte de mina.

Para determinar la granulometría, el contenido de humedad, los límites de ATTERBERG, densidad seca máxima y propiedades químicas de las muestras de desmonte de mina, se recurrió al laboratorio de suelos de la compañía minera Alpamarca, y para recopilar los datos se utilizaron las matrices 01, 02 y 03 ubicados en el anexo.

A continuación describimos los tipos de ensayos para determinar las propiedades físicas y químicas del material de desmonte de mina.

a) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Según la Norma ASTM D-422, el análisis granulométrico consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de

partículas de los suelos. La clasificación de las partículas mayores que 75 μm (retenido en el tamiz N°200) se efectúa por tamizado.

Los aparatos necesarios para realizar este ensayo son los siguientes:

- 1. Balanzas:** De sensibilidad de 0,01 g para pesar el material que pasa la malla N° 10 (2,0 mm), y una balanza sensible a 0,1% de la masa de la muestra para pesar el material retenido en la malla N°10.
- 2. Agitador:** Consiste de un dispositivo de agitación operado mecánicamente en el cual un motor eléctrico adecuadamente montado hace girar un eje vertical a una velocidad no menor de 10 000 rpm sin carga.
- 3. Tamices:** Una serie de tamices de malla cuadrada que cumplan con la ASTM E11. Un juego completo de tamices incluye los siguientes:

<u>TAMICES</u>	<u>Designación ASTM</u>
75,0 mm	(3 pulg)
50,0 mm	(2 pulg)
37,5 mm	(1 ½ pulg)
25,0 mm	(1 pulg)
19,0 mm	(¾ pulg)
9,5 mm	(3/8 pulg)

4,75 mm	(N° 4)
2,00 mm	(N° 10)
850 µm	(N° 20)
425 µm	(N° 40)
250 µm	(N° 60)
106 µm	(N° 140)
75 µm	(N° 200)

Durante el proceso de preparación se divide la muestra en dos porciones. Una porción contiene sólo partículas que retiene el tamiz 2,00 mm (N° 10), mientras que la otra porción contiene sólo partículas que pasan el tamiz 2,00 mm (N° 10). La masa de suelo seca al aire, separada con el propósito de hacer el análisis mecánico, dependerá del tamaño máximo de las partículas y de la masa de la porción retenida sobre el tamiz 2,00 mm (N° 10).

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LA PORCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ 2,00 mm (N° 10)

PROCEDIMIENTO

Se separa la porción retenida en el tamiz 2,00 mm (N° 10) en una serie de fracciones usando los tamices 75 mm (3 pulg), 50 mm (2 pulg), 37,5 mm (1 ½ pulg), 25 mm (1 pulg), 19 mm (¾ pulg), 9,5 mm (3/8 pulg), 4,75 mm (N° 4), y 2,0 mm (N° 10), o las que se necesiten

dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado.

El tamizado se efectúa con un movimiento lateral y vertical del tamiz acompañado con un golpeteo para mantener la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie. En ningún caso se ayudará con la mano a pasar el tamiz. Se continúa tamizando hasta que el residuo que pase después de un minuto, sea inferior al 1% en peso de lo tamizado. Cuando se efectúa el tamizado mecánico se comprobará la efectividad del mismo con el procedimiento manual descrito en el párrafo anterior.

Se determina la masa de cada fracción con las balanzas indicadas. Al término de las pesadas, la suma de las masas retenidas sobre la totalidad de los tamices usados y de la porción que pasa el último tamiz debe ser aproximadamente igual a la masa original.

ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LA PORCIÓN QUE PASA EN TAMIZ 2,00 mm (N° 10)

Luego de la lectura final del densímetro y del termómetro, se transfiere la suspensión a un tamiz 75µm (N° 200) y se lava con agua corriente hasta que el agua del lavado sea clara. Se transfiere el material retenido en el tamiz a un vaso de precipitado u otro recipiente adecuado y se seca en horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ efectuándose un análisis por tamizado de la porción retenida.

b) CONTENIDO DE HUMEDAD

Según indica la Norma ASTM D-2216, los aparatos necesarios para realizar este ensayo son los siguientes:

- 1. Horno de secado:** Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2. Balanzas:** De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:
de 0.01 g para muestras de menos de 200 g
de 0.1 g para muestras de más de 200 g
- 3. Recipientes:** Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.
- 4. Utensilios para manipulación de recipientes:** Se requiere el uso de guantes, tenazas o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después que se hayan secado.
- 5. Otros utensilios:** Se requiere el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

CÁLCULOS

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$w = \frac{M_{cws} - M_c}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

En donde:

w es el contenido de humedad, en porcentaje.

M_{cws} es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.

M_{cs} es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.

M_c es el peso del contenedor, en gramos.

M_w es el peso del agua, en gramos.

M_s es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

c) LÍMITES DE ATTERBERG

La Norma ASTM D-4318, menciona que originalmente Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” de suelos de grano fino: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico, y el límite de

contracción. En ingeniería se usan frecuentemente el límite líquido, el límite plástico, y en algunas referencias el límite de contracción.

- 1. Límite líquido (LL):** Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.
- 2. Límite plástico (LP):** Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad más bajo al cual el suelo puede ser rolando en hilos de 3,2 mm. (1/8 pulg) sin que se rompan en pedazos.
- 3. Índice de plasticidad (IP):** Es el rango de contenido de humedad sobre el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

PROCEDIMIENTO:

A la muestra se le remueve cualquier material retenido en el tamiz 425 μm (N° 40). El límite líquido se determina realizando pruebas en las cuales se esparce una porción de la muestra en una copa de bronce, dividida en dos por un ranurador, y luego permitiendo que fluya debido a los impactos causados por las repetidas caídas de la copa en un dispositivo mecánico estándar. Se requiere realizar tres o más pruebas sobre un rango de contenidos de humedad y graficar o calcular la información de las pruebas para establecer una relación a partir de la cual se determina el límite líquido.

El límite plástico se determina presionando y enrollando alternadamente a un hilo de 3,2 mm. de diámetro (1/4 pulg), una porción pequeña de suelo plástico hasta que su contenido de humedad se reduzca hasta el punto en que el hilo se quiebre y no pueda ser más presionado y reenrollado. El contenido de humedad del suelo en este punto se reporta como el límite plástico.

El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

d) DENSIDAD SECA MÁXIMA

La Norma ASTM D-1557, indica que el ensayo de densidad seca máxima cumple el siguiente procedimiento:

PROCEDIMIENTO:

Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.

Material: que pasa el tamiz de 19,00 mm ($\frac{3}{4}$ pulg)

Capas: cinco.

Golpes por capas: 56.

Se coloca un suelo a un contenido de agua seleccionado en cinco capas dentro de un molde de dimensiones particulares, con cada capa compactada con 56 golpes de un pisón de 44.5 N (10-lbf) que cae desde una distancia de 457 mm (18 pulg), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente 2700 kN m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³). Se determina el peso unitario seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Este dato, cuando se plotea, representa una relación curvilínea conocida como curva de compactación. Los valores del óptimo contenido de agua y el máximo peso unitario seco modificado se determinan en base a la curva de compactación.

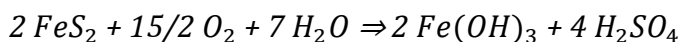
3.4.2 Metodología para determinar las propiedades químicas de las muestras de desmonte de mina.

a) POTENCIAL DE GENERACIÓN ÁCIDA:

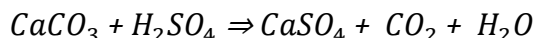
Según el Instituto Geológico y Minero de España (2006), uno de los ensayos más utilizados en la predicción de la generación ácida de mina es la relación ácido/base (acid-base accounting ABA), que se obtiene por comparación entre la máxima acidez potencial (MPA) representado por el azufre total de la muestra y la neutralización potencial (NP).

La relación ácido/base es un procedimiento rápido y sencillo para evaluar la formación o no de acidez en rocas y materiales de minas y escombreras, sin embargo, para lograr una mayor exactitud en la evaluación ésta información debe correlacionarse con otras variables como: mineralogía, pH y otros.

Por lo general la producción ácida de un material se mide en función a la presencia de azufre en el mineral o muestra, que en el caso de la pirita tiene la siguiente reacción:



En la reacción anterior se asume la equivalencia de que se producen 2 moles de ácido ($2H^+$) por cada mol de azufre (S), y estos $2H^+$ pueden ser neutralizadas por compuestos básicos según la siguiente reacción:



Por lo tanto, un mol de azufre puede ser neutralizado por un mol de CaCO_3 . Como los valores de la producción ácida potencial (AP) de la muestra tradicionalmente se expresa en kg de CaCO_3 por tonelada de material (t), se puede expresar de la siguiente forma:

$$AP = (X/100) \times 1000 \text{ kg} \times [\text{Peso molecular } \text{CaCO}_3 / \text{Peso atómico S}]$$

La acidez potencial (AP) se determina mediante la multiplicación del contenido de azufre total (en porcentaje) o azufre en el sulfuro (dependiendo del ensayo y asumiendo una oxidación completa del azufre) de la muestra por un factor de conversión. Este factor se obtiene al considerar que $X/100$ es el porcentaje de azufre (peso molecular del CaCO_3 es 100 y el peso atómico del azufre es 32), reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$AP = S\% \times 31,25 \text{ kg } \text{CaCO}_3 / \text{t}$$

La neutralización potencial (NP) es una medida del carbonato disponible para neutralizar la acidez (carbonatos primarios, silicatos minerales y en menor grado algunos cationes intercambiables), su valor es determinado entre otros por el ácido añadido a la muestra y la cantidad de ácido consumido.

En drenajes de mina los ensayos estáticos solo predicen cualitativamente la capacidad de generar acidez, mediante la comparación entre la máxima producción ácida o acidez potencial (AP) con la máxima neutralización potencial (NP).

La determinación de AP basado en la estimación del contenido de azufre reactivo en la muestra tiene algunas limitaciones, sobre todo cuando el azufre total es empleado para estimar su contenido en el sulfuro, esta incertidumbre quizá pueda atribuirse a posibles errores como:

- Valoración simultánea de acidez y neutralización de la muestra.
- Cálculo de la acidez a partir de un valor de conversión de azufre total.
- Errores analíticos.

También hay que tener en cuenta otros errores debido a que estamos estimando la cantidad de sulfuro que se va a producir en procesos de oxidación a largo plazo, con ensayos simulados que tienen una corta duración de tiempo.

La AP es controlado principalmente por el tipo y contenido de sulfuros, sulfatos y metales que pueden hidrolizarse como Fe, Al y Mn. Mientras que el NP se considera los carbonatos y silicatos.

Las unidades de NP, AP y NNP se suelen expresar en kilogramos, toneladas de carbonato cálcico (CaCO_3) por 100 toneladas de material (partes por mil).

El potencial de neutralización neta (NNP) mide la acidez o basicidad de una muestra y se obtiene por diferencia entre el potencial de

neutralización (NP) o alcalinidad total y potencial de acidez (AP) o acidez total.

$$\text{NNP} = \text{NP} - \text{AP}$$

Las unidades de NP, AP y NNP se suelen expresar en toneladas de carbonato cálcico (CaCO_3) por 1000 toneladas de material.

Como el NAPP (Potencial de Producción de Acidez Neta), no tiene en cuenta las condiciones ambientales del medio, no cuantifica la cantidad de material que reacciona en la generación ácida, solo indica la posibilidad de que un material o residuo de mina puede o no generar acidez. Pero, este ensayo es importante porque permite predecir los procesos físicos y químicos que se producirán en cada entorno.

También se puede medir el grado de generación ácida mediante la relación NP/AP. Tal es así, que cuando la NNP es igual a cero, la relación NP/AP es 1 que indica una situación de cierto equilibrio en la posibilidad de generación ácida. Cuando los valores de NNP son altos, más de 20 t de CaCO_3 /1000 t de residuo (ratio 3:1) el potencial ácido generador es bajo. Aunque también hay que considerar que esta situación puede cambiar en función al área superficial y la disponibilidad de sulfatos de hierro y carbonatos de calcio y magnesio.

Si la diferencia entre NP y AP es negativa, existe alta probabilidad de que se formen ácidos, pero, si esta diferencia es positiva el riesgo de generación ácida es menor.

Cuando los valores de NNP están entre -20 y 20 la predicción de la producción ácida es incierta y algo dificultosa, ya que algunas veces pueden formar acidez en pequeña cantidad o comportarse como una muestra de baja alcalinidad.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL MATERIAL DE DESMONTE SIGNIFICATIVAS A EVALUAR

Para determinar las características físico-químicas del desmonte de mina de la cantera Capilla se siguieron los procedimientos del manual de laboratorio de suelos y las normas internacionales ASTM o AASHTO.

Considerando ambas definiciones se determinó los siguientes ensayos a analizar:

Cuadro N° 08. Ensayos Estándar

Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422	Propiedades físicas
Contenido de humedad ASTM D-2216	Propiedades físicas
Límite Líquido de los suelos, Límite Plástico e Índice de plasticidad ASTM-4318	Propiedades físicas

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 09. Ensayos Especiales

Proctor Modificado ASTM D-1557	Propiedades físicas
Determinación de valor pH. NTP 339.176	Propiedades químicas
Contenido de Sulfatos Solubles NTP 339.177	Propiedades químicas

Fuente: Elaboración Propia

4.2.RESULTADO DE LOS ANÁLISIS

Para determinar los parámetros de calidad del desmonte de mina se tuvo en cuenta 05 muestras seleccionadas por conveniencia en la desmontera Capilla y una al día, cada muestra está conformada por 50 Kg., las que se analizaron en los ensayos respectivos.

4.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

4.2.1.1 ENSAYO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO – NORMA ASTM D422

El ensayo granulométrico nos permitió la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo para clasificar el material de desmonte de mina en los términos de grava, arena, material fino, limo y arcilla. Una vez obtenido cinco muestras uniformes del material (01 muestra por día) nombrados en la investigación como M1, M2, M3, M4 y M5, se realizó el siguiente procedimiento:

- Se dividió la muestra en cuatro partes iguales, tomando y mezclando 02 de las 04 partes, para luego pesar la muestra y secarlo en una cocina a una temperatura máxima entre $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Una vez seca y fría la muestra, ésta se pesó y se anotó el peso de la muestra seca.

- Se procedió a lavar la muestra en una malla N° 200 para evitar que se pierda partículas mayores a 0.074 mm y el material retenido se seca en una cocina a una temperatura máxima entre $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Así se obtiene el peso lavado y seco.
- La muestra es echada por la parte superior de la serie de tamices y con un dispositivo de agitación operado mecánicamente se zarandea por un espacio de 10 minutos.
- Luego de tamizarlo se procedió a pesar el material retenido en cada malla para obtener el porcentaje que pasó por cada uno de los tamices.

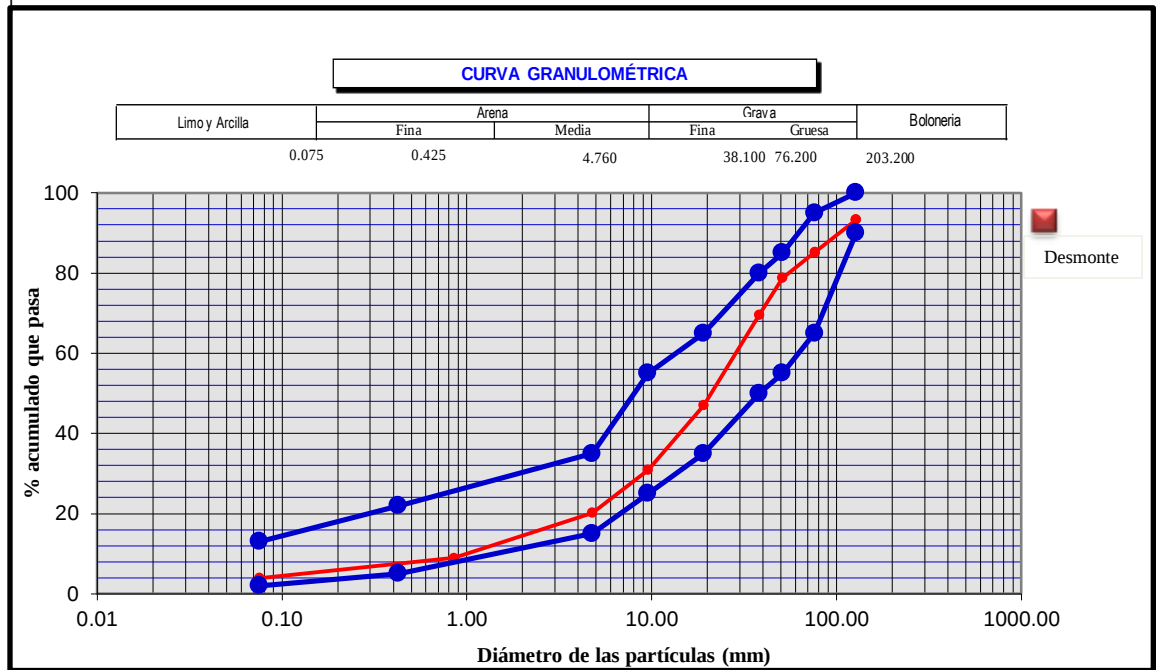
A continuación se detalla los resultados de las 05 muestras del porcentaje (%) de material obtenido, el cual se interpreta en los gráficos 4.2.1.1, 4.2.1.2, 4.2.1.3, 4.2.1.4, 4.2.1.5.

CUADRO N° 4.2.1.1 RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS

Tamiz	Desmonte de mina				
Abertura	M1	M2	M3	M4	M5
(mm)	% de material que pasa	% de material que pasa	% de material que pasa	% de material que pasa	% de material que pasa
127.000	93.3	91.6	90.6	91.7	91.2
101.600	88.8	84.6	85.5	82.5	88.4
76.200	85.2	78.0	81.4	80.1	86.6
50.800	78.8	69.4	73.9	70.0	82.7
38.100	69.6	59.9	66.1	61.3	71.4
25.400	54.6	48.8	54.6	50.0	52.6
19.050	47.0	43.9	47.9	42.4	45.2
12.700	36.8	36.5	39.4	33.2	35.5
9.525	30.9	32.4	34.8	28.0	30.5
4.760	20.2	23.3	24.7	18.2	20.4
2.000	15.1	16.7	19.3	13.1	15.8
0.850	9.0	10.5	14.1	9.2	11.5
0.425	6.5	7.1	11.1	7.0	8.8
0.250	5.7	5.3	9.4	5.8	7.2
0.150	4.7	4.1	8.2	5.0	5.7
0.075	3.9	2.8	6.8	4.2	4.2

Fuente: Elaboración propia

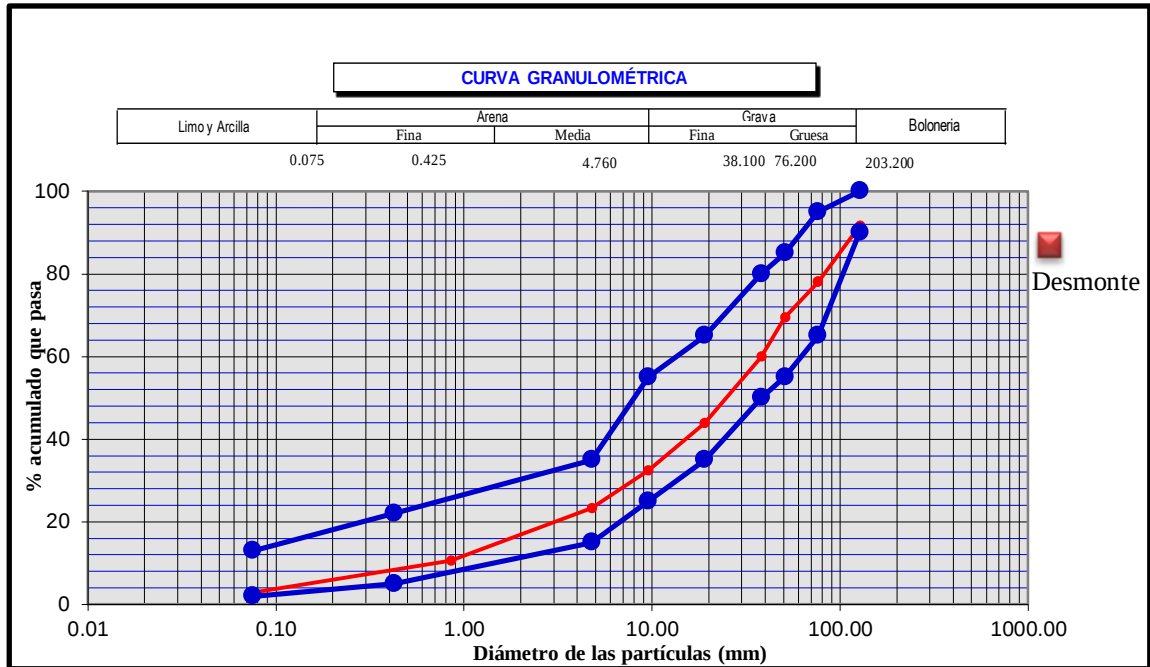
En el cuadro N° 4.2.1.1, se puede identificar el % de material que pasa por cada tamiz para dar la clasificación del tipo de material.

GRÁFICO N° 4.2.1.1 – Curva Granulométrica - Muestra 01

Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico 4.2.1.1; se observa que los valores obtenidos de la muestra 01 para clasificar el tipo del material de desmante de mina fue GP-GC (Grava mal graduada con arcilla), los cuales se encuentran dentro de los parámetros granulométricos establecidos para la construcción del dique de relaves.

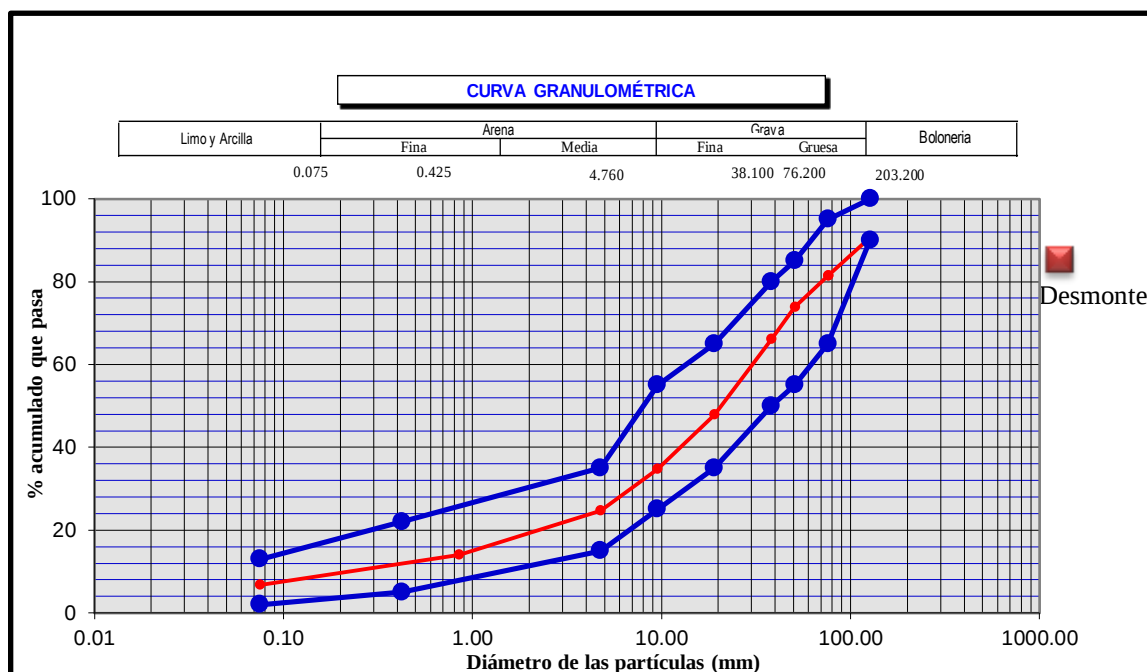
GRÁFICO N° 4.2.1.2 – Curva Granulométrica - Muestra 02



Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico 4.2.1.2; se observa que los valores obtenidos de la muestra 02 para clasificar el tipo del material de desmonte de mina fue GP-GC (Grava mal graduada con arcilla), los cuales se encuentran dentro de los parámetros granulométricos establecidos para la construcción del dique de relaves.

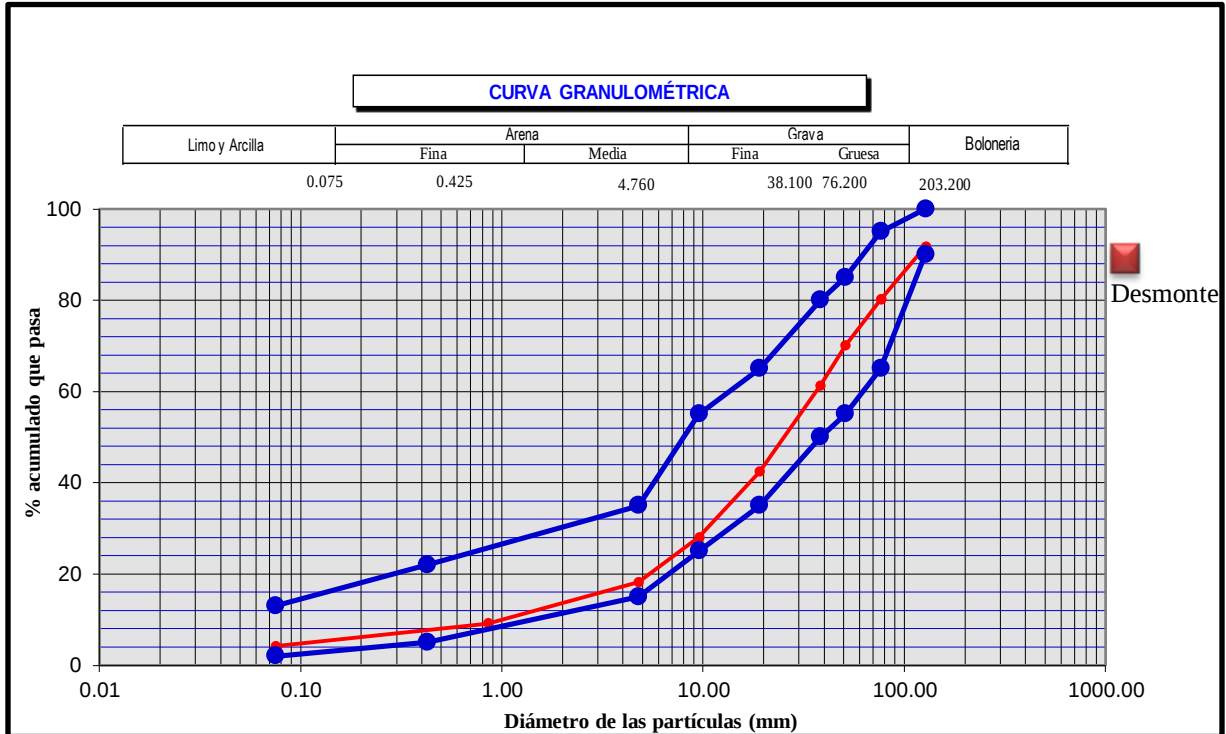
GRÁFICO N° 4.2.1.3 – Curva Granulométrica - Muestra 03



Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico 4.2.1.3; se observa que los valores obtenidos de la muestra 03 para clasificar el tipo del material de desmonte de mina fue GP-GC (Grava mal graduada con arcilla), los cuales se encuentran dentro de los parámetros granulométricos establecidos para la construcción del dique de relaves.

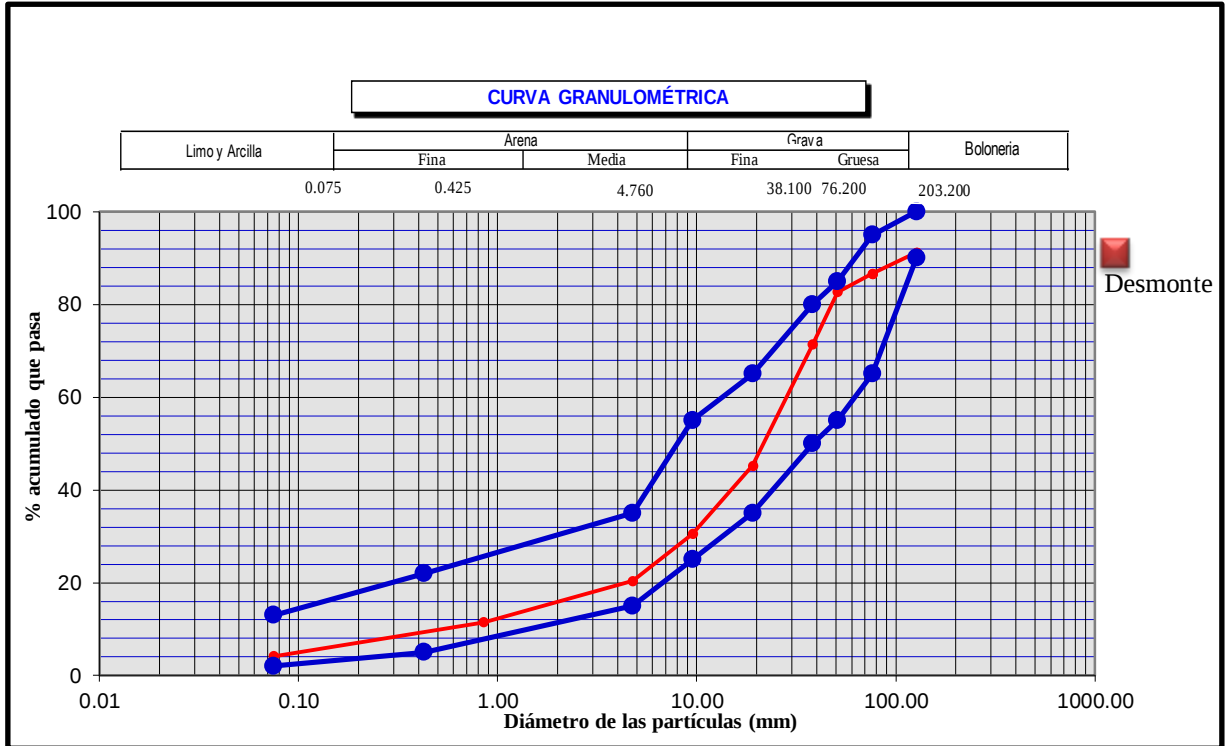
GRÁFICO N° 4.2.1.4 – Curva Granulométrica - Muestra 04



Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico 4.2.1.4; se observa que los valores obtenidos de la muestra 04 para clasificar el tipo del material de desmante de mina fue GP-GC (Grava mal graduada con arcilla), los cuales se encuentran dentro de los parámetros granulométricos establecidos para la construcción del dique de relaves.

GRÁFICO N° 4.2.1.5 – Curva Granulométrica - Muestra 05



Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico 4.2.1.5; se observa que los valores obtenidos de la muestra 05 para clasificar el tipo del material de desmonte de mina fue GP-GC (Grava mal graduada con arcilla), los cuales se encuentran dentro de los parámetros granulométricos establecidos para la construcción del dique de relaves.

4.2.1.2 ENSAYO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD – NORMA ASTM D2216

El ensayo del contenido de humedad tuvo la finalidad de determinar la proporción porcentual entre la fase líquida (agua) y sólida del suelo. Para este análisis se recolectaron 05 muestras del material desmonte de mina (01 muestra por día), protegidas convenientemente para evitar pérdidas de humedad durante el transporte. Luego de pesar las muestras del suelo húmedo más el recipiente que los contiene, se procedió al secado a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, retirado el suelo seco con su recipiente, se pesó la muestra seca y se calculó % de humedad mostrados en el cuadro N° 4.2.1.2.

CUADRO N° 4.2.1.2 Contenido de Humedad

Muestra	TIPOS DE ENSAYO
	Contenido de humedad (%)
	DESMONTE DE MINA
Muestra 01	4.9
Muestra 02	4.0
Muestra 03	4.5
Muestra 04	4.3
Muestra 05	3.7
Promedio	4.28

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N° 4.2.1.2 se pueden apreciar los resultados de la determinación del ensayo del contenido de humedad donde podemos

afirmar que el material de desmonte cumple con el parámetro de calidad establecido para la construcción de diques de relaves.

4.2.1.3 ENSAYO DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG – NORMA ASTM D4318

La consistencia de un suelo es la relativa facilidad con la que puede ser deformado y depende de un contenido de humedad determinado. Para los suelos cohesivos se definen cuatro estados de consistencia: sólido, semisólido, plástico y líquido. La frontera entre tales estados son los llamados límites de Atterberg.

Determinación del límite líquido: Tomadas 05 muestras (01 por día), el procedimiento general consistió en colocar una muestra húmeda en la copa Casagrande, dividirlo en dos con el acanalador y contar el número de golpes requerido para cerrar la ranura.

Determinación del límite plástico: Tomadas 05 muestras (01 por día), el procedimiento general consistió en tomar una muestra húmeda y formar pequeños rollitos hasta un diámetro de 3.2 mm hasta que tienda a desmoronarse que es donde se produce el límite plástico. Se colocan los rollitos en un recipiente y se determina el contenido de humedad.

Determinación del índice de plasticidad: Es la diferencia del límite líquido y el límite plástico. $IP = (LL - LP) \%$.

CUADRO N° 4.2.1.3 Límites de Atterberg

DESMONTE DE MINA		TIPOS DE ENSAYO		
		Límite Líquido (LL) (%)	Límite Plástico (LP) (%)	Índice de plasticidad (LL-LP) (%)
Muestra	Muestra 01	23	16	7
	Muestra 02	21	16	5
	Muestra 03	23	15	8
	Muestra 04	23	16	7
	Muestra 05	24	16	8
	Promedio	23	16	7

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N° 4.2.1.3 se pueden apreciar los resultados de la determinación de los límites de Atterberg de las 05 muestras del desmonte de mina provenientes de la desmontera capilla. Podemos afirmar que el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad que posee el desmonte de mina se encuentran dentro de los parámetros de calidad establecidos para la construcción del dique de relaves.

4.2.1.4 ENSAYO DE DENSIDAD SECA MÁXIMA – NORMA ASTM D 1557

Para este ensayo se recolectaron 05 muestras de material de desmonte de mina, abarcando los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación)

compactados en un molde de 6 pulgadas (152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³).

Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

CUADRO N° 4.2.1.4 Densidad seca máxima

DESMONTE DE MINA		TIPOS DE ENSAYO
		Densidad seca máxima (Kg/m³)
Muestra	Muestra 01	2.235
	Muestra 02	2.267
	Muestra 03	2.256
	Muestra 04	2.267
	Muestra 05	2.301
	Promedio	2.265

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N° 4.2.1.4 se puede apreciar los resultados de la determinación de la densidad seca máxima de las 05 muestras del desmonte de mina provenientes de la cantera capilla. Podemos

afirmar que la densidad seca máxima se encuentra dentro de los parámetros de calidad establecidos para la construcción de dique de relaves.

4.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

4.2.2.1 ENSAYO DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ÁCIDA (ABA)

Para el ensayo ABA, se recolectaron 06 muestras de material desmonte de mina, utilizando 03 muestras para obtener la composición mineralógica, y 03 muestras para identificar si el desmonte de mina es potencialmente tóxico o generador de aguas ácidas.

4.2.2.2 Resultados del Análisis mineralógica por difracción de rayos (DRX) del desmonte de mina.

CUADRO N° 4.2.2.2 Análisis Mineralógica		% Porcentaje en peso			
Nombre del mineral	Formula general	M1	M3	M5	Promedio
Cuarzo	SiO ₂	19	27	34	26.67
Calcita	CaCO ₃	18	21	27	22.00
Feldespato-K (Ortoclase)	KAlSi ₃ O ₈	39	11	0	16.67
Mica(Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	5	9	17	10.33
Dolomita	Ca(Mg,(Fe)(CO ₃) ₂	4	6	12	7.33
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	3	4	6	4.33
Clorita	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	7	5	0	4.00
Pirita	FeS ₂	2	<1	<1	0.00
Anatasa	TiO ₂	<1	<1	<1	<1

Fuente: ALS Corplab 2016

Del cuadro N° 4.2.2.2 los resultados obtenidos corresponde a un material de granulometría fina constituida principalmente por granos de cuarzo, carbonatos y ortoclase; en menor proporción bisulfuro de hierro y oxido de titanio.

Los valores de calcio y ortoclase corresponden principalmente a los carbonatos y feldespatos, los valores de hierro se distribuyen formando sulfuros, silicatos y óxidos; en

el caso de manganeso corresponden a ocurrencias de pirulosita, los valores del cadmio están ligados fundamentalmente a los escasos minerales sulfurados.

4.2.2.3 Potencial neto de neutralización de material de desmonte

Para medir el potencial de generación ácida del material de desmonte de mina, se realizó el ensayo ABA (Balance Ácido Base), obteniendo los siguientes resultados.

CUADRO N° 4.2.2.3 Potencial neto de neutralización

PARAMETROS	SIMBOLOS	UNIDAD	M2	M4	M6	PROM
Azufre	S	%	0.98	1.1	1.93	
Ph		Und.Ph	8.21	8.16	8.3	
Potencial de acidez	PA	kg CaCO ₃ /T	72.5	33.8	60	55.43
Potencial de neutralización	PN	kg CaCO ₃ /T	197	276	215	229.33
Potencial neto de neutralización	PNN	kg CaCO ₃ /T	125	242	155	174
Relación de PN/PA			2.72	8.16	3.58	4.82

Fuente: ALS Corplab 2016

En el cuadro N°4.2.2.3 se aprecia que la evaluación del contenido de azufre como sulfuro y la prueba ácido-base de la muestra permite determinar el potencial neto de neutralización.

PN, PA, y PNN están expresados KgCaCO₃/T. Determinando en base al resultado del potencial neto de neutralización de las muestras que depende del balance de minerales neutralizantes y sulfuros; y considerando que:

Cuadro N° 4.2.2.4 Criterios de estabilidad química

PNN	PN/PA	INTERPRETACION
>20	>3	Bajo o nulo potencial de generación de ácido (La muestra no genera drenaje ácido)
<20	1 a 3	Potencial marginal de generación de ácido (la muestra genera drenaje ácido)
Negativo	<1	Alto potencial de generación de ácido (la muestra tiene alto potencial de ácido)
(-20)y(20) interpretación difícil	>3	Zona de incertidumbre (comportamiento incierto)
	entre 1 y 3	

Fuente: Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas - MEM

Teniendo en cuenta el cuadro N° 4.2.2.3, el valor promedio obtenido de **PNN** en las tres muestras es 174; este valor se encuentra fuera del rango establecido, con lo cual se corrobora que este material no es generadora de ácido.

En cuanto al contenido de azufre, este nos indica la Acidez Potencial Total, la cual tiene relación directa con el PA, y nos demuestra que este material no es generadora de acidez.

4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

CUADRO N° 4.3.1 Ensayo Granulométrico

ENSAYO GRANULOMÉTRICO				
Tamiz Abertura (mm)	% de Material que pasa	Cumplimiento de parámetros	Parámetros de calidad	
127.000	91.68	Sí cumple	90	100
101.600	85.96			
76.200	82.26	Sí cumple	65	95
50.800	74.96	Sí cumple	55	85
38.100	65.66	Sí cumple	50	80
25.400	52.12			
19.050	45.28	Sí cumple	35	65
12.700	36.28			
9.525	31.32	Sí cumple	25	55
4.760	21.36	Sí cumple	15	35
2.000	16			
0.850	10.86			
0.425	8.1	Sí cumple	5	22
0.250	6.68			
0.150	5.54			
0.075	4.38	Sí cumple	2	13

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro N° 4.3.1 se puede afirmar que de acuerdo al análisis granulométrico realizado a las 05 muestras representativas del desmonte de mina, ésta cumple con los valores del rango de los dominios granulométricos establecidos para la construcción del dique

de relaves, siendo clasificado según el ensayo granulométrico como un material de grava arcillosa (GC).

CUADRO N° 4.3.2 Contenido de humedad, Límites de atterberg,

Densidad seca máxima

Ensayo	Desmonte de mina	Cumplimiento de parámetro	Parámetros de calidad	
Contenido de humedad (%)	4.28	Sí cumple	4.00	8.00
Límite Líquido (%)	23.00	Sí cumple	22.00	25.00
Límite plástico (%)	16.00	Sí cumple	14.00	16.00
Índice de plasticidad (%)	7.00	Sí cumple	5.00	10.00
Densidad seca máxima (Kg/m³)	2.265	Sí cumple	2.240	2.280

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro N° 4.3.2 se puede afirmar que al efectuar los ensayos de las propiedades físicas y calidad del material, el desmonte de mina cumple con los parámetros de calidad establecidos para la construcción del dique de relaves.

4.3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

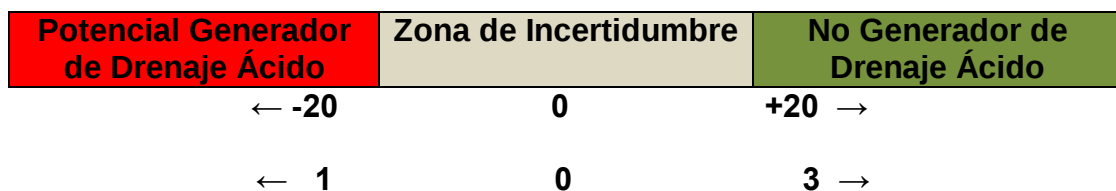
Los criterios que fueron considerados para determinar si el material desmonte de mina es generador de drenaje ácido de roca (DAR) o no, son los siguientes:

CUADRO N° 4.3.3 Criterio de Estabilidad Química

PNN	PN/PA	INTERPRETACION
>20	>3	Bajo o nulo potencial de generación de ácido (La muestra no genera drenaje ácido)
<20	1 a 3	Potencial marginal de generación de ácido (la muestra genera drenaje ácido)
Negativo	<1	Alto potencial de generación de ácido (la muestra tiene alto potencial de ácido)
(-20)y(20) interpretación difícil	>3	Zona de incertidumbre (comportamiento incierto)
	entre 1 y 3	

Fuente: Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas - MEM

Figura N° 1. Interpretación de pruebas Balance Ácido – Base



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.3.4

Propiedades Químicas del desmonte de mina	
PNN	PN/PA
174	4.14

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el cuadro N° 4.3.4, el valor promedio obtenido de **PNN** en las tres muestras es **174**, y el valor promedio del **PN/PA** es **4.82**; estos valores se encuentran fuera del rango establecido, con lo cual se corrobora que este que el potencial de generación de ácido es nulo, es decir material de desmonte de mina no es generadora de ácido.

4.4 CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos de las propiedades físico-químicas, permiten establecer las siguientes conclusiones:

- Las propiedades físico-químicas del material de desmonte de mina significativas a evaluar para la construcción del dique de relaves son los que a continuación se describen en las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM) consideradas para el análisis de los suelos en Laboratorio:
 - Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.
 - Contenido de humedad ASTM D-2216.
 - Límite Líquido de los suelos ASTM D-4318.
 - Límite Plástico e Índice de plasticidad ASTM-4318.
 - Proctor Modificado ASTM D-1557.
 - Determinación de valor pH. NTP 339.176.

➤ Contenido de Sulfatos Solubles NTP 339.177.

- Las propiedades granulométricas del desmonte de mina son:

Cuadro N° 4.4.1 Ensayo Granulométrico

ENSAYO GRANULOMÉTRICO				
Tamiz Abertura (mm)	% de Material que pasa	Cumplimiento de parámetros	Parámetros de calidad	
127.000	91.68	Sí cumple	90	100
101.600	85.96			
76.200	82.26	Sí cumple	65	95
50.800	74.96	Sí cumple	55	85
38.100	65.66	Sí cumple	50	80
25.400	52.12			
19.050	45.28	Sí cumple	35	65
12.700	36.28			
9.525	31.32	Sí cumple	25	55
4.760	21.36	Sí cumple	15	35
2.000	16			
0.850	10.86			
0.425	8.1	Sí cumple	5	22
0.250	6.68			
0.150	5.54			
0.075	4.38	Sí cumple	2	13

Fuente: Elaboración propia.

Este ensayo nos permitió la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo y clasificó al desmonte de mina como un material de grava arcillosa. Se aprecia en el cuadro 4.4.1 que de acuerdo a los parámetros granulométricos de calidad, el

material desmonte de mina cumple con los husos granulométricos establecidos a cumplir para la construcción del dique de relaves.

- El contenido de humedad del desmonte de mina es:

Cuadro N° 4.4.2 Contenido de humedad

Ensayo	Desmonte de mina	Cumplimiento de parámetro	Parámetros de calidad	
Contenido de humedad (%)	4.28	Sí cumple	4.00	8.00

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. De acuerdo a los estándares de calidad, la relación óptima del coeficiente del peso de las partículas sólidas y el peso de agua que guarda está entre un 4.00 y 8.00 (%). La muestra del desmonte de mina con un 4.28% la que cumple con dichos parámetros.

- Los límites de Atterberg del desmonte de mina son:

Cuadro N° 4.4.3 Límites de Atterberg

Ensayo	Desmonte de mina	Cumplimiento de parámetro	Parámetros de calidad	
Límite Líquido (%)	23.00	Sí cumple	22.00	25.00
Límite plástico (%)	16.00	Sí cumple	14.00	16.00
Índice de plasticidad (%)	7.00	Sí cumple	5.00	10.00

Fuente: Elaboración propia.

Los límites de Atterberg son fronteras aproximadas para la clasificación de los suelos cohesivos utilizados para poder identificar las arcillas según su consistencia y comportamiento.

- **Límite Líquido:** El resultado del LL fue de 23.00%, y según su clasificación son consideradas como arcillas arenosas. Cuando el valor del Límite Líquido es muy elevado, la capacidad portante del suelo es muy baja. El parámetro de calidad considerado para el LL varía entre 22.00 y 25.00 (%).
- **Límite Plástico:** El límite plástico es el límite inferior del estado plástico. Un pequeño aumento en la humedad sobre el límite plástico destruye la cohesión del suelo. El límite plástico depende de la cantidad de arcilla presente en el suelo. Para lograr una

mejor compactación al construir un dique, el LP debe variar entre un 14.00 y 16.00 (%). El material de desmonte de mina cumple con los parámetros de plasticidad establecidos.

- **Índice de plasticidad:** El índice de plasticidad indica su capacidad para cambiar de configuración sin alterar el volumen. Los parámetros del índice de plasticidad para la construcción de un dique es de 5.00 a 10.00 (%). La muestra del desmonte de mina con un 7.00 % cumple con dichos parámetros.

- La densidad seca máxima del desmonte de mina es:

Cuadro N° 4.4.4 Densidad seca máxima

Ensayo	Desmonte de mina	Cumplimiento de parámetro	Parámetros de calidad	
Densidad seca máxima (Kg/m ³)	2.265	Sí cumple	2.240	2.280

Fuente: Elaboración propia.

La compactación se define como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de huecos en una masa de suelo, obligando a sus partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado. El parámetro de calidad establecido para la densidad seca máxima es de 2.240 y 2.280 (Kg/m³).

- Las propiedades químicas del desmonte de mina son:

Cuadro N° 4.4.5 Potencial neto de neutralización

Ensayo	Desmonte de mina	Cumplimiento de parámetro	Parámetros de calidad
Potencial neto de neutralización (PNN)	174	Potencial de generación de ácido nulo	>20 Bajo o nulo
PN/PA	4.82	La muestra no genera ácido	>3

Fuente: Elaboración propia.

- **Potencial neto de neutralización:** Según el criterio de estabilidad química cuando el **PNN>+20**, el material no es generador de drenaje ácido. En nuestra investigación el promedio de **PNN=174**, con lo cual se afirma que el material desmonte de mina no genera drenaje ácido.
- **Relación PN/PA:** Según el criterio de estabilidad química cuando el **PN/PA ≥ 3**, no hay generación de acidez. En nuestra investigación el promedio de **PN/PA=4.82**, con lo cual se afirma que el material desmonte de mina no genera drenaje ácido.
- El desmonte de mina sí se ajusta al diseño para la construcción del dique de relaves según el resultado de los ensayos físico-químicos realizados.

4.5 RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de las propiedades físico-químicas del desmonte de mina, se recomienda tomar en consideración como material de préstamo al desmonte de mina para la construcción del dique de relaves de la minera Alpamarca.
- Se recomienda la desmontera Capilla como alternativa de explotación para la conformación del dique de la minera Alpamarca, por tener los volúmenes alcanzables y explotables del material desmonte de mina que satisfacen, tanto la calidad, como la facilidad de accesos y procedimientos de explotación.
- Se recomienda que al momento de la conformación del material de préstamo en la construcción del dique, se realicen los ensayos de propiedades físicas cada 2500 m³ aprox. como control de calidad.
- Manipular y transportar la muestra de tal manera de evitar en lo posible el daño, deterioro o contaminación de la misma.

CAPÍTULO V

ANEXOS

Anexo 1 – Matriz de consistencia.

Anexo 2 – Instrumentos de recolección de datos.

Anexo 3 – Registros de datos de los ensayos.

Anexo 4 – Registros fotográficos.

Anexo 1 – Matriz de consistencia.							
Título: Determinación de características Físico-Químicas del desmonte de mina, para su empleo en la construcción del dique de relaves. Minera Alpamarca. Junín 2016							
PROBLEMA	OBJETIVO	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	MÉTODOS Y TÉCNICAS	POBLACIÓN
		VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES			
GENERAL							
¿Cuáles son las características Físico-Químicas del desmonte de mina, de acuerdo a los ensayos expresados en la norma ASTM correspondiente, para la construcción del dique de relaves?	Determinar las propiedades Físico-Químicas del desmonte de mina, de acuerdo a los ensayos expresados en la norma ASTM correspondiente, para la construcción del dique de relaves.	Características Físico-Químicas del desmonte de mina.			Tipo: Investigación Aplicada. Nivel: No experimental, transeccional descriptivo	Para determinar las propiedades físico-químicas del desmonte de mina, se recurrió al laboratorio de suelos de la compañía minera Alpamarca.	La población objeto de estudio estuvieron constituidos por los desmonte de mina del desmonte capilla y las muestras por una porción 50 Kg no probabilística por conveniencia.
ESPECÍFICOS							
¿Cuáles son las propiedades físico-químicas del material de desmonte significativas a evaluar para la construcción del dique de relaves?	Determinar las propiedades físico-químicas del material de desmonte significativas a evaluar para la construcción del dique de relaves.	Características Físico-Químicas del desmonte de mina.		Número de propiedades físico-químicas a evaluar.			
¿Cuáles son los valores de los ensayos de granulometría del material, mediante la norma ASTM - D422?	Determinar los valores de los ensayos de granulometría del material, mediante la norma ASTM - D422.	Propiedades Físicas del desmonte de mina	Ensayo Granulométrico	Tamaño granulométrico		Norma ASTM - D422	

¿Cuáles son los valores del contenido de humedad mediante la norma ASTM - D2216?	Determinar los valores del contenido de humedad mediante la norma ASTM - D2216.	Características Físicas del desmonte de mina.	Ensayo del contenido de humedad.	– Porcentaje del contenido de humedad.		Norma ASTM - D2216.	
¿Cuáles son los valores de los límites de ATTERBERG mediante la norma ASTM D4318?	Determinar los valores de los límites de ATTERBERG mediante la norma ASTM D4318.	Propiedades Físicas del desmonte de mina.	Ensayo de los límites de Atterberg.	– Porcentaje del límite de plástico. – Porcentaje del límite líquido. – Porcentaje del índice de plasticidad.		Norma ASTM D4318.	
¿Cuáles son los valores de la densidad seca máxima mediante la norma ASTM D1557?	Determinar los valores de la densidad seca máxima mediante la norma ASTM D1557.	Propiedades Físicas del desmonte de mina.	Ensayo de Proctor Modificado	– Densidad seca/Contenido de humedad.		Norma ASTM D1557.	
¿Cuáles son los valores de las propiedades químicas del material?	Determinar los valores de las propiedades químicas del material.	Propiedades Químicas del desmonte de mina.	Ensayo ABA	– Potencial neto de neutralización. – Potencial de acidez. – Potencial de neutralización.		Ensayo ABA	
¿El desmonte de mina se ajusta al diseño para la construcción del dique de relaves?	Determinar si el desmonte de mina se ajusta al diseño para la construcción del dique de relaves.						

Anexo 2 – Instrumentos de recolección de datos.

MATRIZ N° 01

		FORMATO DE CLASIFICACION DE SUELOS													
Proyecto											N° de página				
N° muestra			Cantera			Fecha de muestreo									
CONTENIDO DE HUMEDAD												LÍMITES DE CONSISTENCIA			
FECHA :		PASANTE DE 3"		RETENIDO DE 3"		LÍMITE LÍQUIDO		fecha							
N° de prueba		1	2	1	2	N° prueba		1	2	3					
N° de recipiente						N° de cápsula									
Peso de recipiente						Peso de cápsula									
Peso de reci + suelo húmedo						Peso de cáp + suelo húmedo									
Peso de reci + suelo seco						Peso de cáp + suelo seco									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						N° DE GOLPES									
FRACCION GRUESA		FRACCION FINA		Pesos inicial		LÍMITE PLÁSTICO									
ABERTURA(pulg)	PESO RETEN.	ABERTURA(pulg)	PESO RETEN.	Peso inicial total seco =		N° de prueba		1	2	3					
6"		N° 8	0	peso inicial seco fracion gruesa =		N° de cápsula									
5"		N° 10				Peso de cápsula									
4"		N° 16	0			Peso de cáp + suelo húmedo									
3"		N° 20				Peso de cáp + suelo seco									
2"		N° 30	0	peso inicial seco fracion fina =		OBSERVACIONES									
1 1/2"		N° 40													
1"		N° 50	0												
3/4"		N° 60													
1/2"		N° 100													
3/8"		N° 140	0												
N° 4		N° 200													
CAZUELA		CAZUELA													
PROCTOR MODIFICADO															
FECHA :															
N° de prueba		1		2		3		4							
PESO DEL MOLDE															
VOLUMEN DEL MOLDE															
PESO DEL MOLDE + SUELO COMPACTADO															
CONTENIDO DE HUMEDAD															
N° de recipiente															
Peso de recipiente															
peso de recipiente +suelo húmedo															
peso de recipiente +suelo seco															

Fuente: Minera Alpamarca - 2016

MATRIZ N° 02 Cuadro de Análisis Mineralógica

Análisis mineralógica por difracción de rayos (DRX)		
Nombre del mineral	Fórmula general	Porcentaje en peso

Fuente: Elaboración Propia

MATRIZ N° 03 Cuadro Potencial Neto de Neutralización

Potencial neto de neutralización				
PARÁMETROS	SÍMBOLOS	UNIDAD	L.D.	MUESTRA
Azufre	S	%		
Ph		Und. Ph		
Potencial de acidez	PA	Kg CaCO/T		
Potencial de neutralización	PN	Kg CaCO/T		
Potencial neto de neutralización	PNN	Kg CaCO/T		
Relación de PN/PA				

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3 – Registros de datos de los ensayos.

Alpamarca		FORMATO DE CLASIFICACION DE SUELOS		GEOSERVICE																																																															
Proyecto					N° de pagina																																																														
N° muestra	01	Cantera	CAPILLA		Fecha de muestreo																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CONTENIDO DE HUMEDAD</th> <th colspan="4">LIMITE DE CONSISTENCIA</th> </tr> <tr> <th>FECHA :</th> <th colspan="2">PASANTE DE 3"</th> <th colspan="2">RETENIDO DE 3"</th> <th colspan="3">LIMITE LIQUIDO</th> <th>fecha</th> </tr> <tr> <th>N° de prueba</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>N° prueba</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N° de recipiente</td> <td>T-25</td> <td>T-98</td> <td>T-29</td> <td>T-14</td> <td>N° de capsula</td> <td>T-75</td> <td>T-92</td> <td>T-05</td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente</td> <td>517</td> <td>517</td> <td>533</td> <td>535</td> <td>Peso de capsula</td> <td>46.88</td> <td>45.98</td> <td>68.05</td> </tr> <tr> <td>Peso de reci + suelo humedo</td> <td>3009</td> <td>3005</td> <td>5049</td> <td>4904</td> <td>Peso de cap + suelo humedo</td> <td>89.33</td> <td>89.50</td> <td>108.69</td> </tr> <tr> <td>Peso de reci + suelo seco</td> <td>2889</td> <td>2892</td> <td>4999</td> <td>4338</td> <td>Peso de cap + suelo seco</td> <td>81.94</td> <td>81.36</td> <td>100.92</td> </tr> </tbody> </table>						CONTENIDO DE HUMEDAD				LIMITE DE CONSISTENCIA				FECHA :	PASANTE DE 3"		RETENIDO DE 3"		LIMITE LIQUIDO			fecha	N° de prueba	1	2	1	2	N° prueba	1	2	3	N° de recipiente	T-25	T-98	T-29	T-14	N° de capsula	T-75	T-92	T-05	Peso de recipiente	517	517	533	535	Peso de capsula	46.88	45.98	68.05	Peso de reci + suelo humedo	3009	3005	5049	4904	Peso de cap + suelo humedo	89.33	89.50	108.69	Peso de reci + suelo seco	2889	2892	4999	4338	Peso de cap + suelo seco	81.94	81.36	100.92
CONTENIDO DE HUMEDAD				LIMITE DE CONSISTENCIA																																																															
FECHA :	PASANTE DE 3"		RETENIDO DE 3"		LIMITE LIQUIDO			fecha																																																											
N° de prueba	1	2	1	2	N° prueba	1	2	3																																																											
N° de recipiente	T-25	T-98	T-29	T-14	N° de capsula	T-75	T-92	T-05																																																											
Peso de recipiente	517	517	533	535	Peso de capsula	46.88	45.98	68.05																																																											
Peso de reci + suelo humedo	3009	3005	5049	4904	Peso de cap + suelo humedo	89.33	89.50	108.69																																																											
Peso de reci + suelo seco	2889	2892	4999	4338	Peso de cap + suelo seco	81.94	81.36	100.92																																																											
ANALISIS GRANULOMETRICO																																																																			
FRACION GRUESA		FRACION FINA		Pesos inicial																																																															
ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	Peso inicial total seco =	N° de prueba																																																														
8"	-	N° 8	-	31353	1																																																														
2"	2101	N° 10	208	peso inicial seco fracion gruesa =	2																																																														
4"	1413	N° 16	-		3																																																														
3"	1143	N° 20	269.40																																																																
2"	1991	N° 30	-																																																																
1 1/2"	2882	N° 40	100.40																																																																
1"	4712	N° 50	-	peso inicial seco fracion fina =																																																															
3/4"	2387	N° 60	31.20																																																																
1/2"	3213	N° 100	42.40																																																																
3/8"	1850	N° 140	-	818																																																															
N° 4	3357	N° 200	31.20																																																																
CAZUELA		CAZUELA																																																																	

LIMITE PLASTICO																																															
OBSERVACIONES																																															
	PROCTOR MODIFICADO						-----------------------------------	---	---	---	---		FECHA :						N° de prueba	1	2	3	4		PESO DEL MOLDE						VOLUMEN DEL MOLDE						PESO DEL MOLDE + SUELO COMPACTADO										
CONTENIDO DE HUMEDAD																																															
N° de recipiente																																															
Peso de recipiente																																															
Peso de recipiente + suelo humedo																																															
Peso de recipiente + suelo seco																																															
PESO ESPECIFICO DE MATERIAL GRUESO																																															
FECHA DE ENSAYO :																																															
Material Retenido en el Tamiz (mm)																																															
Ensayo	N°	1	2	3																																											
PESO INICIAL APARENTE	g																																														
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en aire)	g																																														
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en agua)	g																																														
Peso de material seco (105°C)	g																																														

GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C
Héctor C. Sevilla Sanchez
SUPERVISOR

		FORMATO DE CLASIFICACION DE SUELOS							
Proyecto					N° de pagina				
N° muestra		Cantera		Fecha de muestreo					
62		Choclla		09/03/2016					
CONTENIDO DE HUMEDAD					LIMITES DE CONSISTENCIA				
FECHA :	PASANTE DE 3"		RETENIDO DE 3"		LIMITE LIQUIDO				
N° de prueba	1	2	1	2	N° prueba	1	2	3	
N° de recipiente	T-29	T-14	T-98	T-25	N° de capsula	T-25	T-05	T-92	
Peso de recipiente	532	535	517	517	Peso de capsula	46.88	68.05	45.88	
Peso de reci + suelo humedo	2861	2701	3015	4646	Peso de cap + suelo humedo	89.42	113.59	90.96	
Peso de reci + suelo seco	2780	2611	4933	4583	Peso de cap + suelo seco	82.27	105.69	82.86	
ANALISIS GRANULOMETRICO					N° DE GOLPES				
FRACION GRUESA		FRACION FINA		Pesos inicial	LIMITE PLASTICO				
ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	Peso inicial total seco =	N° de prueba	1	2	3	
6"	—	N° 8	—	31089	N° de capsula	T-06	T-09		
5"	2627	N° 10	233.10	peso inicial seco fracion gruesa =	Peso de capsula	11.08	11.19		
4"	2172	N° 16	—		Peso de cap + suelo humedo	28.88	23.11		
3"	2060	N° 20	215.40		Peso de cap + suelo seco	21.22	21.41		
2"	2682	N° 30	—		OBSERVACIONES				
1 1/2"	2947	N° 40	119.0						
1"	3456	N° 50	—						
3/4"	1509	N° 60	63.10	peso inicial seco fracion fina =					
1/2"	2298	N° 100	42.90	818					
3/8"	1284	N° 140	—						
N° 4	2825	N° 200	46.90						
CAZUELA		CAZUELA							
PROCTOR MODIFICADO									
FECHA :									
N° de prueba	1		2		3		4		
PESO DEL MOLDE									
VOLUMEN DEL MOLDE									
PESO DEL MOLDE + SUELO COMPACTADO									
CONTENIDO DE HUMEDAD									
N° de recipiente									
Peso de recipiente									
Peso de recipiente + suelo humedo									
Peso de recipiente + suelo seco									
PEBO ESPECIFICO DE MATERIAL GRUESO					FECHA DE ENSAYO				
Material Retenido en el Tamiz (mm)									
Ensayo	N°	1		2		3			
PESO INICIAL APARENTE	g								
Peso Mat. Sat. Supert. seco (en aro)	g								
Peso Mat. Sat. Supert. seco (en agua)	g								
Peso de material seco (105°C)	g								

GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C

Héctor C. Sevilla Sanchez
SUPERVISOR

Alpamarca		FORMATO DE CLASIFICACION DE SUELOS		GEOSERVICE	
Proyecto					N° de pagina
N° muestra	03	Cantera	CAPILLA	Fecha de muestreo	10/08/2018
CONTENIDO DE HUMEDAD			LIMITES DE CONSISTENCIA		
FECHA :	PASANTE DE 3"		RETENIDO DE 3"		LIMITE LIQUIDO fecha :
N° de prueba	1	2	1	2	N° prueba
N° de recipiente	T-14	T-25	T-98	T-31	N° de capsula
Peso de recipiente	535	517	517	523	Peso de capsula
Peso de reci + suelo humedo	2170	2364	4920	4439	Peso de cap + suelo humedo
Peso de reci + suelo seco	2095	2480	4866	4342	Peso de cap + suelo seco
ANALISIS GRANULOMETRICO			N° DE GOLPES		
FRACION GRUESA		FRACION FINA		PESO INICIAL	
ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	PESO INICIAL total seco =	
6"	-	N° 8	-	32.874	
5"	3089	N° 10	197.6	peso inicial seco fracion gruesa =	
4"	1691	N° 15	-		
3"	1354	N° 20	189.60		
2"	2481	N° 30	-		
1 1/2"	2555	N° 40	108.30		
1"	3978	N° 60	-	peso inicial seco fracion fina =	
3/4"	2191	N° 80	62.50	901	
1/2"	2789	N° 100	44.70		
3/8"	1526	N° 140	-		
N° 4	3315	N° 200	51.20		
CAZUELA		CAZUELA			
OBSERVACIONES					
PROCTOR MODIFICADO					
FECHA :					
N° de prueba	1	2	3	4	
PESO DEL MOLDE					
VOLUMEN DEL MOLDE					
PESO DEL MOLDE + SUELO COMPACTADO					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
N° de recipiente					
Peso de recipiente					
Peso de recipiente + suelo humedo					
Peso de recipiente + suelo seco					
PESO ESPECIFICO DE MATERIAL GRUESO			FECHA DE ENSAYO :		
Material Roturado en el Tamiz (mm)					
Ensayo	N°	1	2	3	
PESO INICIAL APARENTE	g				
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en aire)	g				
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en agua)	g				
Peso de material seco (105°C)	g				

GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C

Héctor C. Sevilla Sánchez
SUPERVISOR

Alpamarca		FORMATO DE CLASIFICACION DE SUELOS		GEOSERVICE	
Proyecto :				N° de pagina :	
N° muestra : 04		Cantera : CADILLA		Fecha de muestreo : 11/08/2016	
CONTENIDO DE HUMEDAD				LIMITES DE CONSISTENCIA	
FECHA :		PASANTE DE 3"		RETENIDO DE 3"	
N° de prueba		1		2	
N° de recipiente		T-98		T-31	
Peso de recipiente		517		523	
Peso de reci + suelo húmedo		2818		5528	
Peso de reci + suelo seco		2533		5261	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				N° DE GOLPES	
FRACCIÓN GRUESA		FRACCIÓN FINA		Pesos inicial	
ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	Peso inicial total seco =	
8"	-	N° 8	-	32.984	
5"	2740	N° 10	278.3	peso inicial seco fracción gruesa =	
4"	3021	N° 16	-	peso inicial seco fracción fina =	
3"	796	N° 20	212.20	1000	
2"	3343	N° 30	-		
1 1/2"	2873	N° 40	119.10		
1"	8724	N° 50	-		
3/4"	2518	N° 60	65.90		
1/2"	3050	N° 100	43.80		
3/8"	1730	N° 140	-		
N° 4	3240	N° 200	46.30		
CAZUELA		CAZUELA			
LIMITES LIQUIDO					
N° de prueba		1		2	
N° de capsula		T-08		T-92	
Peso de capsula		67.91		69.83	
Peso de cap + suelo húmedo		109.84		112.16	
Peso de cap + suelo seco		102.25		104.39	
LIMITES PLASTICO					
N° de prueba		1		2	
N° de capsula		T-01		T-08	
Peso de capsula		17.03		11.09	
Peso de cap + suelo húmedo		17.40		16.42	
Peso de cap + suelo seco		16.49		15.68	
OBSERVACIONES					
PROCTOR MODIFICADO					
FECHA :					
N° de prueba	1		2		3
PESO DEL MOLDE					
VOLUMEN DEL MOLDE					
PESO DEL MOLDE + SUELO COMPACTADO					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
N° de recipiente					
Peso de recipiente					
Peso de recipiente + suelo húmedo					
Peso de recipiente + suelo seco					
PEBO ESPECÍFICO DE MATERIAL GRUESO					FECHA DE ENSAYO :
Material Roturado en el Tamiz (mm)					
Ensayo	N°	1	2	3	
PESO INICIAL APARENTE	g				
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en aire)	g				
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en agua)	g				
Peso de material seco (105°C)	g				

GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C

Héctor C. Sevilla Sánchez
SUPERVISOR

Alpamarca		FORMATO DE CLASIFICACION DE SUELOS		GEOSERVICE	
Proyecto				N° de pagina	
N° muestra : 05		Cantera : Capilla		Fecha de muestreo : 12-08-2016	
CONTENIDO DE HUMEDAD				LIMITE DE CONSISTENCIA	
FECHA :	PASANTE DE 3"		RETENIDO DE 3"		LIMITE LIQUIDO
N° de prueba	1	2	1	2	fecha
N° de recipiente	7-14	7-29	7-25	7-98	N° de prueba
Peso de recipiente	535	532	517	517	N° de capsula
Peso de reci + suelo humedo	2955	3617	3101	5985	Peso de capsula
Peso de reci + suelo seco	2876	3500	5079	5934	Peso de cap + suelo humedo
					Peso de cap + suelo seco
					N° DE GOLPES
ANALISIS GRANULOMETRICO				LIMITE PLASTICO	
FRACION GRUESA		FRACION FINA		Pesos inicial	
ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	ABERTURA (mm)	PESO RETEN.	Peso inicial total seco =	
8"	—	N° 8	—	23503	
20"	2065	N° 10	153.78	peso inicial seco fracion gruesa =	
40"	668	N° 16	—		
60"	424	N° 20	142.69		
80"	922	N° 30	—		
100"	2664	N° 40	91.17		
120"	4412	N° 50	—	peso inicial seco fracion fina =	
140"	1928	N° 60	52.20	6798	
160"	2299	N° 100	48.32		
180"	1186	N° 140	—		
200"	2282	N° 200	52.17		
CAZUELA	8.0	CAZUELA	7.20		
OBSERVACIONES					
PROCTOR MODIFICADO					
FECHA :					
N° de prueba	1		2		3
PESO DEL MOLDE					
VOLUMEN DEL MOLDE					
PESO DEL MOLDE + SUELO COMPACTADO					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
N° de recipiente					
Peso de recipiente					
Peso de recipiente + suelo humedo					
Peso de recipiente + suelo seco					
PESO ESPECIFICO DE MATERIAL GRUESO					
Material Retenido en el Tamiz (mm)					FECHA DE ENSAYO :
Ensayo	N°	1	2	3	
PESO INICIAL APARENTE	g				
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en aire)	g				
Peso Mat. Sat. Superf. seco (en agua)	g				
Peso de material seco (105°C)	g				

GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C.
 Héctor C. Sevilla Sánchez
 SUPERVISOR

Anexo 4 – Registros fotográficos.

Fotografía N° 01 Material de desmonte de mina de la minera Alpamarca



Fuente: Propia.

Fotografía N° 02 Recolección de muestras



Fuente: Propia.

Fotografía N° 03 Ensayo Granulométrico



Fuente: Propia.

Fotografía N° 04 Ensayo de Contenido de humedad



Fuente: Propia.

Fotografía N° 05 Ensayo de Límite líquido



Fuente: Propia.

Fotografía N° 06 Ensayo de Límite plástico



Fuente: Propia.

Fotografía N° 07 Ensayo de Proctor modificado



Fuente: Propia.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- **Alayo, A., Bardales, A. y Vásquez, C.,** (2012). *Laboratorio: Límite Líquido y Límite Plástico*. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote. Facultad de Ingeniería Civil. Recuperado de http://www.academia.edu/7494134/3._TRABAJO_DE_SUELO_I_-_Limite_liquido_y_plastico.
- **Bernal, C.** (2010). *Metodología de la investigación*. 2^{da} ed. México D.F: Pearson Prentice Hall.
- **Bowles, J.** (1981). *Manual de Suelos de Ingeniería Civil*. México: Editorial Mc Graw Hill.
- **Caballero, A.** (2008). *Innovaciones en las guías metodológicas para los planes y tesis de Maestría y Doctorado*. Perú: Instituto Metodológico Alen Caro.
- **Camero, P.** (2000) *Encapsulamiento concurrente de la pirita en presas de relaves*. [Tesis]. Potosi, Bolivia: Universidad Autónoma "Tomas Frias".
- **Cegarra, J.** (2004). *Metodología de la Investigación científica y Tecnológica*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- **Espinace R.** (1979) *Laboratorio de Mecánica de Suelos*. Valparaíso, Chile: UCV
- **Espinace R., Sanhueza C.** (2014) *Texto Guía para la Cátedra de Mecánica de Suelos*. Valparaíso, Chile: UCV
- **Garay G., Hilario, J. y Vargas, R.** (2012). *EL PROYECTO DE INVESTIGACION Guía de elaboración*. Huánuco Imprenta editorial Unión Grafica.
- **Gonzales Paredes, L.A.** (2012). *Disposición final del catalizador pentóxido de vanadio por fijación en una escoria metalúrgica* [Tesis]. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.

- **Hernández R., Fernández C. y Baptista L.** (2010) *Metodología de la investigación*. (5ta. ed.). México: Editorial Mc Graw Hill.
- **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)**, (2004). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. (5ta. ed.). España: Gráficas Chile, S.A.L.
- **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)**, (2006). *Drenaje ácido de mina. Generación y tratamiento*. España: Gráficas Chile, S.A.L.
- **Quezada Lucio N.** (2010). *Metodología de la Investigación, Estadística aplicada en la investigación*. Lima, Perú: Editorial Macro.
- **Norma Técnica Peruana. SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico** [NTP 339.128]. (1999).
- **Norma Técnica Peruana. SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo** [NTP 339.127]. (1998)
- **Norma Técnica Peruana. SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie³))** [NTP 339.141]. (1999)
- **Norma Técnica Peruana. SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos** [NTP 339.129]. (1999)
- **Lillo J. y Oyarzun R.** (2013). *Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera. Principios Básicos*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/316117040/Geologia-Estructural-Mineria>.
- **Ortiz O., Canchari G., Giraldo M.** (2011) *Diseño de disposición conjunta de relaves y desmonte en la mina Yauricocha*. [Tesis]. Perú:

Universidad Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.

- **Wolfgang, G.** (2015). Geología general. Apuntes. Recuperado de <http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05d.htm#Marg>
a