



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

### **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



#### **EVALUACIÓN DE COMPACTACIÓN - CONTENEDOR**

#### **NÚMERO SEIS DEL PROYECTO MINERO TACAZA.**

#### **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

#### **PRESENTADO POR:**

**Bach. QUISPE CHUQUIMIA BRAYAN SALVADOR**

#### **PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

A mi madre María Elvira Chuquimia Arenas por brindarme su apoyo incondicional en mi formación profesional y a mi familia más cercana. A todos Ustedes es una satisfacción y un privilegio dedicarles, con alegría y entusiasmo personal, profesional y también intelectual, los cientos de horas invertidas en este trabajo de investigación, que no es más que la evidencia de la muestra de mi amor y cariño hacia ustedes.

*Brayan Salvador Quispe Chuquimia*



## AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis padres por darme la vida, por los valores y fuerzas para afrontar el día a día, siempre dispuestos a escucharme y a darme su apoyo incondicional.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que fueron parte de mi formación académica-profesional, y que estuvieron siempre dispuestos impartiendo conocimientos y experiencias que fueron vitales en mi aprendizaje.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, mi Alma Mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional, otorgándome parte del conocimiento que he adquirido y que me servirá en mi desenvolvimiento profesional.

*Brayan Salvador Quispe Chuquimia*



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	10
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>II. REVISIÓN LITERARIA</b> .....	12
<b>III. MATERIALES Y METODOS</b> .....	15
3.1. Extracción de muestra .....	15
3.2. Ensayos de laboratorio .....	15
3.2.1. Ensayo de cono de arena. ....	16
3.2.2. Análisis Granulométrico.....	16
3.2.3. Límites de Atterberg.....	17
3.2.4. Clasificación SUCS. ....	19
3.2.5. Compactación Proctor Modificado método “A”. ....	20
3.2.6. Contenido de Humedad. ....	21
3.2.7. Permeabilidad con Carga Constante.....	21
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	22
4.1. Grado de compactación contenedor número seis del proyecto minero Tacaza.....	22
4.2. Resumen de resultados .....	23
4.3. Discusión .....	24
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	24
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	25
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	26

**Área:** Ingeniería de Minas

**Línea:** Geotecnia.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 13 de diciembre del 2019



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de muestreo.....	16
Tabla 2: Puntos de muestreo.....	16
Tabla 3: Análisis granulométrico para el contenedor número seis.....	17
Tabla 4: Límite líquido.....	18
Tabla 5: Límite plástico.....	18
Tabla 6: Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.....	19
Tabla 7: Resumen de la clasificación de suelo.....	20
Tabla 8: Ensayo de compactación proctor modificado.....	20
Tabla 9: Grado de compactación en los puntos de muestreo.....	22



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Grafico del diagrama de porcentaje más fino – diámetro de partícula.....	17
Figura 2: Grafico del diagrama de fluidez para el contenedor número seis. ....	18
Figura 3: Gráfico de la carta de plasticidad .....	18
Figura 4: Curva de compactación peso volumétrico seco – contenido de agua .....	20
Figura 5: Resultados de los análisis de permeabilidad .....	22



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CL: Arcilla de baja plasticidad

ML: Limo de baja plasticidad

GM: Grava limosa

GC: Grava arcillosa

SM: Arena limosa

SC: Arena arcillosa

Cu: Cobre

N: Norte

E: Este

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

SAA: Sociedad Anónima Abierta

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de materiales

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

CIEMSA: Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A

UTM: Universal Transverse Mercator

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar

PETS: Procedimiento Escrito de Trabajo seguro

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes

k: coeficiente de permeabilidad



cm: Centímetros

s: Segundo

mm: Milímetros

g: Gramos

Pulg: Pulgadas

C°: Grados celsius

L.L: Límite liquido

L.P: Limite plástico

I.P: Índice de plasticidad

D60: Diámetro de 60 milímetros

D30: Diámetro de 30 milímetros

D10: Diámetro de 10 milímetros

Cc: Coeficiente de uniformidad

Lbf: libra

KN: Kilonewton

G%: Grado de compactación

MDS: Densidad máxima seca

COA: Contenido óptimo de humedad





## **EVALUACIÓN DE COMPACTACIÓN - CONTENEDOR NÚMERO SEIS DEL PROYECTO MINERO TACAZA**

Brayan Salvador Quispe Chuquimia

Facultad de Ingeniería de Minas, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas – UNA -

PUNO salvadorbrayan9606@gmail.com

### **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad determinar qué influencia tiene la compactación física con la permeabilidad en marco con las normas CONTENEDOR NÚMERO SEIS DEL PROYECTO MINERO TACAZA, los cambios realizados en el diseño de ingeniería de ampliación en cuanto al sistema de disposición de relaves y los parámetros de construcción. Para un análisis y entendimiento adecuado acerca del tema la investigación será centrada en metodologías de revisión descriptiva y de carácter cuantitativo, el objetivo la evaluación del grado de compactación óptima requerida para este proyecto. El depósito de relaves esta inicialmente diseñado para acumular relaves por transporte y deposición, para realizar posibles cambios en la geometría fue necesario realizar antes un nuevo análisis de compactación física del contenedor, para lo cual se tuvo que determinar las características geotécnicas que lo conforman. La teoría, las investigaciones de campo y los ensayos de laboratorio usados para el análisis y diseño de esta propuesta son explicados en los capítulos respectivos. El presente estudio propone que, para realizar el cambio geométrico para la ampliación del contenedor, se debe tener una compactación óptima, de tal manera que dichos cambios para la ampliación puedan aportar positivamente. Los resultados del análisis de compactación del contenedor indican que según su geometría obtiene valores favorables para la sección analizada, certificando una operación segura.

**Palabras clave:** Compactación, Permeabilidad, Ensayos, Geotecnia.



## ABSTRACT

The purpose of this research work is to determine what influence physical compaction has with permeability within the framework of the standards CONTAINER NUMBER SIX OF THE TACAZA MINING PROJECT, the changes made in the expansion engineering design regarding the tailings disposal system and the construction parameters. For an adequate analysis and understanding of the subject, the research will be focused on descriptive and quantitative review methodologies, the objective being the evaluation of the degree of optimal compaction required for this project. The tailings deposit was initially designed to accumulate tailings by transport and deposition, to make possible changes in the geometry it was necessary to carry out a new physical compaction analysis of the container, for which the geotechnical characteristics that make it up had to be determined. The theory, field investigations and laboratory tests used for the analysis and design of this proposal are explained in the respective chapters. The present study proposes that, to carry out the geometric change for the expansion of the container, it must have an optimal compaction, in such a way that said changes for the expansion can contribute positively. The results of the compaction analysis of the container indicate that according to its geometry it obtains favorable values for the analyzed section, certifying safe operation.

**Key words:** Compaction, Permeability, Tests, Geotechnics.



## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enmarca en puntos muy importantes los cuales son: objetivos, aspectos generales del laboratorio de Geotecnia y Geomecánica, caso de estudio, resultados, discusiones conclusiones, recomendaciones y referencias.

Cuando la mina empieza a expandirse en un determinado período de tiempo, se realizan diversos proyectos en este caso una aplicación del contenedor, estos mismos de material cuaternario y los problemas en cuanto a su compactación se vuelven importantes, donde encontramos interacciones con obras civiles; como vías de accesos, y obras mineras, esto podría generar un problema de asentamiento del terreno en cualquier momento si no se tiene un control adecuado, en puntos de obras dichas.

La evaluación de compactación permite crear y/o simular el mejoramiento de las propiedades del suelo que se podrían presentar en los mismos. La evaluación de compactación permite también reducir la permeabilidad del suelo, el escurrimiento y la penetración del agua. Es necesario el conocimiento geológico y geotécnico de los materiales que conforman el contenedor.

Se ha revisado “Análisis de suelos arcillosos compactados para determinar su comportamiento volumétrico. Distrito tres de Diciembre-Año 2015” se centra en el estudio de los suelos arcillosos compactados en especial se analiza su estado inicial: La densidad seca inicial, humedad, presión y microestructura; con ello se pretende determinar el efecto de estos factores en su comportamiento volumétrico cuando se produzcan cambios de humedad (Romero, 2016), otra relacionada a conocer la importancia del estudio geológico - geotécnico y análisis de canteras con el fin de determinar las características físicas de los suelos y rocas que lo conforman para poder emplearlas en la construcción. Además el estudio tiene a bien de identificar las distintas formaciones litológicas del tramo que está constituido por depósitos aluviales de origen lacustrito constituidos de gravas y arcillas inconsolidados de granos finos se puede también observa depósitos residuales constituidos de gravas, arenas y limos con fragmentos de formas sub angulosas en algunos casos (Huarsaya, 2017).

En la tesis “Evaluación geotécnica de la carretera emp. 3s (puno) – Vilque – Mañazo – emp. 34a



(Huataquita)”, la recolección de muestras y posteriores ensayos de laboratorio de mecánica de suelos logró determinar que los segundos estratos en un 75% son suelos finos, conformados por arcillas inorgánicas (CL) y limos inorgánicos (ML) que requieren ser mejorados con material que tenga mayor capacidad de soporte; el 25% restante está conformado por mezclas de gravas y arenas limo-arcillosas (GM, GC, SM y SC), que son considerados de regular a bueno como terreno de fundación (Pomacosi, 2016).

En la tesis “Efecto de la Energía de Compactación en la Densidad Seca Máxima y Contenido Óptimo de Humedad del Suelo Granular de la Cantera el Gavilán, 2015”, analizó el material proveniente de la cantera El Gavilán con el objetivo de determinar la influencia de la energía de compactación con respecto a la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad, se determinó que el material granular requiere de una mayor energía de compactación para obtener la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad (Chirinos, 2016).

## II. REVISIÓN LITERARIA

La compactación de la mezcla se realizará de acuerdo con el equipo

propuesto por el Contratista y aprobado por el Supervisor, durante la ejecución del tramo de prueba, el proceso de compactación se realizará de tal forma que se obtenga un acabado uniforme, en todo el espesor proyectado. Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de 2 horas desde el inicio de la mezcla, la compactación deberá ser el 95% como mínimo, del ensayo MTC E-1102.(MTC, 2015).

En ese sentido, la determinación de la densidad es campo es un parámetro necesario para determinar el grado de compactación, el cual es base para la aceptación de los trabajos de movimiento de tierras, y los métodos estandarizados en nuestro país para la obtención de este parámetro es el método del cono de arena (Zeta, 2019).

La importancia de un estudio granulométrico adecuado del material es esencial como se menciona en la tesis “Geología y geotecnia del área de las obras de derivación del proyecto de optimización del sistema de relaves de la mina Andaychagua. Unidad económica administrativa Yauli Volcan Compañía Minera S.A.A”, la granulometría proporciona una primera aproximación a la identificación del suelo, a este respecto, Atterberg definió



tres límites: el de retracción o consistencia que separa el estado de sólido seco y el semisólido, el límite plástico, que separa el estado semisólido del plástico y el límite líquido, que separa el estado plástico del semilíquido, estos dos últimos límites (los más usados en la práctica) se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40 A.S.T.M (0.1 mm) (Susanibar, 2006).

Es necesario conocer el coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) para determinar si el material utilizado es adecuado, Los núcleos impermeables precisan suelos de baja permeabilidad (en general inferior a  $10^{-5}$  cm/s) y se descartan los suelos colapsables, orgánicos, solubles y de alta plasticidad.

El entorno geológico habitual donde se sitúan estas presas puede responder a formaciones sedimentarias, suelos aluviales, arcillas sobre consolidadas o rocas blandas. Se deben descartar los materiales erosionables dispersivos y solubles, y los de alta permeabilidad (González de Vallejo, 2002).

En el trabajo de investigación (Quisocala, 2013) nos muestra la importancia de la toma de muestras para obtener el coeficiente de permeabilidad

en laboratorio las condiciones geotécnicas se han obtenido las siguientes valuaciones en el eje del dique inferior la calicata C-8, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) representa un tipo de material limo inorgánico de baja plasticidad ML, en el eje del dique superior la calicata C-2 según clasificación SUCS representa un tipo de material de arena arcillosa SC, la permeabilidad media obtenida ha sido de  $1.67 \times 10^{-04}$  cm/s, la permeabilidad baja ha sido de  $1.81 \times 10^{-05}$  cm/s.

Es importante hacer un estudio previo de la geología y geotecnia de la zona de estudio para tener conocimiento de la composición del terreno como se menciona en la tesis “Evaluación geológica - geotécnica para el proceso constructivo de la Avenida Jallihuaya - Puno “donde hace énfasis a la evaluación geológica - geotécnica de la zona es el primer paso para la buena construcción de la vía. Los suelos bajo la sub rasante de la vía, fueron identificados mediante calicatas. Las muestras fueron analizadas y ensayadas en laboratorio. Para la construcción del pavimento se logró la mejor calidad de suelos, que cumplen con los requisitos de las especificaciones técnicas del MTC (Quispe, 2016).



Teniendo un conocimiento de la composición geológica de la zona de trabajo nos facilitara el entendimiento de los materiales compuestos como nos muestra la tesis “Geología y geotecnia de la plataforma de afirmado y cantera de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi, del distrito de Coporaque, provincia Espinar – Cusco” donde hace una evaluación detallada de la importancia de la geología y geotecnia que presenta la carretera existente y los materiales de las canteras, se determinó que la identificación geológica de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco, presenta formaciones del grupo Puno y grupo Barroso de edad Pliocena Pleistocena con depósitos volcánicos, tramos con presencia de depósitos aluviales, rocas intrusivas, las rocas están afectadas por meteorización, su composición predominante varía de diorita a granodiorita. Los resultados de los ensayos realizados en los materiales de la cantera N° 1, se ajusta a lo establecido en las especificaciones técnicas, presenta límite líquido menor al 35%, índice de plasticidad (IP entre 4% - 9%) (Mamani, 2019).

Por tal razón un conocimiento de la composición geológica del área de

estudio es necesaria (Bravo, 2018) nos muestra una descripción detallada de la alteración de mineralización la alteración hidrotermal está dada por carbonatación, débil a moderada agilización y notoria propilitización. Tratándose de mineralización de Cobre, se presenta las 3 típicas zonas de mineralización:

**Zona de oxidación.** Se encuentra en los afloramientos y cerca de la superficie del manto, profundizan 6.50m. Hasta 9.50 m lateralmente alcanza hasta 50.0 m. Se presenta principalmente malaquita, azurita y tenorita, escasa presencia de cobre nativo y limonita, los valores de cobre son variados, alcanzando 5.50% Cu.

**Zona de enriquecimiento secundario.** Se localiza a continuación de la zona de óxidos, es donde se presentan los mejores valores de cobre y da valor a la Mina Tacaza. La mineralización está dada mayoritariamente por calcosina, covelita, digenita, y menos presencia de sulfuros de plomo y plata.

**Zona de sulfuros primarios.** Es la parte más profunda del manto, donde los valores de cobre, plata y otros elementos se presentan sin variación desde la formación del yacimiento.



Así teniendo en cuenta los conceptos teóricos aprendidos en el área de geotecnia los pondremos en práctica como sugiere el trabajo de investigación (Walbrecq, 2016) rediseña el foco de las clases de este curso geotécnico a través del uso de conceptos como de Complex Learning. Complex Learning se refiere a la adquisición de conocimientos y competencias coordinando de manera cualitativa sus habilidades; Generalmente tratando de transferir lo aprendido a la vida cotidiana y laboral.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

La Unidad Minera Tacaza-CIEMSA está ubicada en el distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa, departamento de Puno con coordenadas UTM 315000E, 8272000N a 4,345 m.s.n.m.(Bravo, 2018).

Los materiales utilizados para esta investigación fueron de carácter cuantitativo, extrayendo muestras in situ y realizando ensayos de laboratorio para así obteniendo resultados previa evaluación geotecnia de requerimiento de ensayos como nos sugiere (Pomacosi, 2016).

#### **3.1. Extracción de muestra**

Las muestras fueron extraídas a través de una toma de muestra en tres diferentes puntos del Contenedor

número 6 proyecto minero Tacaza, más representativos tomando en cuenta estándares y protocolos de muestreo para la determinación de las propiedades geotécnicas de los materiales a través de ensayos de laboratorio de suelos.

Una vez extraída la muestra se procede a cubrirla con plástico adhesivo que es más práctico, rápido y tiene igual eficacia que la parafina. Esto se hace con la finalidad de que la muestra no pierda sus propiedades físicas y llegue al laboratorio intacto para obtener datos más certeros.

#### **3.2. Ensayos de laboratorio**

Para las muestras representativas obtenidas durante la investigación geotécnica, se efectuaron ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar las propiedades índices, clasificación y ensayos en el contenedor número seis. Los ensayos de laboratorio se ejecutaron en el Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNA – Puno. Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizó tablas Excel.

A partir de las muestras de suelo extraídas de los materiales se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:



### 3.2.1. Ensayo de cono de arena.

Para poder calcular la densidad in-situ del material se realizó el ensayo de cono de arena (ASTM D 1556-00) siendo un parámetro necesario la determinación de la densidad como nos sugiere (Zeta, 2019), en tres puntos de muestreo distintos: Los puntos de muestreo con las siguientes coordenadas.

**Tabla 1:** Coordenadas de los puntos de muestreo

<i>Puntos de Muestro</i>	<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Altura</i>
PUNTO – 01	827128.1 47	3147770. 748	433356 76
PUNTO – 02	8271288. 66	3148351 .454	43.331.2 08
PUNTO – 03	82713191 .67	3148650 .203	4333.2

Fuente: Elaboración propia

Según la norma (ASTM D 1556-00) cada punto de muestreo hacemos una extracción de muestra cada 0.30 metros de profundidad los cuales son, (punto - 01 – A, punto - 01 – B, punto - 01 – C, punto - 02 – A, punto - 02 – B, punto - 02 – C, punto - 03 – A, punto - 03 – B, punto - 03 – C) del contenedor número seis del proyecto minero Tacaza.

**Tabla 2:** Puntos de muestreo

<i>Puntos de Muestro</i>	<i>ensidad de Suelo Húmedo</i>	<i>Densidad de Suelo Seco</i>
Punto – 01- A	2.05	1.54
Punto – 01- B	1.64	1.24
Punto – 01- C	1.52	1.15
Punto – 02 - A	2.02	1.61
Punto – 02 - B	1.71	1.35
Punto – 02 - C	1.54	1.22
Punto – 03 – A	1.66	1.39
Punto – 03 - B	1.60	1.27
Punto – 03 - C	1.55	1.25

Fuente : Elaboración propia

### 3.2.2. Análisis Granulométrico.

Para el desarrollo de este ensayo se hizo según la norma (ASTM D422-63) con el protocolo y Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS) del laboratorio de Geotecnia y Geomecánica de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNAP, descritas en la sección de gestión de calidad del presente informe.

Para poder realizar el ensayo de análisis granulométrico por tamizado primero se escogió una porción de la muestra y se colocó en el horno por 24 horas, una vez cumplido este tiempo se sacó del horno y se trituro la muestra solo un poco para que el ensayo sea más

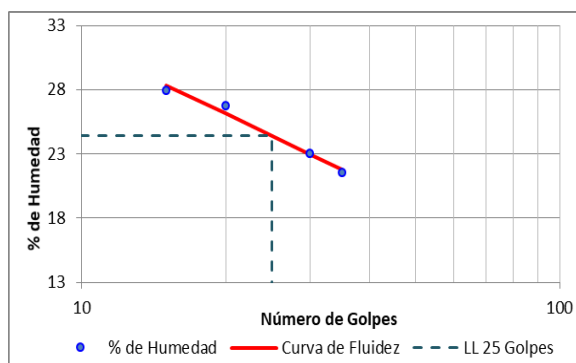




**Tabla 4: Límite líquido**

<i>Limite Liquido</i>				
N° de Tara	I	II	III	IV
Peso Suelo Húmedo + Tara (g)	52.67	55.87	54.46	53.86
Peso de Suelo Seco + Tara (g)	46.54	49.78	48.89	48.32
Peso de Tara (g)	24.60	27.02	24.68	22.64
Peso de Suelo Seco (g)	21.94	22.76	24.21	25.68
Peso de Agua (g)	6.13	6.09	5.57	5.54
Contenido de Humedad (%)	27.94	26.76	23.01	21.57
Número de Golpes	15	20	30	35

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica FIM – UNAP

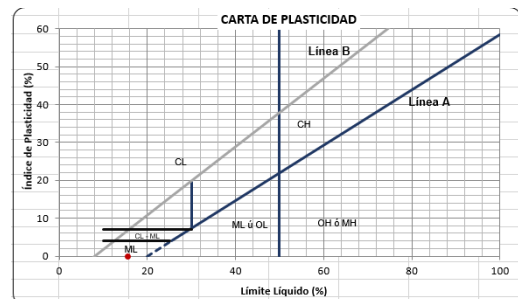


**Figura 2:** Gráfico del diagrama de fluidez para el contenedor número seis

**Tabla 5: Límite plástico**

<i>Limite plástico</i>			
N° de Tara	I	II	III
Peso Suelo Húmedo + Tara (g)	27.54	28.75	28.15
Peso de Suelo Seco + Tara (g)	27.03	28.04	27.54
Peso de Tara (g)	24.22	24.17	24.20
Peso de Suelo Seco (g)	2.81	3.87	3.34
Peso de Agua (g)	0.51	0.71	0.61
Contenido de Humedad (%)	18.15	18.35	18.26

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica FIM – UNAP



**Figura 3:** Gráfico de la carta de plasticidad

**Tabla 6:** Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

L.L. (%)	24.40
L.P. (%)	18.25
I.P.	6.15
Pasa tamiz N° 4 (5mm):	45.43 %
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	1.20 %
D60:	6.51 mm
D30:	0.59 mm
D10 (diámetro efectivo):	0.18 mm
Coefficiente de uniformidad (Cc):	34.34
Grado de curvatura (Gc):	12.04

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica FIM – UNAP

### 3.2.4. Clasificación SUCS.

La determinación del tipo de suelo se realiza mediante la clasificación de suelos SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos) se realizó teniendo como referencia la norma ASTM D 2487-00. Para poder realizar la clasificación del suelo mediante el Sistema Unificado de

Clasificación de Suelos se necesitó evaluar al contenedor, el siguiente resumen de resultados que se muestra en el cuadro.

Se determinaron variables que dependen para una compactación óptima como el tipo de suelo ubicado en el contenedor número seis del proyecto minero Tacaza que estará básicamente conformado según la clasificación suelos (S.U.C.S.) ASTM-D 2487 de partículas Gruesas, Suelo limpio Grava mal graduada con arena (GP) y según la clasificación (AASHTO) ASTM-D 3282 de material granular excelente a bueno como sub grado fragmentos de roca, grava y arena (A-2-4).

**Tabla 7:** Resumen de la clasificación de suelo

<i>Contenedor número seis</i>			
Clasificación	Siglas	Descripción	
(S.U.C.S.) ASTM-D 2487	GP	Suelos de Partículas Gruesas, Suelo limpio Grava mal graduada con arena.	
(AASHTO) ASTM-D 3282	A-2-4	Material granular excelente a bueno como sub grado. Fragmentos de roca, grava y arena.	
Índice de grupo	IG	0	

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica FIM – UNAP

### 3.2.5. Compactación Proctor Modificado método “A”.

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio según la norma (ASTM D - 1557), para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 o 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/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

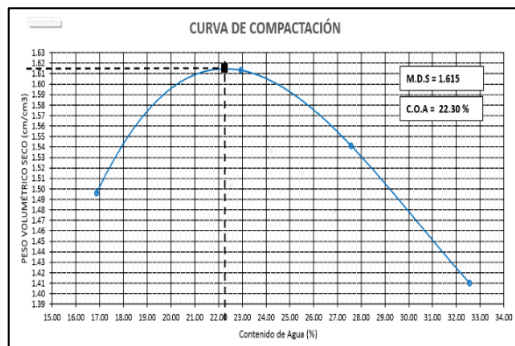
Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

**Tabla 8:** Ensayo de compactación proctor modificado

Molde N°	M-2	Volumen:		937.32			
Método de compactación	A	Operario:	Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica				
Peso suelo molde (gr.)	5813	6017	5926	6033			
Molde (gr.)	4174	4174	4174	4174			
Peso suelo húmedo compactado (gr.)	1639	1843	1752	1859			
Peso volumétrico húmedo (gr.)	1.75	1.97	1.87	1.98			
Recipiente N°	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
Peso suelo húmedo tara (gr.)	207.9'	208.6'	256.5'	256.5'	373.1'	304.7	180.9
Peso suelo seco + tara (gr.)	187.7'	187.7	215.7'	215.7'	297.2	246.2	155.9
Peso tara (gr.)	65.93	65.65	67.69	67.69	65.08	65.71	46.79
Peso agua (gr.)	20.25	20.91	40.83	40.83	75.91	58.52	25.08

Peso de suelo seco (gr.)	121.7	122.1	148.0	148.0	232.2	180.5	109.1
Contenido de agua (%)	16.63	17.12	27.57	27.57	32.69	32.42	22.98
Promedio contenido de agua (%)	16.87	27.57	32.56	22.94			
Peso volumétrico seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.50	1.54	1.41	1.61			

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica FIM – UNAP



**Figura 4:** Curva de compactación peso volumétrico seco – contenido de agua

### 3.2.6. Contenido de Humedad.

La humedad o contenido de humedad según la norma (ASTM D 2216-98) de un suelo es la relación expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo al peso de las partículas sólidas. Este Modo operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno

controlado a  $110 \pm 5$  C°. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas.

### 3.2.7. Permeabilidad con Carga Constante.

Este método de ensayo cubre un procedimiento según la norma (ASTM D - 2434) para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares.

El ensayo estableció valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos presentes en el contenedor. Para reducir la permeabilidad del suelo, el escurrimiento y la penetración del agua es necesario tener un análisis que permita establecer cuan permeable es el suelo para que el agua fluya y el drenaje puede regularse y tener un mejor control

de la cantidad de agua necesaria para una compactación óptima.



**Figura 5:** Resultados de los análisis de permeabilidad

Como se muestra en la Figura 5, la muestra analizada – contenedor es de permeabilidad muy baja obtenido un coeficiente de permeabilidad de  $1.655E-05$ , esto en condiciones estáticas.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos nos permiten un entendimiento del comportamiento y propiedades de los materiales que conforman el proyecto de estudio para una evaluación óptima de compactación.

##### 4.1. Grado de compactación contenedor número seis del proyecto minero Tacaza

Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el grado 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 necesaria.

**Tabla 9:** Grado de compactación en los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Densidad húmeda	Densidad seca	Contenido de Humedad (G%)	Grado de Compactación (G%).
Punto 01 – A	2,05	1,54	32,82	95,64
Punto 01 – B	1,64	1,24	32,34	76,92
Punto 01 – C	1,52	1,15	31,49	71,48
Punto 02 – A	2,02	1,61	25,21	99,97
Punto 02 – B	1,71	1,35	26,17	83,73
Punto 02 – C	1,54	1,22	26,58	75,58
Punto 03 – A	1,66	1,39	18,99	86,32
Punto 03 – B	1,60	1,27	25,85	78,71
Punto 03 – C	1,55	1,25	24,02	77,56

Fuente : Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica FIM – UNAP



## 4.2. Resumen de resultados

Según los resultados obtenidos en el ensayo de compactación Proctor Modificado Método “A” obtuvimos la densidad máxima seca (M.D.S) de 1.615 y el contenido óptimo de humedad (C.O.A) de 22.3 hacemos un análisis de los puntos de muestreo. En el punto - 01 – A una densidad seca de 1,54 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 32.82 mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 95.64 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en el punto - 01 – B una densidad seca de 1,24 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 32.34 mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 76.92 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en el punto - 01– C una densidad seca de 1,15 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 31.49

mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 71.48 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en el punto - 02 – A una densidad seca de 1,61 igual a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 25.21 mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 99.92 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en el punto - 02 – B una densidad seca de 1,35 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 26.17 mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 83.73 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en el punto - 02 – C una densidad seca de 1,22 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 26.58 mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 75.58 % para asegurar que la sub rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en



el punto - 03 – A una densidad seca de 1,39 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 18.99 menor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 86.32 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en el punto - 02 – B una densidad seca de 1,27 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 25.85 mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 78.71 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad, en el punto - 02 – C una densidad seca de 1,25 menor a la densidad máxima seca, un contenido de humedad de 24.02 mayor al contenido óptimo de humedad y un grado de compactación del 77.56 % para asegurar que la sub – rasante es aceptable y de buena funcionalidad.

#### **4.3. Discusión**

Según nuestros resultados obtenidos en la presente investigación se valida los resultados para el estudio

de evaluación de compactación del contenedor número seis del proyecto minero Tacaza, ya que un análisis de compactación define mediante el grado de compactación si este está propenso o no a una buena funcionalidad.

En este caso según los puntos de muestreo punto - 01 – A y punto - 02 – A son mayores al 95 % aceptable según (MTC, 2015) conserva su resistencia e incompresibilidad, presentan una buena funcionalidad y según los puntos de muestreo punto - 01 – B, punto - 01 – C, punto - 02 – B, punto – 02 – C, punto - 03 – A, punto - 03 – B, punto - 03 – C son menores al 95 % esto debido a que su densidad seca obtenida es menor a la densidad máxima seca.

#### **V. CONCLUSIONES**

La evaluación contenedor número seis del proyecto minero Tacaza, de acuerdo a los resultados del presente informe, el contenedor analizado según los puntos de muestreo





punto - 01 - A y punto - 02 - A presentan una compactación aceptable en condiciones estáticas, y según los puntos de muestreo punto 01 - B, punto - 01 - C, punto - 02 - B, punto - 02 - C, punto - 03 - A, punto - 03 - B, punto - 03 - C presentan una compactación desfavorable ya que el terreno puede asentarse o deformarse.

Se identifica que según la clasificación (S.U.C.S.) ASTM-D 2487 de partículas Gruesas, Suelo limpio Grava mal graduada con arena (GP) y según la clasificación (AASHTO) ASTM-D 3282 de material granular excelente a bueno como sub grado fragmentos de roca, grava y arena (A-2-4).

La muestra analizada contenedor número seis del proyecto minero Tacaza es de permeabilidad muy baja obtenido un coeficiente de permeabilidad de  $1.655E-05$  como (Quisocala, 2013) sugiere para obtener

un coeficiente de permeabilidad aceptable para la investigación.

El contenido de humedad obtenido del material compuesto en el contenedor no es adecuado, por presentar un contenido de humedad mayor al óptimo hallado con el ensayo de compactación proctor según los puntos de muestreo, es por eso que el grado de compactación decrece.

## RECOMENDACIONES

Según los datos obtenidos de máxima densidad seca necesita mayor compactación verificando el nivel de energía aplicada con el equipo.

Incluir en el plan de diseño del contenedor número seis, análisis de estabilidad de materiales que conforman la cresta, la parte media y la fundación.

Posteriores trabajos de modificación o diseño del contenedor número 6, deben de ser analizados y asesorados por personal especializado,



teniendo como antecedente el presente estudio.

Se recomienda realizar muestreos sistemáticos del terreno en épocas de precipitación, por los que son condiciones muy desfavorables para la conserva de su resistencia e incompresibilidad.

Se recomienda tener un mayor control del riego por cisterna para no sobrepasar al contenido óptimo de humedad.

Se recomienda un monitoreo planeado del comportamiento a causas de fuerzas externas aplicados al contenedor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bravo, A. (2018). *Ampliación de producción de 570 tmd a 1200 tmd de minerales mediante evaluación de operaciones unitarias y reservas minerales en Unidad Minera Tacaza – CIEMSA*. Universidad Nacional del

Altiplano.

Chirinos, J. C. (2016). *“Efecto de la Energía de Compactación en la Densidad Seca Máxima y Contenido Óptimo de Humedad del Suelo Granular de la Cantera el Gavilán, 2015”*. Universidad Privada del Norte.

González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.

Huarsaya, F. S. (2017). *Evaluación geológica y geotécnica del terreno de fundación y canteras prog. Km 25+470 al Km 35+130. autopista Puno - Juliaca*. Universidad Nacional del Altiplano.

Mamani, H. (2019). *Geología y geotecnia de la plataforma de afirmado y cantera de la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi, del distrito de Coporaque, provincia Espinar – Cusco*. Universidad Nacional del Altiplano.



- MTC, M. de T. y C. (2015). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Pomacosi, W. (2016). *Evaluación geotécnica de la carretera emp. 3s (puno) – Vilque – Mañazo – emp. 34a (Huataquita)*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Quisocala, S. (2013). *Evaluación geológica y geotécnica para la construcción de la presa de tierra en la laguna Palccaccota*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Quispe, C. (2016). *Evaluación geológica - geotécnica para el proceso constructivo de la Avenida Jallihuaya - Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Romero, E. J. (2016). *Análisis de suelos arcillosos compactados para determinar su comportamiento volumétrico. Distrito tres de Diciembre- Año 2015*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Susanibar, J. C. (2006). *Geología y geotecnia del área de las obras de derivación del proyecto de optimización del sistema de relaves de la mina Andaychagua. Unidad económica administrativa Yauli Volcan Compañía Minera S.A.A.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- Walbrecq, N. (2016). *Conceptos de educación en ingeniería aplicados a un módulo geotécnico*. Universidad de Chile.
- Zeta, D. G. (2019). *Análisis comparativo de la utilización del método de cono de arena y densímetro nuclear para determinar densidades de campo en suelos cohesivos para terraplenes procedente de la cantera Ramírez ubicada en el km*



*7+000 de la carretera Piura-  
Paita. Perú.* Universidad Nacional  
de Piura.