



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

**INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL  
COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DE LOS  
SUELOS LIMO – INORGÁNICOS PARA LA  
CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES EN EL DISTRITO  
DE SAN MARTÍN DE PORRES – LIMA**

**PRESENTADA POR**

**HANS ALEXANDER LLACZA CARDENAS**

**ASESOR**

**ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO**

**JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2020**



**CC BY-NC-SA**

**Reconocimiento – No comercial – Compartir igual**

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

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



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL  
COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DE LOS SUELOS  
LIMO – INORGÁNICOS PARA LA CIMENTACIÓN DE  
EDIFICACIONES EN EL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE  
PORRES – LIMA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**LLACZA CARDENAS, HANS ALEXANDER**

**LIMA – PERÚ**

**2020**

Dedico este trabajo de investigación a Dios, por darme vida y salud; a mi padre, Clever Llacza; a mi madre, Elizabet Cardenas y a mi hermano, Kleber, quienes me apoyan en cada etapa de mi vida y me dan ánimos en los momentos más difíciles, son la fuente de inspiración y el pilar emocional para alcanzar los logros que más deseo en esta vida.

## ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
INTRODUCCIÓN	v
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Objetivos	7
1.4. Justificación de la investigación	7
1.5. Alcances y limitaciones	8
1.6. Viabilidad del proyecto	9
1.7. Impacto potencial de la investigación	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.2. Bases teóricas	25
2.3. Definición de términos básicos	48
2.4. Hipótesis	50
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	
3.1. Diseño metodológico	52
3.2. Enfoque de la investigación	52

3.3. Nivel de la investigación	53
3.4. Diseño de la investigación	53
3.5. Población y muestra	54
3.6. Definición de variables	57
3.7. Operacionalización de variables	58
3.8. Técnicas e instrumentos para la obtención de datos	59
3.9. Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos	64

#### CAPÍTULO IV. DESARROLLO

4.1. Caso de la investigación	66
4.2. Procedimiento de trabajo	67
4.3. Trabajos preliminares: extracción y preparación de muestras	68
4.4. Análisis de las muestras por el ensayo granulométrico por tamizado	75
4.5. Análisis de los ensayos de los límites de Atterberg	78
4.6. Clasificación de las muestras estudiadas por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	82
4.7. Análisis del ensayo de compactación de suelos utilizando energía estándar (Proctor estándar)	84
4.8. Análisis del ensayo corte directo	90
4.9. Análisis del ensayo de la gravedad específica de los suelos (picnómetro de agua)	98
4.10. Análisis de la capacidad de cargas aplicadas	100

#### CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1. Resultados con respecto a influencia en la densidad seca	109
5.2. Resultados con respecto a la influencia en la resistencia al esfuerzo cortante	112
5.3. Resultados con respecto a la influencia en la capacidad de cargas aplicadas	113

#### CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Validación de hipótesis	115
6.2. Comparación con los resultados de los antecedentes	119

CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES	127
FUENTES DE INFORMACIÓN	129
ÍNDICE DE ANEXOS	133

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Porcentaje de silicato y resistencia máxima promedio	12
Tabla 2: Comparación de precios de métodos de estabilización	14
Tabla 3: Aumento de las propiedades mecánicas del suelo añadiendo 2% cal hidratada	15
Tabla 4: Tabla comparativa respecto al porcentaje de cenizas de carbón	16
Tabla 5: Tabla de resistencia a la compresión por cantidad de sal (%)	18
Tabla 6: Tabla comparativa de tipos de materiales	24
Tabla 7: Clasificación por tamaño de partículas de los suelos	25
Tabla 8: Caracterización general de los depósitos de relaves polimetálicos de Chile	27
Tabla 9: Elementos químicos que posee el relave polimetálico	28
Tabla 10: Concentraciones de zinc y plomo del relave en estudio	30
Tabla 11: Especificación de cada tamiz normado	34
Tabla 12: Peso que requiere el ensayo respecto al tipo de suelo y tipo de picnómetro	39
Tabla 13: Tiempo de reposo del suelo	42
Tabla 14: Tabla de operalización de variables	58
Tabla 15: Formato para introducir datos del ensayo granulométrico	60
Tabla 16: Formato para introducir datos de los ensayos de límites de Atterberg	61

Tabla 17: Formato para introducir datos de los ensayos de gravedad específica	62
Tabla 18: Formato para introducir datos de los ensayos de proctor estándar	63
Tabla 19: Formato para introducir datos de los ensayos de corte directo	64
Tabla 20: Especificaciones de las muestras para el estudio	74
Tabla 21: Peso de muestra respecto al tamaño de partículas	75
Tabla 22: Datos del ensayo granulométrico de la muestra del suelo al 100%	77
Tabla 23: Datos hallados de los ensayos: límite líquido y límite plástico	81
Tabla 24: Resultados de los ensayos de límites de Atterberg	82
Tabla 25: Datos necesarios para la clasificación de suelos por el SUCS	83
Tabla 26: Cantidades de suelo y relave a usarse	85
Tabla 27: Densidades húmedas del suelo al 100%	87
Tabla 28: Datos para contenido de humedad y la densidad seca	87
Tabla 29: Datos finales del ensayo proctor estándar	89
Tabla 30: Datos deseados del ensayo de corte directo	97
Tabla 31: Dosificaciones de suelo y relave para cada una de las muestras	98
Tabla 32: Datos del ensayo de gravedad específica	100
Tabla 33: Datos básicos obtenidos previamente en los ensayos de laboratorio	103
Tabla 34: Factores de capacidad de carga de las muestras	105
Tabla 35: Factores de capacidad de forma, de carga y de inclinación de cada muestra	107
Tabla 36: Cargas portantes últimas de las muestras	108
Tabla 37: Resultados finales de la capacidad de cargas aplicadas	108
Tabla 38: Influencia del relave a la densidad máxima seca del suelo ML	110
Tabla 39: Influencia del relave a la cantidad de humedad óptima del suelo ML	111
Tabla 40: Influencia del relave al ángulo de fricción del suelo ML	113
Tabla 41: Influencia del relave en la capacidad de carga admisible del suelo ML	114
Tabla 42: Validación de la hipótesis específica n° 1	116
Tabla 43: Validación de la hipótesis específica n° 2	117

Tabla 44: Validación de la hipótesis específica n° 3	118
Tabla 45: Resultado de proctor modificado relave + suelo CL	120
Tabla 46: Influencia del relave al suelo CL	121
Tabla 47: Influencia del Flake Pet al suelo SM	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Suelo limoso inorgánico	2
Figura 2: Mapa de microzonificación de lima metropolitana	3
Figura 3: Diagrama de Ishikawa	6
Figura 4: Cantidad de Silicato (%) respecto al suelo vs Resistencia	12
Figura 5: Gráfica de la máxima fuerza de compresión que genera las diferentes proporciones de cemento MH	13
Figura 6: Grafica de CBR (%) vs cenizas de carbón (%)	16
Figura 7: Gráfica del ensayo proctor con cloruro de sodio al 0% y al 20%	17
Figura 8: Densidad vs contenido de humedad (suelo + relave minero)	19
Figura 9: Variación del CBR con respecto a la cantidad de relave	19
Figura 10: Capacidad portante vs suelo + Flake Pet	20
Figura 11: Fabricación de baldosas con relave minero	21
Figura 12: Tabla de resistencia a la compresión con uso del relave	22
Figura 13: Clasificación del relave por granulometría	23
Figura 14: Cubo de relave según su composición en (%)	27
Figura 15: Relave de flotación de la unidad minera Carhuacayan	31
Figura 16: Balanzas de 0.1% y 0.01 g de sensibilidad usadas en los ensayos de suelos	33
Figura 17: Horno para el secado de muestras	34
Figura 18: Cuchara Casagrande	36
Figura 19: Gráfica de plasticidad	37

Figura 20: Proceso del ensayo de picnómetro de agua	39
Figura 21: Molde del proctor estándar	41
Figura 22: Dispositivo para el ensayo de corte directo	44
Figura 23: Ecuaciones de carga última de Terzaghi	45
Figura 24: Factores para la ecuación general 1	46
Figura 25: Factores para la ecuación general 2	46
Figura 26: Factores para la ecuación general 3	47
Figura 27: Factores para la ecuación general 4	48
Figura 28: Ubicación de la muestra de suelo	55
Figura 29: Ubicación de extracción del relave	56
Figura 30: Ingreso al depósito de relave	56
Figura 31: Extracción de la muestra de relave In Situ	57
Figura 32: Laboratorio E y P de ingeniería S. R. L.	67
Figura 33: Entrada al terreno de muestra	68
Figura 34: Delimitación de la calicata	69
Figura 35: Medición de la delimitación	69
Figura 36: Excavación	70
Figura 37: Medición de la calicata	71
Figura 38: Medición con distanciómetro laser	71
Figura 39: Extracción de la muestra	72
Figura 40: Muestras empacadas y transportadas al laboratorio	73
Figura 41: Cuarteo del suelo alterado	74
Figura 42: Lavado, secado y tamizado de muestras	76
Figura 43: Muestra tamizada y separada en taras	76
Figura 44: Gráfico del análisis granulométrico	78
Figura 45: Materiales para el ensayo de límites de Atterberg	79
Figura 46: Elaboración del ensayo límite líquido	80
Figura 47: Elaboración del ensayo límite plástico	80
Figura 48: Curva de fluidez (límite líquido % vs 25 golpes)	81
Figura 49: Clasificación del suelo en estudio	83
Figura 50: Gráfica de plasticidad	83
Figura 51: Clasificación de nombre del grupo ML del suelo	83
Figura 52: Tamizado del relave, mezclado de relave + suelo y pesado de muestras (2500 gr)	84

Figura 53: Muestra humedecida, compactación de la muestra	86
Figura 54: Pesado del molde proctor con la muestra compactada: suelo 80% + relave 20%	86
Figura 55: Curva de compactación de la muestra del suelo al 100%	88
Figura 56: Curvas de compactación de distintas proporciones (suelo + relave)	89
Figura 57: Introducción del suelo 70% + relave 30% al molde de corte directo	90
Figura 58: Anotación de la deformación unitaria y el esfuerzo cortante del suelo 80% + relave 20%	91
Figura 59: Extracción del espécimen de la máquina de corte	92
Figura 60: Pesado del espécimen húmedo y secado del espécimen	92
Figura 61: Especímenes secos ensayados de la muestra: suelo 50% + relave 50%	92
Figura 62: Curvas de resistencia de la muestra: suelo 100%	93
Figura 63: Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 100%	94
Figura 64: Curvas de resistencia de la muestra: suelo 80% + relave 20%	94
Figura 65: Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 80% + relave 20%	95
Figura 66: Curvas de resistencia de la muestra: suelo 70% + relave 30%	95
Figura 67: Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 70% + relave 30%	96
Figura 68: Curvas de resistencia de la muestra: suelo 50% + relave 50%	96
Figura 69: Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 50% + relave 50%	97
Figura 70: Pesado de muestra: suelo 70% + relave 30%	99
Figura 71: Pesado de picnómetro + agua, pesado del picnómetro + agua + muestra	99
Figura 72: Dimensiones del cimiento de edificación a estudiar	102
Figura 73: Variación de las densidades máximas secas	110
Figura 74: Variación de humedades optimas	111
Figura 75: Variación de los ángulos de fricción	112
Figura 76: Variación de las cargas portantes admisibles	114
Figura 77: Influencia del Flake Pet en la capacidad de carga admisible del suelo SM	122

## **RESUMEN**

Esta tesis promueve el estudio del relave minero como aditivo estabilizante de suelos, específicamente busca determinar la influencia del relave minero en el comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres, Lima - Perú. Esta investigación demuestra cómo la adición de residuos mineros a los suelos limo-inorgánicos, aumenta sus propiedades físicas y mecánicas, logrando con ello aumentar la densidad, el esfuerzo cortante y el soporte de cargas aplicadas del suelo para una mejor cimentación de edificaciones.

Para realizar esta investigación se empleó una metodología experimental, y se contó con pruebas de laboratorio y ensayos técnicos; las muestras de suelo se obtuvieron de una calicata en la zona de estudio, y las muestras de relave fueron extraídas de la unidad minera Carhuacayan, ubicada en el Collpa, Junín – Perú (4200 m.s.n.m.). Después de analizar las muestras de suelo, se concluyó que el relave sí influye positivamente en el incremento de las propiedades físicas de los suelos limo-inorgánicos, los hace significativamente más estables; sin embargo, con respecto a las propiedades mecánicas, se debe cumplir con la restricción de no suministrar

menos del 30% de relave respecto del suelo limo-inorgánico para obtener su incremento.

**Palabras clave:** relave minero, suelos limo-inorgánicos, comportamiento físico, comportamiento mecánico, cimentación de edificaciones.

## **ABSTRACT**

This thesis promotes the study of mining waste as a soil stabilizing additive, specifically it determined the mining waste influence on the physical and mechanical behavior of silt-inorganic soils, for the foundation of buildings in the district of San Martín de Porres, Lima - Perú. This research demonstrated how the mining residues incorporation in silt-inorganic soils increases its physical and mechanical properties, thereby achieving an increase in density, shear stress and soil load support capacity to achieve a better foundation for buildings.

This research used an experimental methodology, and there were laboratory tests and technical tests; the soil sample was obtained from a soil pit in the study area, and mining waste samples were extracted from Carhuacayan mining unit, located in Collpa, Junín - Perú (4200 m.a.s.l.). After the analysis of soil samples, it was concluded that mining residues incorporation in silt-inorganic soils increases its physical properties, making them significantly more stable; however, with respect to mechanical properties, the restriction of not supplying less than 30% of mining waste to silt-inorganic soil must be met to obtain its increment.

**Keywords:** mining waste, silt-inorganic soils, physical behavior, mechanical behavior, foundation for buildings.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, el estudio de diversos aditivos para buscar la estabilización de suelos es adoptada por muchos investigadores, los antecedentes que se pueden encontrar de las investigaciones de la estabilización de suelos para la construcción son diversas, una de ellas es la inserción de aditivos que estabilizan suelos finos: suelos arcillosos y los suelos limosos, estas investigaciones sobre el uso de aditivos son variadas, dependen entre otras del tipo de aditivo que se estudie, puesto que el origen de los aditivos es diverso, estos se pueden obtener naturalmente, por ejemplo, de la cáscara de arroz, o mediante procesos industriales, como es el caso de las cenizas de carbón. En base a lo expuesto, es que el estudio del relave minero como aditivo para los suelos limo-inorgánicos, fue considerado para el desarrollo de este proyecto.

Uno de los problemas más importantes que se tiene en el país es que este posee muchas regiones donde los suelos son inestables, abundan los tipos de suelos arenosos y limosos en las regiones de la costa y sierra peruana, mientras que se encuentran suelos arcillosos en diferentes regiones de la selva. La consecuencia de ignorar este problema en el país es que muchas edificaciones se construyeron y se continúan construyendo sin considerar los futuros daños a las estructuras a causa del tipo de suelo que las soporta. Por lo expuesto, es importante estudiar el comportamiento de los

suelos antes de realizar cualquier construcción u obra civil, se debe evaluar la estabilización del suelo para proceder a realizar el diseño constructivo más seguro e idóneo para cada caso. Para lograr la estabilización de suelos inestables, hoy existen aditivos estabilizadores de los más variados en el mercado, como son los que mejoran la resistencia al corte, la densidad, el contenido de humedad, consolidación entre otras características físicas y mecánicas, para la construcción de carreteras, puentes, edificaciones, etc.; sin embargo, esto genera un sobre costo en el proyecto, por ello es necesario hacer una evaluación costo-beneficio de cada aditivo a utilizar en cada tipo de suelo inestable dependiendo al tipo de construcción a construir.

Otro de los problemas importantes acerca de suelos que se presentan en el país, es sin duda la cantidad de desechos mineros conocidos como relave que se generan producto de la actividad minera, actualmente se produce cientos de toneladas por día de este material, lo que ocasiona una contaminación significativa del medio ambiente. No obstante, estos desechos mineros que abundan en un país como el Perú cuya economía se basa en la actividad extractiva de minerales, han sido poco estudiados desde la perspectiva de su reutilización en la ingeniería civil, específicamente como agregado o aditivo para mejorar las características de la construcción y a mejorar el presupuesto de obra, por ese motivo, esta tesis tiene como objetivo determinar la influencia de los residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres, departamento de Lima.

Como se mencionó, esta tesis se centra en el estudio del relave minero para la estabilización de suelos limo-inorgánicos y presenta entre sus objetivos específicos, determinar la influencia de la aplicación de residuos mineros: en la resistencia al esfuerzo cortante, en la densidad seca máxima y en el soporte de cargas aplicadas del comportamiento físico de los suelos limo-inorgánicos para la cimentación de edificaciones en el área bajo estudio, cuyo suelo fue sometido a cantidades proporcionales de residuos mineros.

Para el desarrollo de los objetivos de este proyecto se realizaron las extracciones de las muestras, tanto de suelo como de relave, también se efectuaron ensayos de laboratorio guiados por el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Todos los ensayos evaluados se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos E y P de Ingeniería S. R. L. (en adelante Laboratorio E y P de Ingeniería), con los datos obtenidos se procedió a hacer tablas comparativas e histogramas para el mejor entendimiento y para lograr el análisis de resultados correspondiente.

Se considera que este estudio es un aporte que impacta positivamente en el campo de la ingeniería civil y en el desarrollo sostenible del medio ambiente y la sociedad en su conjunto, debido a que permitió conocer un potencial aditivo estabilizador de suelos limo-inorgánicos, al analizar las muestras y concluir que el relave sí influye positivamente en el incremento de las propiedades físicas de los suelos limo-inorgánicos, se corroboró que los hace significativamente más estables; sin embargo, con respecto a las propiedades mecánicas, se debe cumplir con la restricción de no suministrar menos del 30% de relave respecto del suelo limo-inorgánico para obtener su incremento.

Este proyecto de tesis presenta la siguiente estructura: en el primer capítulo: Planteamiento del problema, se definen los problemas que presentan los suelos en estudio; la problemática que se puede presentar después de obtener los resultados de la investigación; el objetivo general y los objetivos específicos; la justificación, la importancia y las limitaciones de la investigación.

En el segundo capítulo: Marco teórico, se muestran: los antecedentes nacionales e internacionales relacionadas con la estabilización de los suelos y el uso de los desechos mineros; las bases teóricas, sustentadas especialmente en el conocimiento adquirido y las fuentes de información revisadas durante los cursos de Suelos I y Suelos II de la Universidad de San Martín de Porres; y, la definición de términos.

En el tercer capítulo: Metodología, se explica y se describe la metodología que se usó para este proyecto, se precisa el diseño, el nivel, el enfoque y el tipo de investigación que son de suma importancia para poder clasificar este proyecto. Adicionalmente, aquí se proporciona toda la información acerca de las muestras empleadas para el análisis.

En el cuarto capítulo: Desarrollo, se realizan todos los procedimientos que se realizaron para obtener los datos cuantitativos de las muestras, en base a ellos, se emplearon métodos con tablas estadísticas y trabajos de laboratorio para la mejor comprensión de los procesos.

En el quinto capítulo: Resultados, se muestra los resultados obtenidos después de realizar los diferentes procedimientos, se demuestra que las variaciones porcentuales que se encontraron en los cálculos de estos resultados hallados son favorables para el suelo estudiado elevando sus propiedades físicas y mecánicas.

En el sexto capítulo: Discusión de resultados, se verifica si se cumple las hipótesis específicas planteada en el tercer capítulo, y se comparan los resultados de algunos antecedentes mencionados, como: una investigación que usa el aditivo Flake Pet al suelo areno-limoso y la investigación que usa el relave minero en un suelo arcilloso.

Finalmente, se entregan las conclusiones obtenidas de los resultados calculados, se evalúa la eficacia que dan las muestras de residuos mineros a la muestra de suelo determinado y el impacto de su uso en sector construcción; y se brindan siete recomendaciones acerca de cómo utilizar el relave minero como aditivo en el suelo limo – inorgánico y en la aplicación en otras investigaciones, lo que se considera uno de los aportes más importantes de esta tesis.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del problema**

En el mundo hay muchas variedades de tipos de suelos, estos son distintos, debido a muchos factores: uno de los principales es factor climático, ya que el suelo mayormente se forma de la actividad del agua con la roca y ello conlleva al desprendimiento en pequeñas partículas de la roca, este proceso se le llama erosión según Braja M. Das (2015) en *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* que expone esta teoría. Los tipos de suelos se constituyen dependiendo al tamaño de sus partículas, con ello se denominan: grava, arena, limo y arcilla, los tamaños sus partículas ayudan a diferenciar sobre la estabilidad de un suelo respecto a otro.

Los suelos naturalmente están constituidos por diferentes tamaños de partículas y pueden ser buenos para la construcción, o malos para ello, uno de estos tipos de suelos malos son los que tienen mayormente las partículas menores a 2 mm, estos suelos se les denomina suelos finos, entre ellos suele estar los suelos limosos, este tipo de suelo se encuentra en muchas regiones del Perú. Los suelos que presentan limos son generalmente producto del pasado agrícola del suelo, por lo general estos compuestos del suelo ayudan a que este sea fértil para la siembra de diversos vegetales y/ tubérculos (figura 1), debido a este pasado este tipo de suelo

frecuente presentar problemas de inestabilidad al momento realizar una cimentación, por lo general estos suelos son de baja a moderada plasticidad.

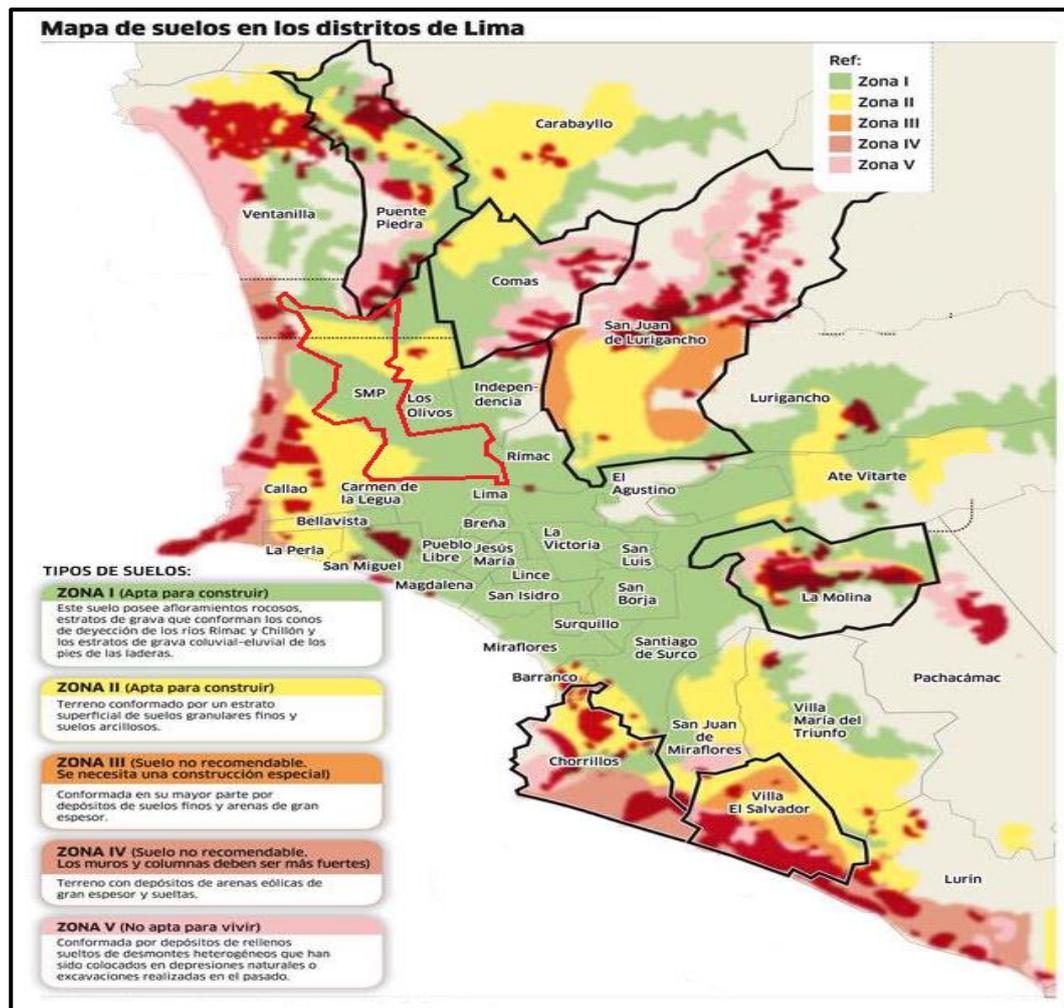


**Figura 1:** Suelo limoso inorgánico

**Elaborada por:** El autor

Analizando y tomando en cuenta la cantidad poblacional del Perú, en la ciudad de Lima, estos tipos de suelos inestables se encuentran en sus diferentes distritos limeños (Figura 2), por lo general los ciudadanos que habitan estos distritos, no llevan los estudios de suelos correspondientes antes de realizar cualquier proyecto de edificación.

Estos distritos poblados presentan gran parte suelos inestables y puede conllevar un riesgo al momento de planear una construcción y no realizar un estudio adecuado del suelo con una estabilización óptima, las consecuencias de ello serían diversas: asentamiento de las edificaciones, colapso de estas, fisuras y/o fracturas, etc.



**Figura 2:** Mapa de microzonificación de lima metropolitana

**Fuente:** Ministerio del Ambiente, 2012

Este tema de investigación se ve algunos antecedentes que tiene el suelo limo-inorgánico perteneciente del distrito del San Martín de Porres, si bien analizando la microzonificación, que se puede apreciar en la figura 2 del distrito en mención, que gran parte de este distrito está constituido por suelo de tipo I y tipo II quiere decir que está constituido por suelo de grava y arena, esta información es generalizada y no es específica para cada sector del distrito, ya que como menciona el *Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de San Martín de Porres al 2021* el tipo de suelo de este distrito se ha ido modificando con el transcurrir de los años, en las primeras etapas el uso del suelo de este distrito era utilizado para el sector agrícola cuando existía antiguas haciendas, con el crecimiento de la migración de personas de otras provincias del Perú y el crecimiento económico

disminuyó el uso de áreas para la agricultura pasando a ser proyectado para uso de edificaciones residenciales, industriales, comerciales, etc. En base a lo expuesto, se puede deducir que el distrito posee, en ciertas zonas, gran cantidad de suelo fino conformado en su mayoría por limos que generalmente están presentes en la agricultura.

Por otro lado, los materiales de residuos de procesos mineros, conocido como relave, es un tipo de material constituido en su mayoría de una serie de minerales que contiene las rocas que fueron desintegrados por una serie etapas de extracción del recurso deseado. Según la *Guía para el Manejo de Relaves Mineros* del Ministerio de Energía y Minas del Perú (2009), el relave minero es el desecho de la extracción mineral que es de dimensiones similares a las arenas y limos, generalmente su fase inicial es de consistencia lodosa del cual se es depositado en diversos depósitos de relave; la consistencia lodosa del relave es por la exposición de la trituración de la roca extraída con agua.

Este material produce una serie de problemas ambientales, debido a sus componentes, si bien el relave en su fase inicial no es tóxico, ya que solo es la combinación de la roca molida más agua, en fases posteriores, algunos componentes de las rocas molidas reaccionan químicamente con el agua: se disuelven con ella convirtiéndose en partículas tóxicas y puede afectar la flora y la fauna del lugar del cual eligen como depósito, que por lo general es la zona más próxima de los trabajos mineros.

Los depósitos relaves de antiguas y modernas minas, que han sido abandonados, producen en el medio ambiente diversos problemas como contaminación del agua del subsuelo; tienen por lo general los compuestos metálicos tóxicos y estas pueden causar enfermedades, por exposición prolongada de estos metales pesados, a personas y animales que habitan en lugares cercanos a los depósitos, deterioro de espacios verdes, etc. Por otro lado, según el *Guía para el Manejo de Relaves Mineros* del Ministerio de Energía y Minas del Perú (2009), una mina activa en el Perú puede producir entre 100 a 500 toneladas por día, produciendo por mes un

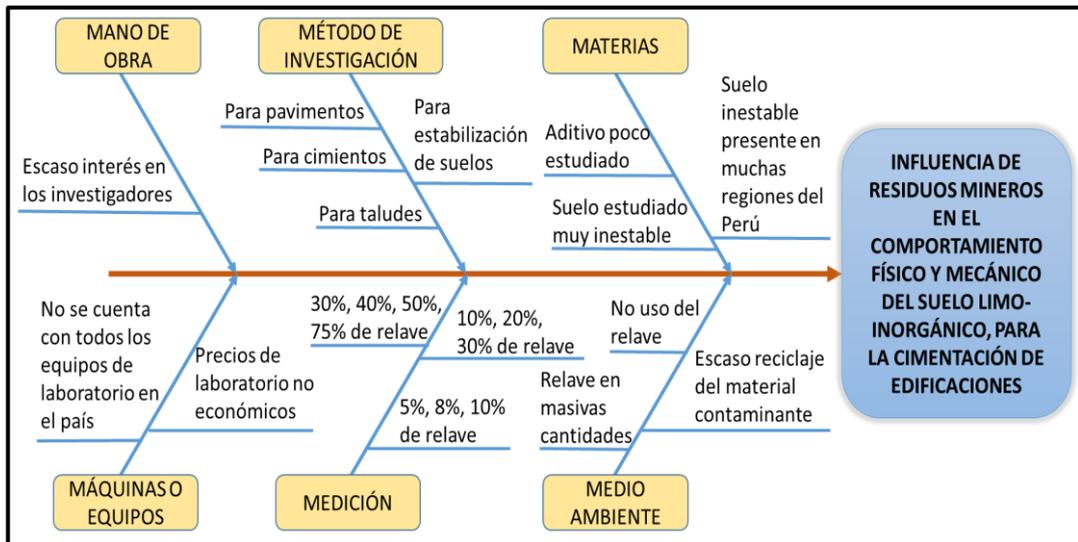
aproximado de entre 3,000 a 15,000 toneladas, y ello calculando por año sería un aproximado de entre 36,000 a 180,000 toneladas de relave, estas cantidades aproximadas solo generan una minera de las más de 176 mineras metálicas que trabajan actualmente en el Perú.

En ese sentido, estos desechos mineros representan una potencial amenaza, debido a que perjudican el ecosistema: son tóxicos para vida animal y humana y se produce, este desecho, en grandes cantidades por día, sin embargo, se encuentran escasos trabajos de investigación, en el ámbito constructivo, usando este tipo de material que resultó beneficioso, aparte que algunas investigaciones son ejecutables mediante la neutralización de los metales tóxicos que contiene el relave para la salud humana. Debido a ello la reutilización del residuo minero, en cantidades masivas, beneficiaría en evitar diversos problemas de estabilización del suelo como también ayudaría en la disminución de la contaminación ambiental.

## **1.2. Formulación del problema**

Para tener algunas referencias sobre los problemas actuales que ocurre actualmente sobre los temas que abarca este proyecto de investigación, se procedió a consultar diferentes expertos que poseen años de experiencia en la rama de la geotecnia, con esta consulta se comenzó a obtener información sobre el uso del relave para los fines de estabilización, las opiniones fueron presentadas en diagramas de Ishikawa, se puede observar un diagrama representativo en la Figura 3.

Este tipo de diagrama facilitó hallar la formulación de problema, así como identificar los objetivos más convenientes para tipo de investigación.



**Figura 3:** Diagrama de Ishikawa

**Elaborada por:** El autor

### 1.2.1. Problema principal

¿Cómo influyen los residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la aplicación de residuos mineros en la densidad seca máxima del comportamiento físico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?
- ¿Cómo influye la aplicación de residuos mineros en la resistencia al esfuerzo cortante del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?
- ¿Cómo influye la aplicación de residuos mineros en el soporte de cargas aplicadas del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de la aplicación de residuos mineros en la densidad seca máxima del comportamiento físico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.
- Determinar la influencia de la aplicación de residuos mineros en la resistencia al esfuerzo cortante del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.
- Determinar la influencia de la aplicación de residuos mineros en el soporte de cargas aplicadas del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.

### **1.4. Justificación de la investigación**

#### **1.4.1. Importancia de la investigación**

La importancia de este tema de investigación es dar a conocer un nuevo material como un aditivo potencial en el mejoramiento de los suelos limo-inorgánicos provenientes del distrito de San Martín de Porres, debido a que este tipo de suelos se encuentra en muchos espacios geográficos del departamento de Lima y otros departamentos del

Perú, dificultando la realización de construcciones de grandes magnitudes, debido a la poca estabilidad y el menor carga portante admisible que estos presentan generando así un aporte a las investigaciones de la ingeniería geotécnica.

Por otro lado, además de beneficiar las características del suelo, genera una ayuda importante en la descontaminación ambiental del país, ya que este tipo de material (relave) perjudica de manera severa al medio ambiente por su elaboración discriminada y por la contaminación de suelos fértiles, por ello este trabajo de investigación busca tratar el relave para mejorar el comportamiento físico y mecánico del suelo, lo que significa, a la vez, proponer un aporte a la descontaminación del medio ambiente y al avance de los estudios de este tipo de aditivos.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

### **1.5.1. Alcances**

Para este proyecto de investigación se obtuvo muestras de suelo del distrito de San Martín de Porres y se determinó diferentes resultados en los ensayos de laboratorio; con ello se ofrecerá información que puede ser usada en otros proyectos de investigación para este tipo de suelo o este nuevo aditivo para la estabilización de suelos finos.

### **1.5.2. Limitaciones**

- La presente investigación se fue limitada en la utilización de los laboratorios de la universidad San Martín de Porres, debido a la pandemia del COVID-19, por ello se buscó laboratorios particulares con el costo, reconocimiento y el tiempo que esto representa.
- Otra limitación que tiene este trabajo de investigación es la obtención de este material para zonas urbanas o zonas que están distantes a la actividad minera, debido a la dificultad del traslado al terreno que contiene un suelo

inestable.

- El material, residuo minero (relave), se utilizó teniéndose en cuenta la bioseguridad, debido a que posee agentes químicos que pueden ser contaminantes para la salud de la persona o personas que lo manejan.

### **1.6. Viabilidad del proyecto**

La ejecución de este proyecto de investigación se considera viable por los siguientes motivos: en el aspecto económico; las muestras de investigación se obtuvo sin costo alguno, ya que la muestra de suelo se extrajo de un terreno de propiedad de un familiar del investigador; por otro lado, el aditivo (relave) se obtuvo de un depósito de relaves de una mina abandonada que pertenece a la unidad minera Carhuacayan, por el cual el costo solo fue del transporte de esta, adicionalmente el costo del transporte es viable económicamente, ya que se contó con una movilidad personal.

Debido a que, no se pudo hacer uso los laboratorios de la universidad se procedió a realizar las cotizaciones y elegir, el procedimiento de los ensayos, a un laboratorio externo particular tomando en cuenta las políticas de bioseguridad del laboratorio, para evitar la propagación de la enfermedad del coronavirus (COVID-19); además que se cuenta con los certificados de calibración de las máquinas a utilizar, el prestigio del laboratorio y la parte económica de esta. Considerando estos aspectos se terminó por elegir el laboratorio E y P INGENIERÍA S.R.L laboratorio de mecánica de suelos, concreto y pavimento; este servicio de laboratorio fue liquidado completamente por el autor del proyecto por la disposición económica de este.

En conclusión, analizando lo expuesto, el proyecto es viable para ejecutarse en su totalidad, por ello se procedió a comenzar hasta finalizar la investigación.

## **1.7. Impacto potencial de la investigación**

### **1.7.1. Impacto potencial teórico**

El impacto de esta tesis consiste en el aporte de dar a conocer un nuevo aditivo para la estabilización de suelos, ya que este tipo de material conocido como relave, no está muy estudiado para la estabilización de suelos y en general para ser reutilizado en la ingeniería civil, dando a conocer la influencia que este relave genera al suelo limo-inorgánico en sus propiedades físicas y mecánicas.

### **1.7.2. Impacto potencial práctico**

El proyecto genera un impacto práctico en el cual se busca promover este tipo de investigaciones con este nuevo material para futuras investigaciones con los residuos mineros, ya sea con el mismo tipo de suelo u otros tipos de suelo en condiciones diferentes, con ello también se promueve una nueva forma de estabilización del suelo mediante la inserción de este aditivo de producción masiva que genera graves daños al medio ambiente.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

En este apartado es necesaria la consulta de diversas investigaciones, para poder entender y tener una base científica de del comportamiento de los suelos relacionados a los suelos finos. Los resultados de las investigaciones fueron de utilidad para poder saber los comportamientos previamente, de los suelos finos con distintos aditivos, para ello se basó en diversas investigaciones nacionales e internacionales.

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

###### **a) Estabilización de suelos limo-arenosos con silicato de sodio (Colombia)**

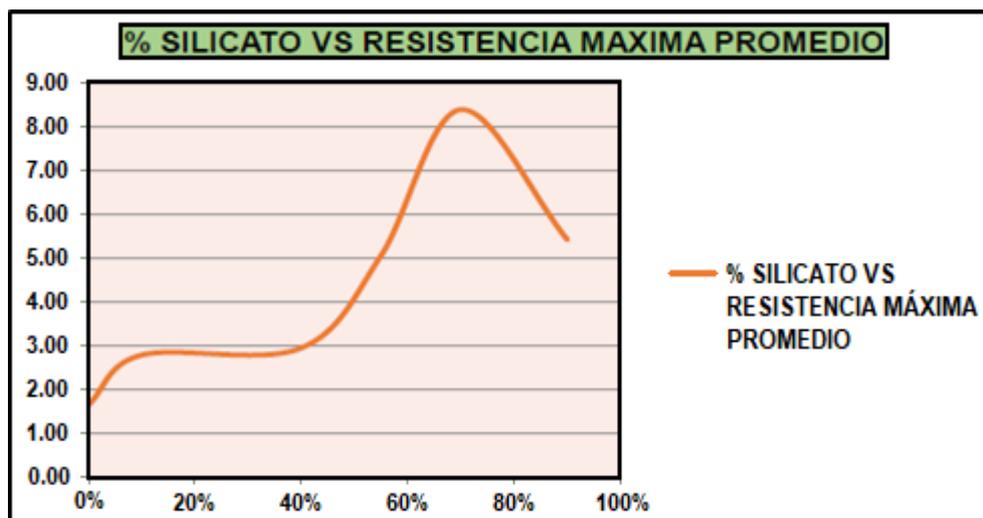
Al realizar el cálculo con los datos sacados, en los ensayos de laboratorio, de la muestra de suelo limo-arenoso con silicato de sodio al 0%, 10%, 40%, 55%, 70% y al 90% de la muestra de suelo antes mencionada, se pudo identificar la mejoría, ya que la muestra de suelo por sí sola genera un esfuerzo al corte promedio de 1.655 KN/cm<sup>3</sup> (Tabla 1) al combinarlo con silicato de sodio con las proporciones ya dadas genera un aumento del 69%, 78%, 206%, 407% y 204% respectivamente, pero en el ensayo del

90% tuvo una caída de un 200% eso quiere decir que entre el 70% de silicato de sodio y el 90% la estabilidad del suelo llega al máximo (Figura 4); se concluye que, aparte de las propiedades estabilizadoras del silicato de sodio, el tipo de suelo areno-limoso en estudio reacciona a agregar aditivos por contener en su composición el tamaño de partículas limosas, eso ayudará en parte a tener una expectativa buena del impacto que dará cualquier otro tipo de aditivo en estudio con este tipo de suelo (Molano M. & Leiton G. 2017).

**Tabla 1:** Porcentaje de Silicato y Resistencia máxima promedio

PORCENTAJE DE SILICATO	RESISTENCIA MAXIMA PROMEDIO
0%	1,655
10%	2,799
40%	2,960
55%	5,071
70%	8,402
90%	5,429

Fuente: Molano y Leiton, 2017

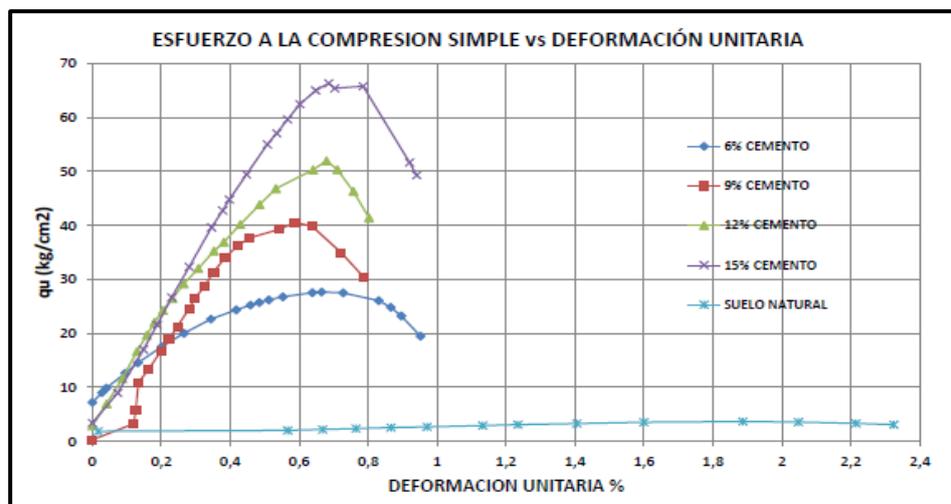


**Figura 4:** Cantidad de Silicato (%) respecto al suelo vs Resistencia

Fuente: Molano y Leiton, 2017

## b) Estabilización de suelos con cemento tipo MH (Ecuador)

Según Jurado C. & Clavijo D. (2016), la muestra de suelo que se extrajo, tuvo una profundidad de 3.50 m mediante los ensayos y pruebas de laboratorio el tipo de suelo encontrado fue limo tipo ML, para este ensayo se trabajó con las proporciones de cemento tipo MH de 6%, 9%, 12% y 15% con respecto a la muestra de suelo, los resultados fueron positivos, dando una mejora en la fuerza de compresión máxima de 28 kg/cm<sup>2</sup>, 40kg/cm<sup>2</sup>, 52kg/cm<sup>2</sup> y 67kg/cm<sup>2</sup> respectivamente como se puede ver en la Figura 5.



**Figura 5:** Gráfica de la máxima fuerza de compresión que genera las diferentes proporciones de cemento MH

Fuente: Jurado y Clavijo, 2016

Este es un buen aditivo para estabilizar el suelo y se concluye, en la investigación, que el suelo limoso de tipo ML reacciona bien con aditivos que no están en su composición; además los costos estudiados por el mismo proyecto de investigación, generarían un costo menor a otros tipos de mejoramiento de la obra de edificación del cual se va a ejecutar, por ejemplo al estabilizar con el 9% de este aditivo, el costo por m<sup>3</sup> es del 61% menos, y si el terreno requiere de más dosificación, estabilizar con el 12% generaría un costo del 80% menos. Este tipo de cemento es bueno estabilizando y su menor costo generaría una importante demanda, para la estabilización de los suelos; sin embargo aunque menor sea el precio, genera un sobre costo, si se ve comparado con un aditivo que puede

obtenerse sin ningún monto de dinero como el relave minero, ya que costo del relave es solo por el flete, mas no por el aditivo en sí.

**Tabla 2:** Comparación de precios de métodos de estabilización

Comparación del costo de Precios Unitarios en relación al más costoso			
Rubro	Unidad	Precio (USD)	Valor (%)
Estabilización con 9% de Cemento	m3	\$30.61	61%
Estabilización con 12% de Cemento	m3	\$39.85	80%
Mejoramiento con material de préstamo Base clase 1	m3	\$49.98	100%
Mejoramiento con material de préstamo Base clase 3	m3	\$46.37	93%
Mejoramiento con material de préstamo Sub-Base clase 1	m3	\$46.64	93%
Mejoramiento con material de préstamo Sub-Base clase 3	m3	\$40.71	81%

Fuente: Jurado y Clavijo, 2016

### c) Estabilización de suelos arenos limosos con cal hidratada para pavimentos (México)

En esta investigación, el uso de este aditivo de cal hidratada (Cal + Agua) se efectuó de manera provechosa mediante la proporción de 2% de cal respecto a los pesos de los suelos que se extrajeron de 16 calicatas, su composición de los suelos en su mayoría eran limosos; se toma como referencia este tipo de investigación, debido a que, el suelo estudiado posee partículas de suelo limoso y esta puede ser comparado a la influencia que da cierto tipo de aditivos al limo del suelo.

Los resultados de proporcionar cal hidratada fueron considerables en la densidad seca máxima con respecto del suelo natural, este tipo de aditivo es una mezcla de cal más agua, por ello se utiliza en estado líquido, con la inserción se obtuvo un aumento del peso volumétrico seco, valor relativo de soporte y valor cementante; esto fue estudiado para pavimentos rígidos y no para cimientos de edificaciones, sin embargo con ello se puede concluir, que el comportamiento en el suelo, es muy notable y genera en el suelo limoso propiedades beneficiosas (Martínez O. 2014).

**Tabla 3:** Aumento de las propiedades mecánicas del suelo añadiendo 2% cal hidratada

Num. de Sondeo	Peso Volumétrico Seco Máximo (kg/m <sup>3</sup> )		Valor Relativo de Soporte (%)		Valor cementante (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Natural	2% de cal	Natural	2% de cal	Natural	2% de cal
1	835.00	880.00	5.45	22.20	3.02	14.02
2	805.00	830.00	5.00	22.88	2.11	13.16
3	845.00	897.00	7.71	28.50	3.91	19.08
4	828.00	852.00	4.92	21.45	2.28	13.82
5	-	-	-	-	-	-
6	800.00	805.00	4.79	22.47	1.97	12.76
7	845.00	875.00	6.13	24.92	3.66	17.82
8	843.00	880.00	6.52	25.80	3.71	18.01
9	831.00	868.00	4.96	23.13	3.16	15.26
10	828.00	859.00	5.62	21.70	2.10	13.91
11	848.00	897.00	6.35	24.47	3.89	18.87
12	845.00	895.00	6.02	23.86	3.71	18.53
13	832.00	870.00	5.98	21.45	3.09	15.61
14	802.00	832.00	4.84	21.64	2.03	12.95
15	835.00	865.00	5.90	22.66	3.08	15.03
16	841.00	890.00	6.92	25.20	3.80	18.77

Fuente: Martínez, 2014

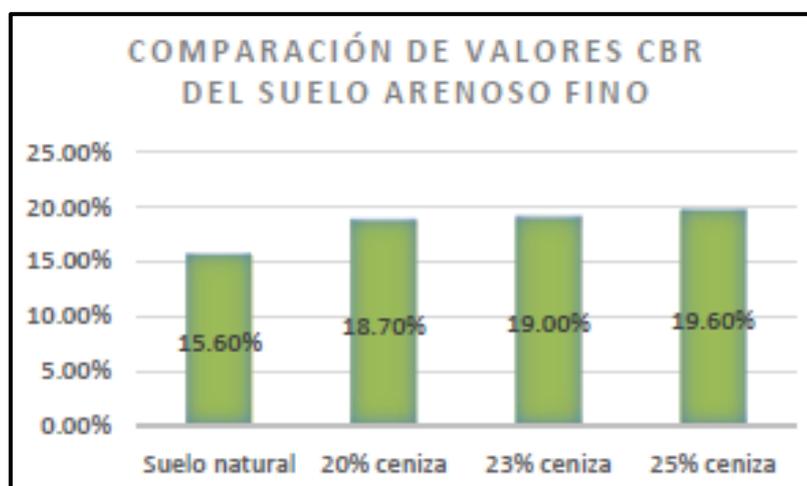
**d) Estabilización de suelos areno-limosos con ceniza de carbón (Ecuador)**

En algunos ensayos de laboratorio, este método de inserción de ceniza de carbón, presenta mejoras en los suelos areno limosos inestables, como se puede apreciar en este trabajo de investigación, las proporciones usadas fueron 20%, 23% y 25% del aditivo; por ejemplo en el ensayo de resistencia al corte, el suelo areno limoso al 100% presenta una resistencia de 0.307 Kg/cm<sup>2</sup>, al combinarlo con las cenizas de carbón aumentó una resistencia máxima de 0.395%, esto se logró al combinarlo con una proporción de 25% del suelo estudiado generando la posibilidad de ser usado en la sub-rasante, debido a que mejoró sus propiedades mecánicas.

**Tabla 4:** Tabla comparativa respecto al porcentaje de cenizas de carbón

TIPO DE SUELO	PORCENTAJE DE CENIZAS DE CARBÓN	VALOR CBR DE LAS ESTABILIZACIONES (%)	VALOR DE LA RESISTENCIA AL CORTE APLICANDO LA ECUACIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
Arena limosa	0%	15.6	0.307
	20%	18.6	0.381
	23%	19.1	0.388
	25%	19.6	0.395

Fuente: Cañar, 2017



**Figura 6:** Grafica de CBR (%) vs cenizas de carbón (%)

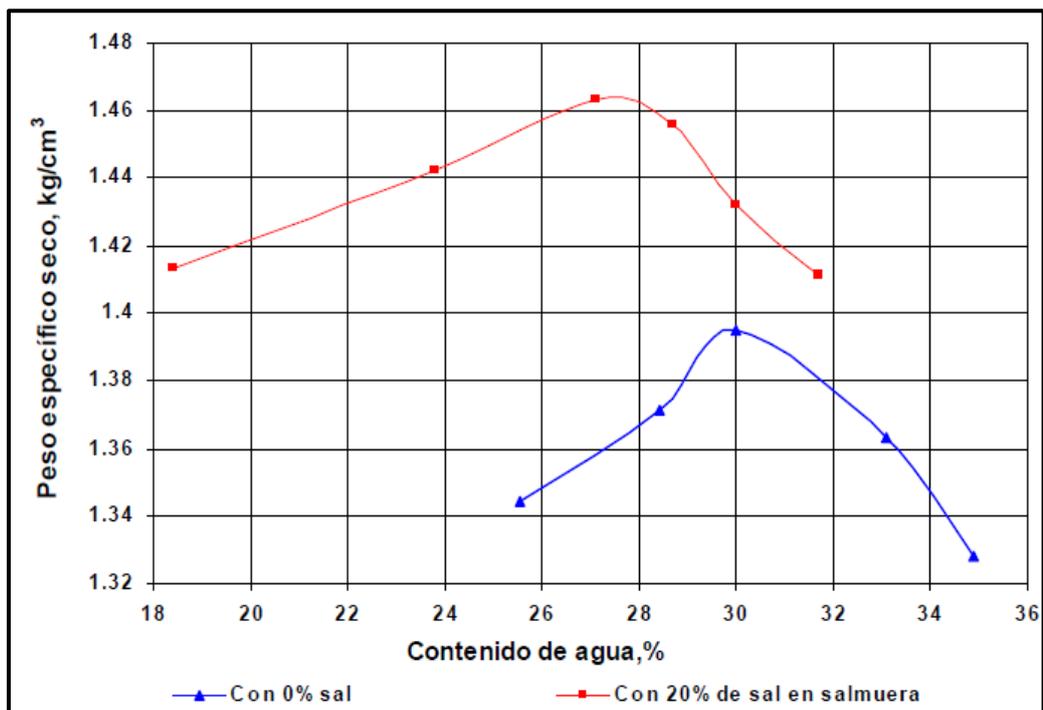
Fuente: Cañar, 2017

Estas mejoras hacen aumentar la estabilidad y se puede ver reflejado en su CBR que llega a 19.60%, en el cual, mientras más cenizas se provee más estable se vuelve, sin embargo en los ensayos que muestran el porcentaje de humedad y la plasticidad de los suelos, se ve que disminuye en un 50% de la humedad de los suelos, esto puede ser beneficioso como también perjudicial, debido a que un suelo con un contenido de humedad no óptimo, no es buena para algunas cimentaciones, ya que algunos procesos de construcción están regidos con la resistencia que genera el contenido de humedad en los suelos (Cañar, E. 2017).

#### e) Estabilización de suelos areno-limosos con cloruro de sodio (México)

En la siguiente investigación con cloruro de sodio, se obtuvo diversos

resultados con la proporciones de 0%, 2%, 5%, 10% y 20% de los cuales fueron beneficiosos en el ámbito experimental, en el caso de la densidad seca y contenido de humedad en el ensayo de compactación (ensayo del proctor) se dio un resultado favorable, debido a que al hacer el ensayo con el suelo natural al 100%, se obtuvo que la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo eran: 1.39 kg/cm<sup>3</sup> y 30% respectivamente, mientras cuando se ensayó con el aditivo en mención al 20% de la muestra de suelo, se obtuvo que estos valores habían cambiado a mejores resultados: 1.48 kg/cm<sup>3</sup> y 27% (Figura 7) respectivamente; eso quiere decir que este tipo de material benefició al suelo aumentando la densidad seca y disminuyendo el contenido de humedad que es lo que se espera en este tipo de ensayos con aditivos diferentes.



**Figura 7:** Gráfica del ensayo proctor con cloruro de sodio al 0% y al 20%

Fuente: Garnica, et al., 2002

En el ensayo de compresión se obtuvo un resultado desfavorable, ya que ello se vio afectado cuando se añadió más cloruro de sodio (sal) a la muestra, esto se obtuvo mediante la inserción del aditivo al 10% de la muestra de suelo respecto al 0%, los resultados fueron que los módulos de

compresión eran: 291Kpa y bajó en 104Kpa, concluyendo que la sal puede ser un aditivo beneficioso para aumentar la densidad, pero no muy bueno para la resistencia a la compresión (Garnica, et al. 2002).

**Tabla 5:** Tabla de resistencia a la compresión por cantidad de sal (%)

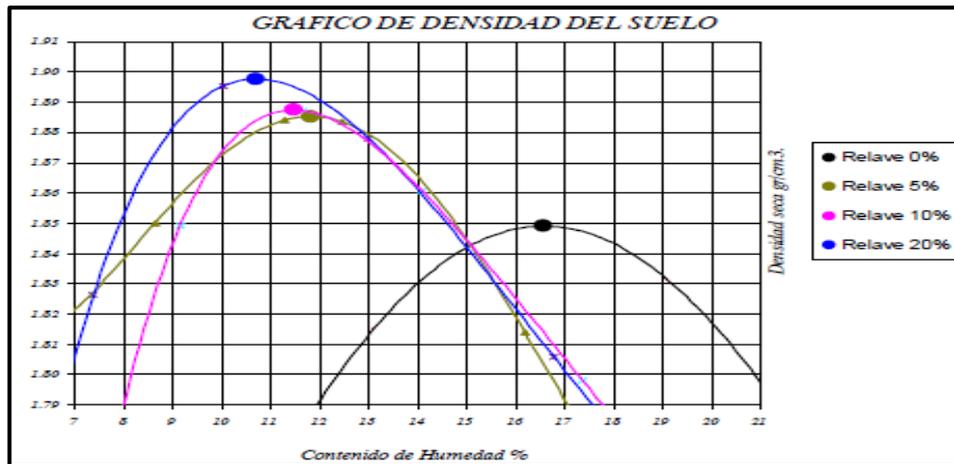
Peso de la muestra (g)	$\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	w (%)	Resistencia a la compresión (kPa)	Módulo de resiliencia					Sal (%)
				13 kPa	27 kPa	39 kPa	55 kPa	69 kPa	
962.49	1.352	24.84	291	283000	196000	16000	145000	141000	0
1056.16	1.490	24.36	184	---	220000	95700	73500	65400	5
1059.18	1.497	24.09	176	199000	80400	49500	41700	38400	10
1009.95	1.334	32.77	---	147000	115000	102000	95900	93300	0
1039.93	1.370	32.87	108	188000	136000	47800	29700	25800	5
1061.05	1.409	32.07	104	193000	149000	59900	34000	23700	10

Fuente: Garnica, et al., 2002

## 2.1.2. Antecedentes nacionales

### a) Estabilización de suelos arcillosos en Huánuco con relave (Huánuco –Perú)

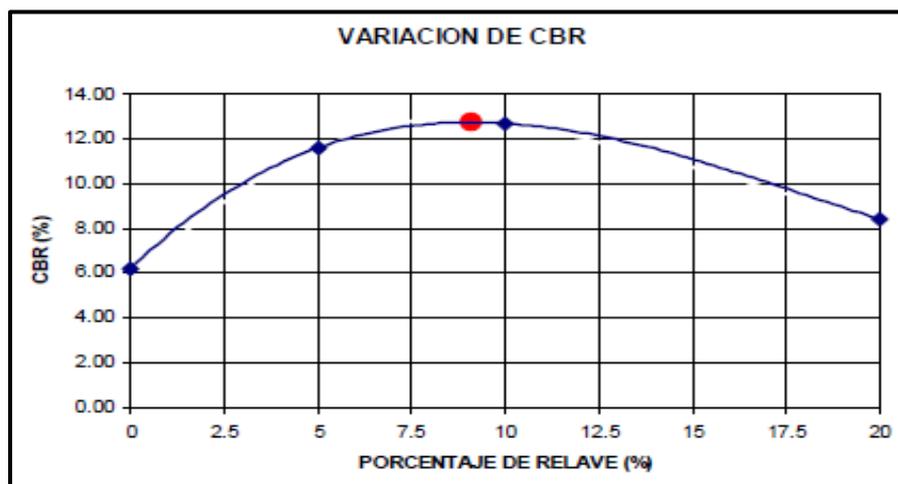
Según Fernandez, J. Huaras, L. Lupaca, J. O'besso, J. & Sanchez, E. (2005), en esta investigación, se logró utilizar el material de relave en un tipo de suelo encontrado en la región de Huánuco, en la investigación dada, este material, dio a ese tipo de suelo algunos aumentos en las propiedades mecánicas que puede ser de interés en este proyecto, las cantidades proporcionales que se usaron fueron 5%, 10% y 20%; por ejemplo los resultados en el ensayo de proctor modificado se obtuvo una mejora en la compactación ,debido a que este material rellenaba espacios vacíos y facilitaba su compactación, aparte de que con poca proporción de agua se llegaba a su cantidad de humedad óptima (reducción del 13% al usar el 10% de relave) para poder llegar a su densidad seca máxima aumentado en 23% (Figura 8).



**Figura 8:** Densidad vs contenido de humedad (suelo + relave minero)

**Fuente:** Fernandez, et al., 2005

En otro ensayo de CBR (California Bearing Ratio), se obtuvo un resultado favorable, debido a que se mostraba con 10% de relave insertado al suelo estudiado, un 6% más, con estos resultados ya analizados, sirvió como referencia para poder estudiar con el suelo elegido por el autor y analizar las características que provee este aditivo, que proviene de la extracción polimetálica de la empresa minera Atachocha. Las características de este tipo de relave estudiado son muy similares, ya que tiene en sus compuestos Zn, Pb, Cu predominantes en todo tipo de relave minero.

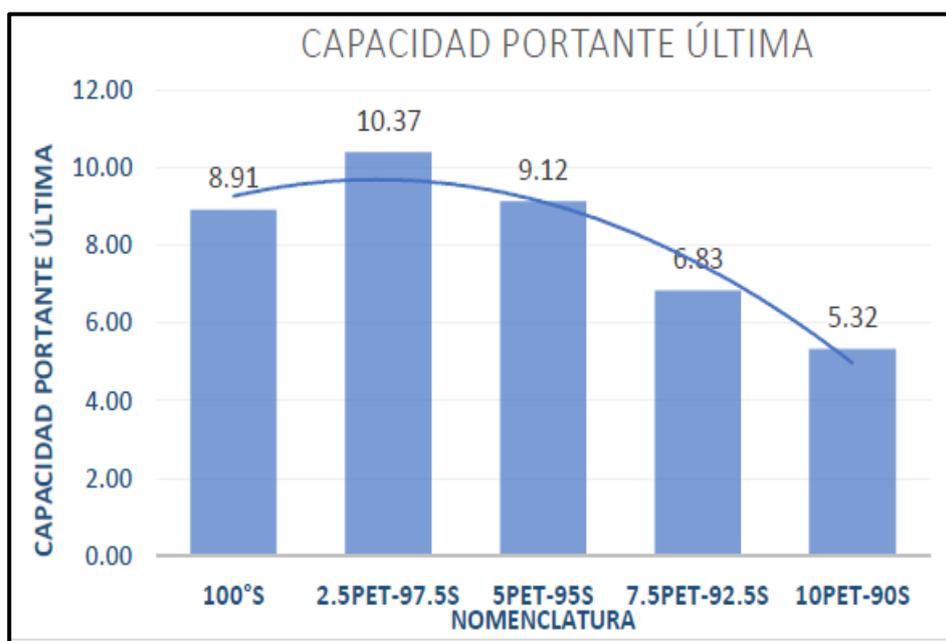


**Figura 9:** Variación del CBR con respecto a la cantidad de relave

**Fuente:** Fernandez, et al., 2005

## b) Estabilización de suelos areno-limosos con escamas de tereftalato de polietileno (Lima-Perú)

En este proyecto, se usaron las cantidades proporcionales de flake PET con respecto al suelo en un 2.5%, 5%, 7.5% y 10%; al adicionar flake PET en un 2.5% con respecto del suelo, que contiene partículas limosas, resulta favorable, ya que ocasiona un leve incremento de aproximadamente 2% en la capacidad portante última; en cambio, agregar tereftalato de polietileno en un 5% mantiene la muestra de suelo en las mismas condiciones. Se puede especular de esto que esta cantidad serviría como materia de reemplazo al terreno, sin embargo, esto no resulta conveniente para grandes cantidades, debido a que estas escamas, al tener un área lisa, no oponen resistencia por la baja fricción que poseen, y conforme se va aumentando este material supone un aumento de área lisa, la que debería ser cortada dentro de la muestra. Debido a esto, el resultado no es favorable, pero de esto se puede concluir que el suelo con partículas limosas no reacciona igual a la variedad de aditivos que pueden llegar a mezclarse (Sinche J. & Zeballos J. 2019).



**Figura 10:** Capacidad portante vs suelo + Flake Pet

**Fuente:** Sinche y Zeballos, 2019

### c) Relave minero para la fabricación de ladrillos (Lima-Perú)

El relave minero fue estudiado y comprobado para poder ser utilizado como otros tipos de agregados: agregado para la fabricación de ladrillos, si bien es cierto que los relaves mineros son tóxicos para la salud; según Romero A. & Flores S. (2010), para poder usar y hacer que el relave no contamine, se debe crear un proceso de micro cristalización, esto permite que los metales pesados peligrosos al medio ambiente, se cristalicen y se conviertan en compuestos inertes y seguros para trabajar; obtener esta micro cristalización es posible mediante la inserción de cemento, la cantidad de cemento que se debe usar debe estar comprendido entre el 9% al 16% del peso del relave, para poder crear de forma segura la micro cristalización y poder hacer del relave un aditivo manejable con compuestos y metales pesados tóxicos para el ser humano, inertes y manejables tal y como resultó en esta investigación: los ladrillos fabricados con el relave pasaron por pruebas toxicológicas y comparando los resultados se llegó a la conclusión que, el producto final no es contaminante.



**Figura 11:** Fabricación de baldosas con relave minero

**Fuente:** Romero y Flores, 2010

Además, el tipo de relave proviene de la extracción polimetálica, con ello se puede tener un sustento a la hora de usar este tipo de procedimiento, ya que el tipo de relave que usaremos en este proyecto de investigación tiene las mismas características por la procedencia polimetálica.

#### d) Empleo de relaves para productos cementicios (Lima-Perú)

En esta investigación, se estudió los relaves de 3 diferentes mineras: Andaychagua, Pallancata y MWH Perú S.A., estas empresas son polimetálicas, se vio la influencia que da el relave de 3 distintas procedencias y los resultados fueron similares. Al insertar y trabajar el concreto con el relave, este tiende a favorecer mientras es usado en una proporción menor; en esta investigación se usó cantidades proporcionales 10%, 15%, 20% y 25%, para cada uno de los relaves de las 3 distintas empresas del cual el relave influyó en la cantidad del cemento usado como en las resistencias en comparación con la resistencia base que se obtiene sin este tipo de material (Figura12).

DISEÑO	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA $f'_{cr}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL $f'_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	CANTIDAD DE CEMENTO (Kg) USADO
GA-PAF	241.8	194.8	254.7
GA-MWH (10%)	213.2	166.2	227.4
GA-MWH (15%)	194.0	147.0	214.8
GA-PALLAN (10%)	200.8	153.8	227.4
GA-PALLAN (15%)	176.3	129.3	214.8
GA-ANDAY (10%)	208.7	161.7	227.4
GA-ANDAY (15%)	193.2	146.2	214.8
GA-ANDAY (20%)	168.7	121.7	202.2
GA-ANDAY (25%)	151.0	104.0	189.5

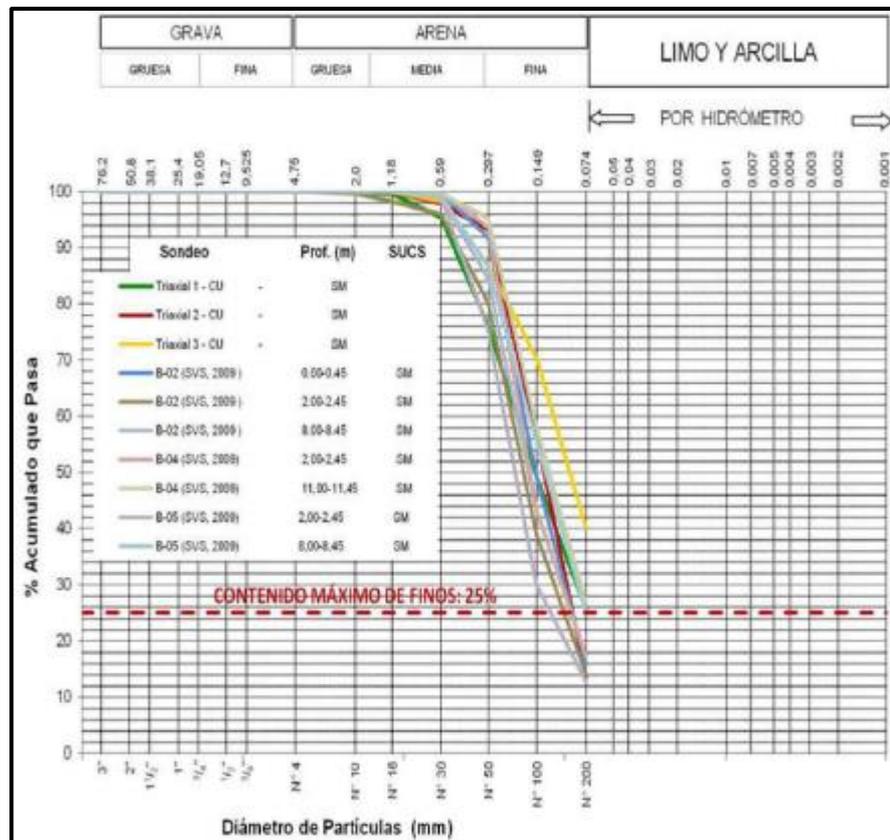
**Figura 12:** Tabla de resistencia a la compresión con uso del relave

**Fuente:** Anicama, 2010

Sin embargo, cuando se usaron las cantidades de relave al 20% y al 25%, las cualidades del concreto bajaron un 50% a 60%, con ello se puede concluir que, la inserción del relave para ser usado como un agregado para el concreto es factible, sin que este pase el 15% de la cantidad de concreto que se esté trabajando, aun que este pueda reaccionar con los componentes químicos del concreto, no se puede inferir que no pueda dar esta misma capacidad al suelo, esto da expectativa favorable esta investigación (Anicama, G. 2010).

**e) Estabilización sísmica para una presa utilizando relave grueso (Lima-Perú)**

Según Sánchez, A. & Junior, A. (2017), proponen la idea de usar relave para poder realizar la estabilización sísmica de una presa de Huancavelica, los ensayos se hicieron mediante el estudio geotécnico del lugar, estudiando las propiedades físicas y mecánicas de este aditivo y se clasificó el relave, mediante la clasificación de suelos SUCS, como un suelo fino SM, perteneciente a la clase de arena con arcillas y limos, esta clasificación del relave se puede ver en la mayoría de relaves que son polimetálicas, debido a la trituración de rocas hasta llegar a pequeñas partículas de dimensiones similares a la arena.



**Figura 13:** Clasificación del relave por granulometría

**Fuente:** Sánchez y Junior, 2017

Por otro lado, sobre las propiedades del relave se obtuvo diferencias entre tipos de relaves: el relave fino, el relave grueso y el relave consolidado, entre ellas hubo muy poca variación entre el peso unitario, pero si diferenció

en el ángulo de fricción, ya que el relave grueso con el relave consolidado generan mucho más estabilidad como se puede apreciar en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Tabla comparativa de tipos de materiales

Material	Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo de fricción (grados)	Cohesión (kPa)
Macizo Rocoso	26	45.5	196
Relave fino	18.6	10	17
Relave grueso	17.5	31	0
Relave Consolidado	18.5	33	0
Desmante de Mina	22	42	0
Gavión Roca	7.87	83.25	22

**Fuente:** Sánchez y Junior, 2017

Esta investigación, propone la idea de usar el relave para poder realizar diseños de suelos armados, con los datos estudiados quedando así la posibilidad de concluir que el relave puede ser viable para ser incorporado como agregados y/o aditivos que puedan mejorar las construcciones a futuro.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Suelos tipo tres: limoso-inorgánico

Los suelos limo inorgánicos son suelos con partículas finas; estas partículas están comprendidas en su mayoría por un tamaño de entre 0.075 mm a 0.002 mm, las partículas limosas generalmente se componen, según Braja Das. (2015), de partículas de cuarzo fraccionados microscópicamente y de otros minerales presentes en las rocas de forma de láminas. Según la Tabla 7, el suelo limoso se considera que sus partículas son de más tamaño que los suelos arcillosos, pero de menor tamaño que los suelos con grava y arena.

**Tabla 7:** Clasificación por tamaño de partículas de los suelos

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., linos y arcillas) <0.075	

**Fuente:** Braja, 2015

Los suelos limosos están tipificado como suelos tipo 3: suelos blandos, ya que de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (2016), son suelos con poca estabilidad, esto genera la flexibilidad que presentan estos tipos de suelos. Entre sus características está que la velocidad de propagación de onda de corte ( $V_s$ ), que vuelve flexible este tipo de suelo, es menor o igual de 180 m/s, con ello se ve, que presentan bajas características en las propiedades físicas y mecánicas, que lo hacen muy susceptibles al asentamiento de construcciones.

### **2.2.2. Material de residuos de procesos mineros (Relave)**

En base a la Guía para el manejo de relaves mineros (2009), los residuos mineros conocidos como relaves son producto de la trituración de rocas extraídas de la minería, el tamaño de sus partículas son del tipo suelo fino: limo y arcilla, esta trituración es generada por maquinarias rotatorias que son de tres tipos conocidos como: molinos de bolas, molinos de varillas y molinos semi-autógenos. Después del proceso de trituración se le agrega agua y esta permanece en forma de lodo también conocido como pulpa.

Una vez que la pulpa esté generada, pasa al siguiente proceso que comúnmente es llamado flotación, en este proceso hace que el metal o mineral deseado suba a la superficie mediante la ayuda de burbujas de aire generadas por la agitación mecánica de un tanque, facilitando la extracción de estas partículas en la superficie, para su próxima concentración y finalmente su refinación mediante la fundición de estas.

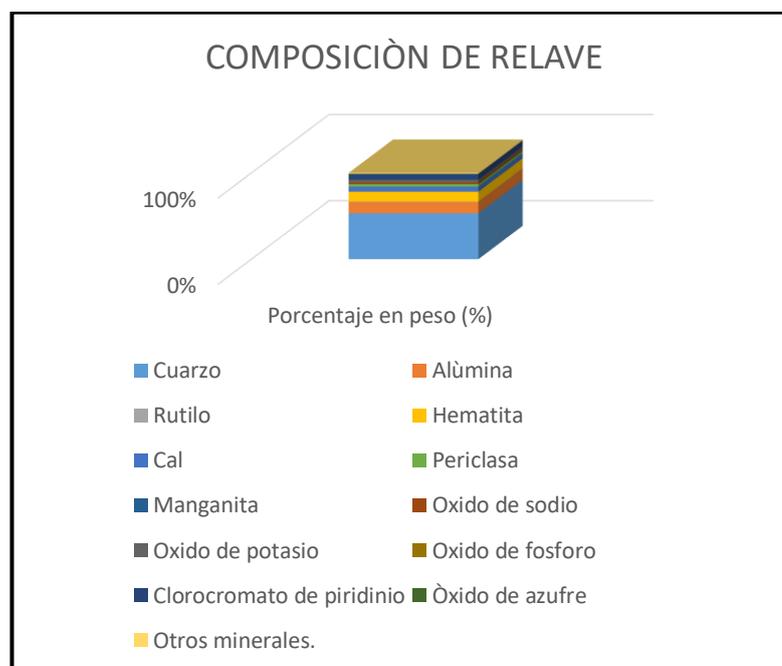
El relave minero es fundamentalmente el desecho que queda sedimentado después de todo el proceso de extracción mencionado, constituido por roca desintegrada más algunos agentes químicos no tóxicos, la toxicidad de estos agentes se produce mediante la exposición al medio ambiente, con el contacto del agua y los metales pesados que están presentes en los residuos de esta desintegración de roca.

Entre los minerales, que conforman los relaves mineros de los recursos polimetálicos extraídos como: Cobre, Oro, Plata, Molibdeno, Hierro que se extraen actualmente en las mayorías de mineras polimetálicas, están como predominantes: Cuarzo, Alúmina, Hematita y Calcita y otros que se pueden observar en la Tabla 8, con la presencia de estos minerales, provenientes de rocas, se espera una mejora notable en la estabilización del suelo muestra de esta investigación.

**Tabla 8:** Caracterización general de los depósitos de relaves polimetálicos de Chile

<b>Composición y Abundancia Mineralógica generalizada de los relaves polimetálicos</b>		
<b>Actualizado el 13 de Enero 2020</b>		
<b>Mineral</b>	<b>Formula</b>	<b>Porcentaje en peso (%)</b>
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	53.29
Alúmina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.08
Rutilo	TiO <sub>2</sub>	0.52
Hemetita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.38
Cal	CaO	5.81
Periclusa	MgO	2.97
Manganita	MnO	0.28
Oxido de sodio	Na <sub>2</sub> O	2.12
Oxido de potasio	K <sub>2</sub> O	2.29
Oxido de fosforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24
Clorocromato de piridinio	PPC	6.71
Óxido de azufre	SO <sub>3</sub>	0.27
Pirita, nimita, muscovita, entre otros.	FeS <sub>2</sub> , (NiMgAl) <sub>6</sub> ((SiAl) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub> , KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	1.04

**Fuente:** Elaboración propia en base a Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2020



**Figura 14:** Cubo de relave según su composición en (%)

**Fuente:** Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2020

Los agentes químicos se pueden encontrar en gramos por toneladas extraídas de relave (gr/ton), un aproximado que se estima es que por cada 1000.00 Kg de relave se encuentra 8.00kg de agentes químicos. Entre los agentes químicos predominantes se tiene el Cobre, Bario, Zinc, Plomo y Arsénico, las cantidades en porcentajes de agentes químicos se pueden apreciar en la Tabla 9. Los elementos químicos, que posee cada tonelada de relave, son naturalmente tóxicos para el ser humano y cualquier animal que esté prolongadamente expuesto ante este material, sin embargo sus propiedades tóxicas se disminuyen para el ser humano, cuando estos son expuestos al medio ambiente en largos periodos de tiempo, pero no dejan de ser dañinos para flora del lugar.

**Tabla 9:** Elementos químicos que posee el relave polimetálico

GENERALIZACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS QUE POSEE LOS RELAVES POLIMETÁLICOS					
Elemento Químico	Símbolo	Porcentaje (%)	Elemento Químico	Símbolo	Porcentaje (%)
Cobre	Cu	25.84	Tantalio	Ta	0.03
Vanadio	V	1.77	Torio	Th	0.05
Cromo	Cr	1.94	Uranio	U	0.02
Cobalto	Co	0.29	Arsénico	As	12.37
Níquel	Ni	0.48	Molibdeno	Mo	0.31
Zinc	Zn	16.71	Antimonio	Sb	0.86
Rubidio	Rb	0.84	Estaño	Sn	0.36
Estroncio	Sr	2.34	Cadmio	Cd	0.06
Itrio	Y	0.40	Bismuto	Bi	0.06
Circonio	Zr	2.74	Wolframio	W	0.12
Niobio	Nb	0.09	Plata	Ag	0.14
Bario	Ba	24.30	Escandio	Sc	0.21
Plomo	Pb	7.57	Cesio	Cs	0.05

**Fuente:** Elaboración propia en base a Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (2020)

Hay muchos tipos de relave, esto depende al tipo de metal o mineral que puede extraerse en las minas, como también al método de extracción, según la Guía para el Manejo de Relaves Mineros

(2009) del Ministerio de Energía y Minas del Perú, estos tipos de relaves se clasifican en:

- **Relave de flotación:** es el residuo minero explicado al inicio de este tema de investigación, del cual se tomará como aditivo de investigación para elaborar este proyecto.
- **Desmante de mina:** son restos de rocas que se extraen antes de llegar al mineral deseado, las partículas de estas rocas a tajo abierto son gruesas que van desde los 1 m hasta el tamaño comparativo de un suelo arcilloso.
- **Residuos de Pilas de Lixiviación:** es el residuo minero que en el proceso de extracción se adiciona agentes químicos como el cianuro (para extraer el oro) o ácido sulfúrico (para extraer el cobre), este proceso puede llevarse a cabo si el mineral es triturado o no.
- **Escorias:** es el residuo que es generado mediante la fundición de metales concentrados básicos: cobre, Hierro, etc., este residuo contiene agentes químicos tóxicos como el arsénico, cadmio y plomo en grandes concentraciones.
- **Los relaves de placeres:** este residuo minero es el producto del dragado de oro y estaño, sus partículas se encuentran generalmente del tamaño de un suelo gravoso, entre sus contenidos químicos se puede encontrar mercurio, este tipo de relave se produce no masivamente en la selva peruana.
- **Relave de Jib:** este tipo de relave es producto de la separación gravimétrica, se diferencia del relave de flotación en el tamaño de sus partículas, debido a que estas generalmente son de mayor tamaño, en otras características mineralógicas e químicas son congruentes.
- **Relave de cianuración con aglomeración y peletización:** son residuos mineros producto de la amalgamación con concentraciones altas en oro,

estos residuos son pelets que están comprendidos de 1 cm a 2 cm, generalmente se descargan en estado semi seco.

Para esta investigación se contó con un relave de tipo: relave de flotación por las concentraciones de plomo y zinc que posee el relave, que fue producido por la unidad minera Carhuacayan de una empresa minera desconocida.

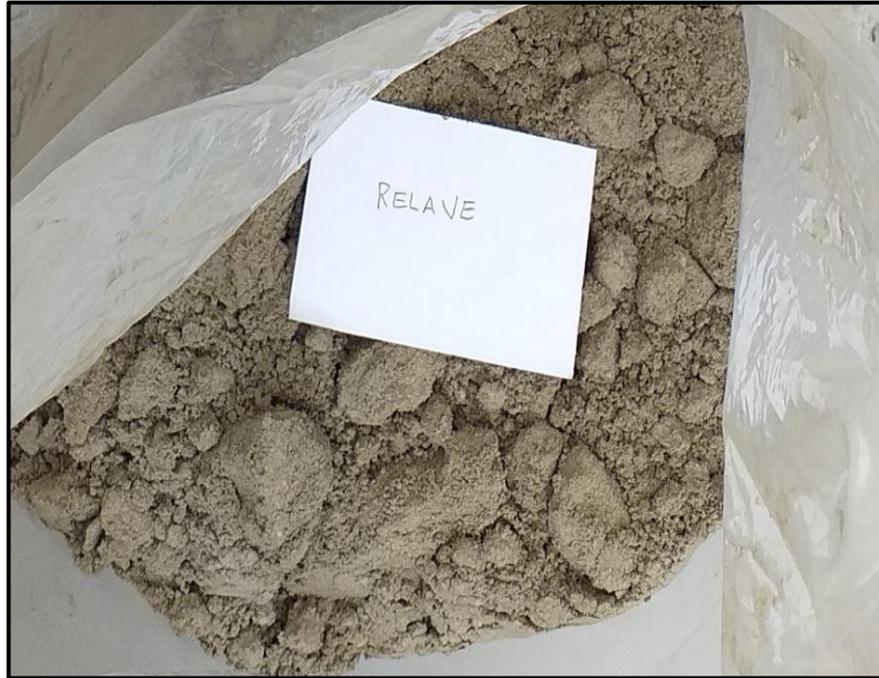
Esto se debe a que el relave fue producido entre los años 1980 a 1990 en el cual el país carecía de normas ambientales y sobretodo poseía vacíos legales que con ello y con la ayuda del gobierno ayudaban a las empresas mineras a eliminar cualquiera de sus responsabilidades (Huarcaya, 2012, párr.2).

Las características del este tipo de relave es producto de la extracción polimetálica (plata, plomo, cobre). Según Llacza, H. & Castellanos, P. (2020), las características principales del relave minero de la unidad minera de Carhuacayan son el zinc (Zn) y el plomo (Pb) y las concentraciones están dadas en la Tabla 10.

**Tabla 10:** Concentraciones de zinc y plomo del relave en estudio

<b>Unidad Minera Carhuacayan</b>				
<b>Metal Pesado</b>	<b>Compósito 1 ppm</b>	<b>Compósito 2 ppm</b>	<b>Compósito 3 ppm</b>	<b>Promedio ppm</b>
Zinc (Zn)	9088.2	5375.8	11967.1	8810.4
Plomo (Pb)	3420.8	3789.3	4323.0	3844.4
<b>1 ppm = 1 mg / kg.</b>				

**Fuente:** Llacza y Castellanos, 2020



**Figura 15:** Relave de flotación de la unidad minera Carhuacayan

**Elaborada por:** El autor

### **2.2.3. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)**

Como explica Braja M. Das (2015) en *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, este sistema fue desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande en 1948, con el apoyo del ejército de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, este sistema fue propuesto, por primera vez, para suelos que serían destinados a ser pistas de aterrizaje.

El sistema SUCS separa los suelos en dos categorías, que son suelos gruesos de grava y arena, que están denominados por las letras "G" y "S" respectivamente y los suelos finos de limo y arcilla que se denominan con las letras "M" y "C". Estos suelos se clasifican mediante el tamizado de sus partículas y de acuerdo a los límites de consistencia que presentan:

a) Suelos gruesos: menos del 50% de sus partículas pasa por la malla número 200.

b) Suelos finos: más del 50% de sus partículas pasa por la malla número 200.

Generalmente los suelos gruesos se clasifican gracias a los datos y resultados como la curva granulométrica, coeficientes de uniformidad y curvatura, que se obtienen de los ensayos como el análisis granulométrico por tamizado, en el *Manual de Ensayo de Materiales (2016)*, se expone estas clasificaciones por las proporciones del tamaño de las partículas y los valores que se hallan en los coeficientes antes mencionados, que conforman el suelo, si es que se trata de un suelo que más del 50% pasa de la malla número 200 se trata de un suelo fino y para que este sea clasificado necesariamente se debe contar con los datos de límites de consistencia: límite de plasticidad y límite líquido.

Otros símbolos que se usan a menudo para clasificar a los suelos en este sistema son los siguientes:

**W:** bien gradado

**L:** poco plástico

**P:** mal gradado

**H:** altamente plástico

Para poder observar a detalle el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), con la debida simbología, los nombres que corresponden a cada una de ellas y con los criterios de clasificación que se usa en este proyecto de investigación, se debe observar el Anexo 2.

#### **2.2.4. Análisis granulométrico por tamizado**

De lo expuesto en la norma MTC E 107 del *Manual de Ensayo de Materiales (2016)*, este ensayo busca separar las partículas de suelo según el tamaño por tamices normados y clasificar numéricamente en porcentajes la cantidad de suelo, en cada uno de estos tamices, que conforman la muestra de suelo en estudio.

Para este ensayo, se necesitó de balanzas de distintos tipos que son dos: una balanza que pueda medir el peso de por lo menos 0.01 gramos y otra balanza, para las partes gruesas, que sea sensible al 0.1% del peso de muestra (Figura 16), la primera balanza se utiliza para pesar el suelo que pase por el tamiz N° 4, por ello debería ser de mayor sensibilidad y un margen de error del 0.01 g, otra balanza que es de mayor capacidad, debe servir para pesar el suelo que quedaron retenidos del tamiz de 3" hasta el tamiz N°4.



**Figura 16:** Balanzas de 0.1% y 0.01 g de sensibilidad usadas en los ensayos de suelos

**Elaborada por:** El autor

Antes de realizar el ensayo se requiere que la muestra esté seca, por ello se requiere de un horno de laboratorio que funcione constantemente, que pueda mantener una temperatura en su interior de  $110 \pm 5$  °C uniformemente (Figura 17), con ello se debe proceder al lavado de la muestra para separar los limos y arcillas de la parte gruesa, ya sea grava o arena, luego de esta acción, debe meterse al horno la muestra lavada durante las 24h.



**Figura 17:** Horno para el secado de muestras

Elaborada por: El autor

La cantidad de tamices y las aberturas en (mm), se observa en la siguiente tabla 11:

**Tabla 11:** Especificación de cada tamiz normado

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

**Fuente:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

Para el procedimiento de este ensayo de laboratorio, primero se debe ordenar los tamices como está en la tabla 11, colocando los tamices en el orden correcto, luego se vierte la muestra de suelo desde la malla 3", seguidamente se procede a mover con las manos los tamices con giros ondulatorios, esto se debe hacer aproximadamente 60 segundos por cada tamizado. Finalmente se debe sacar cada tamiz cuidadosamente y proceder a pesar en las balanzas respectivas por tamiz; en los cálculos se debe tener en cuenta que el peso de la muestra inicial y final no debe de variar más del 1%.

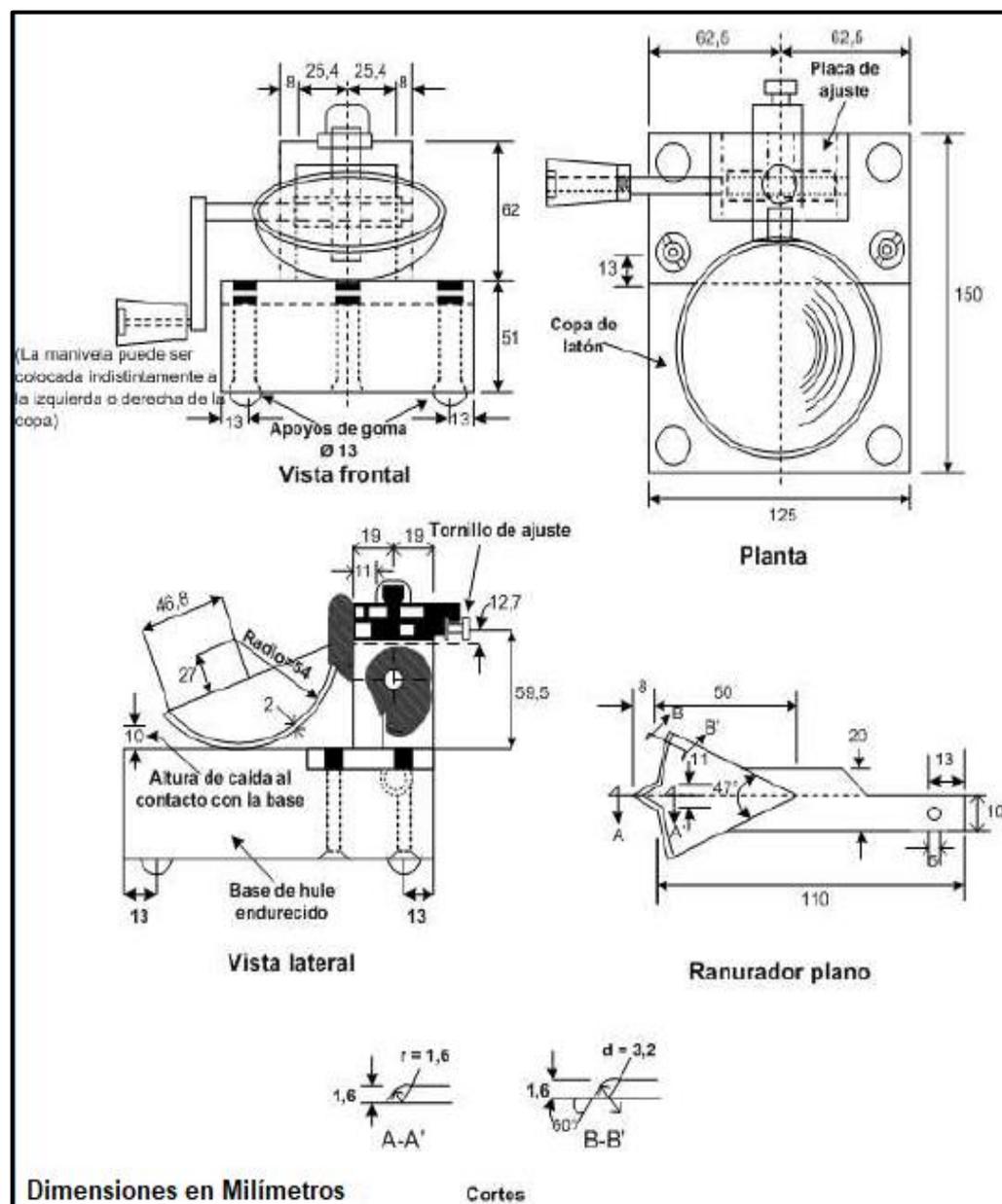
### 2.2.5. Límites de Atterberg

Este ensayo de laboratorio, como indica la norma MTC E 110 del *Manual de Ensayo de Materiales (2016)*, es importante para hallar el límite líquido y límite plástico, con ellos el índice plástico del suelo para poderlo clasificar mediante el método SUCS. Se requiere determinar los citados límites, puesto que el suelo estudiado en esta investigación, pertenece a la clase de suelos finos, y para poderlo clasificar correctamente se necesita necesariamente conocerlos y utilizarlos mediante la clasificación SUCS, las características de estos límites son:

**a) Límite Líquido (LL):** Se nombra límite líquido al contenido de humedad que presenta los suelos que tienen un comportamiento plástico, para poder determinar este resultado se necesitará que la muestra sea de 150 g a 200 g pasante de la malla número 40 amasado con agua, además se necesitará de siguientes herramientas:

- Vasija de porcelana: este recipiente almacenará la muestra de suelo y se mesclará con agua para su ensayo.
- Cuchara Casagrande: esta herramienta es el aparato del límite líquido, consiste en un recipiente de bronce parecido a una cuchara de amplio diámetro, las especificaciones y dimensiones se pueden apreciar en la Figura 18, esta herramienta puede ser de operación manual o mecánica.

- Acanalador: herramienta para hacer una abertura a la muestra del suelo dentro de la herramienta Casagrande.
- Balanza: la balanza tiene que ser de sensibilidad de 0.01 gramos.
- Recipientes o taras: deben ser resistentes a la corrosión y a las altas temperaturas.
- Horno: debe proveer en su interior de una temperatura uniforme y constante de  $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .



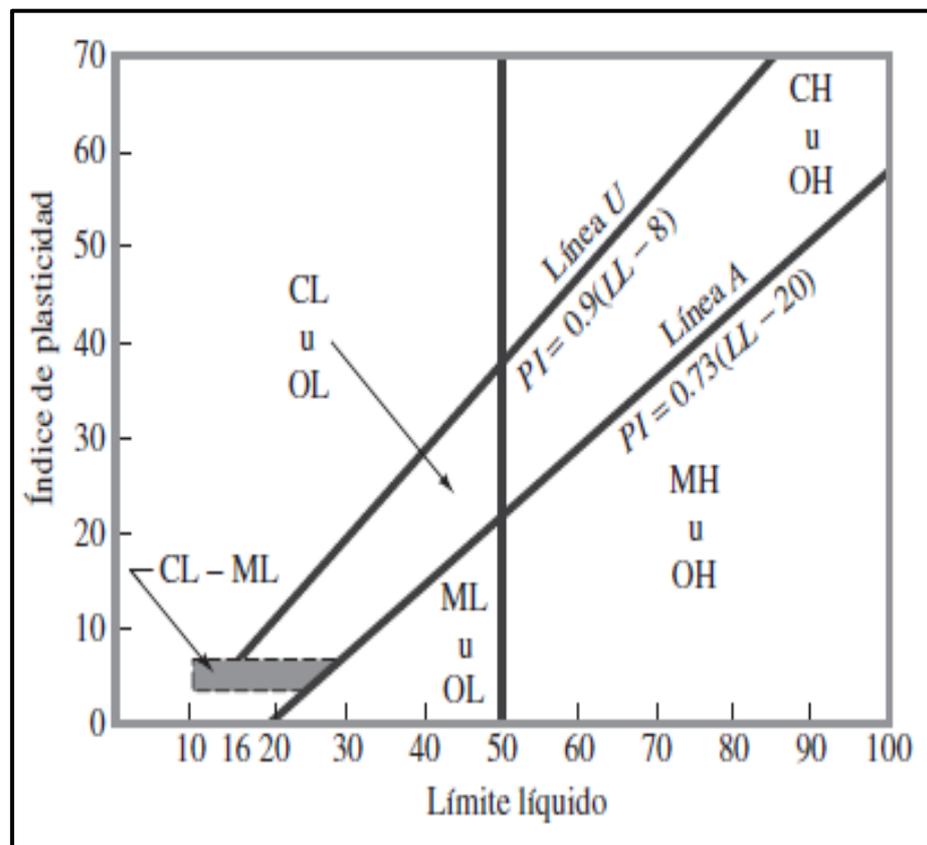
**Figura 18:** Cuchara Casagrande

**Fuente:** Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016

**b) Límite Plástico (LP):** Es la humedad, de la muestra del suelo, que contiene al ser formado manualmente barras cilíndricas de 3.2 mm (1/8") de diámetro, para hallar este resultado se necesitará que la muestra pase por la tamiz número 40 y pese alrededor de 20 gramos, se amasa con agua destilada formando una esfera con las manos, se extrae de ella una porción de 1.5 gramos a 2.0 gramos y se procede a realizar barras cilíndricas de manera manual sobre una superficie de vidrio para evitar la pérdida prematura de la humedad.

**c) Índice Plástico (IP):** Es el valor numérico de la diferencia del límite líquido y el límite plástico de una misma muestra de suelo.

Para agilizar la determinación de los suelos finos después de haber hallado los límites de Atterberg, se realizó una gráfica de plasticidad como se puede observar en la Figura 19.



**Figura 19:** Gráfica de plasticidad

**Fuente:** Braja, 2015

### **2.2.6. Ensayo de gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua**

De acuerdo con la norma MTC E 113 del Manual de Ensayo de Materiales (2016), señala que este ensayo es importante para poder encontrar la gravedad específica (GS) de los suelos, para ello se debe ensayar con el muestra de suelo pasante de la malla del tamiz N°4, la gravedad específica de los suelos, ha ayudado a determinar ciertos valores que son importantes como el grado de saturación del suelo y la relación de vacíos.

Para la ejecución de este ensayo, se debe usar diversas herramientas y equipos de laboratorio como:

- Balanza de una capacidad de lectura de 0.01 g hasta 2000 g.
- Picnómetro de capacidad mínima de 250 ml.
- Termómetro de precisión de temperatura de 0.1°C.
- Horno de laboratorio con capacidad de temperatura de  $110 \pm 5$  °C,
- Bomba de aire para la succión del aire contenido la muestra estudiada.
- Embudo, para ser usado como ayuda para la introducción del suelo como el agua al picnómetro, debe ser de material no corrosivo y liso.
- Agua destilada

Para poder saber los pesos de las muestras a estudiar, se tiene que tener en cuenta el tipo de picnómetro que es usado en el ensayo, como también la clasificación de la muestra de suelo del cual se quiere estudiar, estos pesos se puede observar en la Tabla 12.

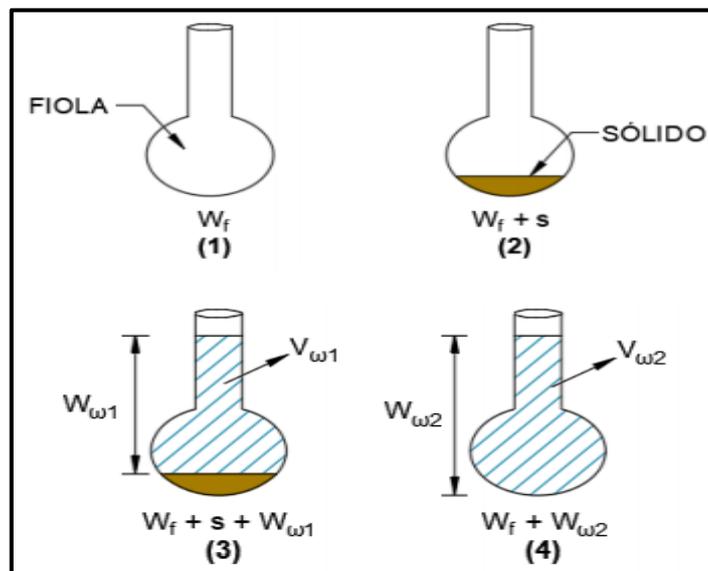
**Tabla 12:** Peso que requiere el ensayo respecto al tipo de suelo y tipo de Picnómetro

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 250 mL	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 500 mL
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

**Fuente:** Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016

El procedimiento de este ensayo de laboratorio es el siguiente y se puede observar en la Figura 20:

- 1) Se pesa solamente el picnómetro.
- 2) Se pesa el picnómetro más la muestra de suelo.
- 3) Se pesa el picnómetro y la muestra de suelo más agua hasta la marca en la parte superior.
- 4) Se pesa el picnómetro más agua desairada hasta la marca en la parte superior.



**Figura 20:** Proceso del ensayo de picnómetro de agua

**Fuente:** Rodríguez, 2019

### 2.2.7. Ensayo de proctor estándar

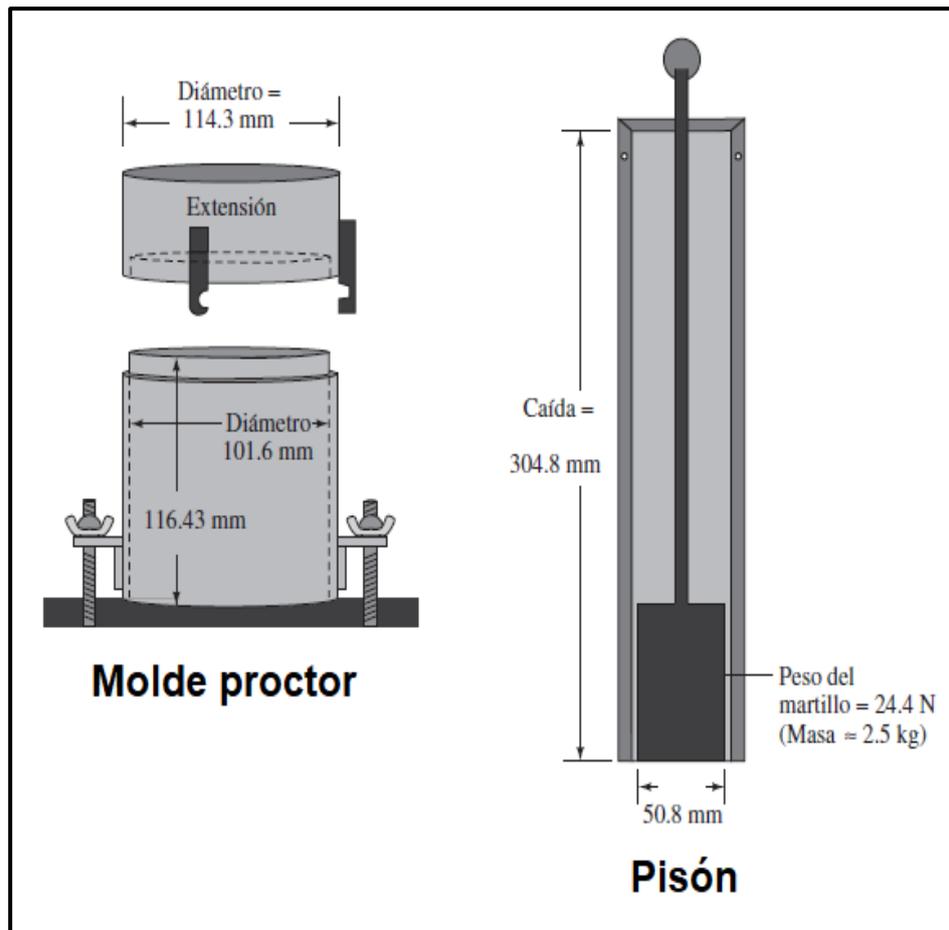
El ensayo del proctor estándar determina, mediante la compactación con la ayuda de un pisón manual de la muestra de suelo, la relación entre la cantidad de humedad óptima y la cantidad de densidad seca máxima, estos datos son hallados aproximadamente con ayuda de una gráfica del cual se denomina: curva de compactación, esto nos proporcionará información acerca del estado del suelo y su relación de vacíos ante la compactación.

Para poder efectuar el ensayo de manera correcta, se toma como referencia la norma MTC E 116 del *Manual de ensayo de materiales (2016)*, la cual cuenta con tres métodos: el método A, el método B y el método C, los cuales, en los métodos A y B se han usado un molde de 101.6 mm de diámetro (4") interior, 101.6 mm de altura y con  $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup> de volumen, mientras que en el último método (método C) se usa un molde mayor de 152.4 mm de diámetro, todos son compactados con un pisón con una altura de 304.8 mm desde la superficie y una masa de 2.5 kg.

**Método A:** este método se usa cuando menos del 20% del suelo estudiado, es retenido en la malla del tamiz N°4, se debe introducir la porción de suelo que pasa por el tamiz N°4 en estudio dentro del molde, especificado en la Figura 21, por tres etapas, cada una de estas etapas deben ser llenadas a un tercio de la capacidad del molde, seguidamente de 25 golpes compactando la superficie de cada etapa.

**Método B:** este método se usa cuando más del 20% del suelo estudiado es retenido por la malla del tamiz N°4 y de 20% a menos sea retenido por el tamiz 3/8", se debe introducir la porción de suelo que pasa por el tamiz 3/8" dentro del molde por tres etapas, cada una de estas etapas deben ser llenadas a un tercio de la capacidad del molde, seguidamente de 25 golpes compactando la superficie de cada etapa.

**Método C:** este método se usa cuando más del 20% del suelo estudiado es retenido por la malla del tamiz 3/8" y se debe cumplir también que menos del 30% sea retenido por la malla del tamiz 3/4". Se debe introducir la porción de suelo que pasa por el tamiz 3/4" dentro del molde por tres etapas, cada una de estas deben ser llenadas a un tercio de la capacidad del molde, seguidamente de 25 golpes compactando la superficie de cada etapa.



**Figura 21:** Molde del proctor estándar

**Fuente:** Braja, 2015

Para esta investigación se procedió a realizar el ensayo usando el método A y respetando la norma MTC E 116.

### 2.2.8. Corte Directo (consolidado drenado)

El ensayo de corte directo es el procedimiento de laboratorio, en el cual se determina en poco tiempo, la resistencia que ejerce la muestra de suelo consolidado y drenado, ante una fuerza cortante, mediante el manejo de herramientas mecánicas que permiten conocer esta información.

Este ensayo de laboratorio se puede realizar con suelos alterados o inalterados, sin embargo solo se puede realizar con la muestra pasada por el tamiz N°4; en el caso de usar una muestra inalterada, se debe procurar abastecerse de una cantidad suficientemente para albergar mínimamente tres muestras de similares dimensiones, el manejo de estas muestras y el transporte de ellas deben procurar estar dentro de los protocolos que dicta la norma MTC E 104.

Si se usa una muestra alterada, esta puede ser ensayada con cualquier contenido de humedad y densidad que se desee, esta muestra se debe introducir en un molde y debe ser compactado hasta llegar a reducir los espacios vacíos, ayudando con un pisón.

Antes de la compactación se requiere que la muestra esté en reposo durante un tiempo, dependiendo al tipo de la muestra de suelo, el tiempo de reposo es diferente como se puede observar en la Tabla 13.

**Tabla 13:** Tiempo de reposo del suelo

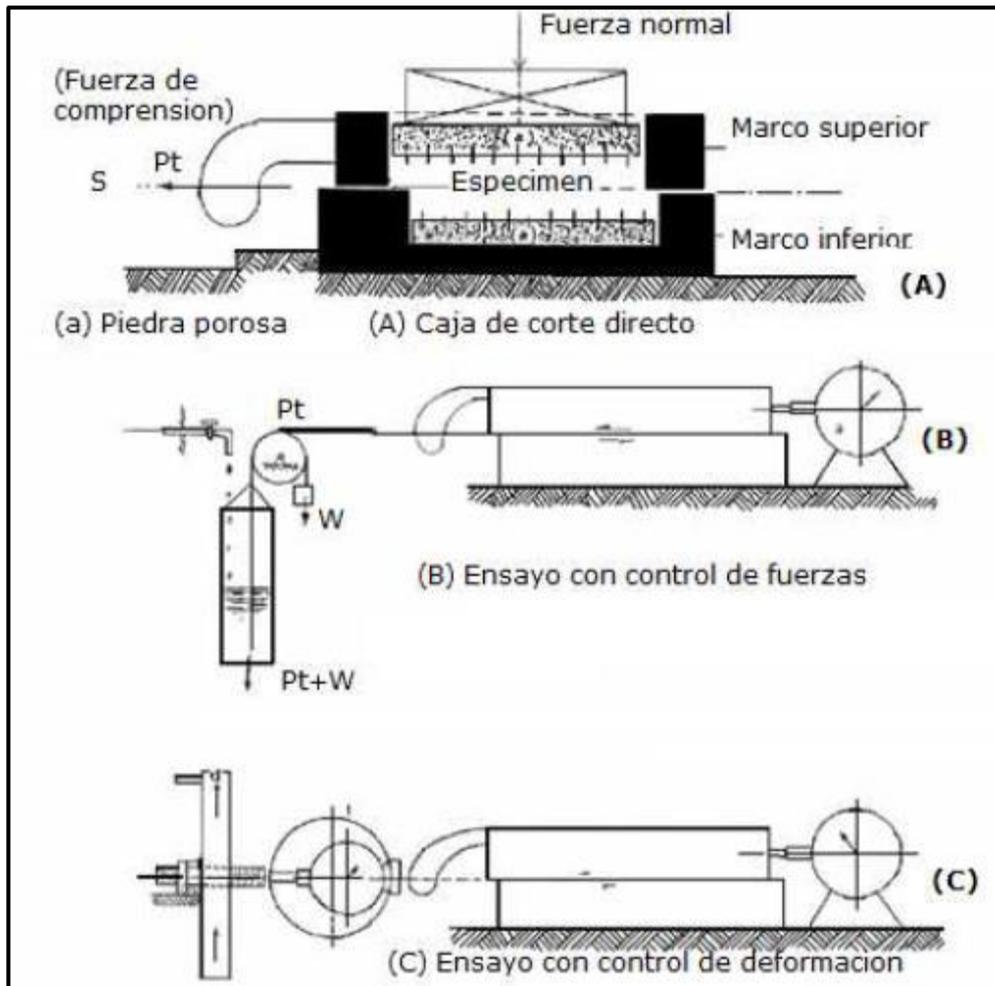
<b>Clasificación D2487</b>	<b>Tiempo mínimo de reposo (h)</b>
SW, SP	No requiere
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

**Fuente:** Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016

Para proceder a realizar este ensayo de laboratorio, se tomó como referencia la norma MTC E 123 del *Manual de Ensayo de Materiales (2016)*, para su correcto procedimiento de ensayos y correcta determinación de datos y resultados.

Para el ensayo de corte directo se necesitará algunos equipos y materiales que a continuación se nombrará.

- a) Dispositivo de carga: este dispositivo debe estar provisto de dos piedras que van en la parte superior e inferior a la probeta de la muestra de suelo algunas especificaciones de este dispositivo se observa en la Figura 22.
- b) Piedras porosas: se debe procurar que sea de carburo de silicio, óxido de aluminio o de algún otro metal que no pueda corroerse por los elementos que contiene la muestra de suelo.
- c) Dispositivo para la aplicación de fuerza normal: esta aplica la fuerza a la muestra de suelo sin exceder los límites para tener una variación del  $\pm 1\%$ .
- d) Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte: esta usa una ranura que genera una presión de 2.5N, o de 1 % de la fuerza de corte que genera la falla.
- e) Balanza: debe tener una precisión de 0.1 g
- f) Indicadores de deformación o diales: este aparato indica las deformaciones y los cambios espesor de la muestra del suelo, debe contar con una precisión de 0.002 mm para la deformación, y para los espesores con una sensibilidad de 0.02 mm.
- g) Cronómetro: sirve para tomar los intervalos de tiempo cuando el ensayo de corte está en marcha.
- h) Espátula o enrasador: sirve para moldear la muestra de suelo a la probeta de corte, en la cual se va ensayar.



**Figura 22:** Dispositivo para el ensayo de corte directo

**Fuente:** Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016

### 2.2.9. Ecuación General de Capacidad de Carga

La capacidad portante o capacidad de carga última, según Braja M. Das (2012) en *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, es la máxima fuerza que se produce en la superficie de un suelo por área unitaria antes que se produzca una falla por fuerza cortante.

En las cimentaciones superficiales se debe tener en cuenta sobre las propiedades mecánicas que se ejerce los cimientos de una edificación al suelo, para que éstas cimentaciones puedan tener el mejor rendimiento se debe considerar los siguientes aspectos principales:

a) Las cimentaciones deben soportar contra fallas generales por fuerzas cortante del suelo del cual las soporta.

b) Las cimentaciones no deberían sufrir de ningún asentamiento o desplazamiento que esté fuera del rango de seguridad.

Para que pueda diseñarse una cimentación, que se pueda ser construido en el suelo en el cual se va a proyectar, se tiene que considerar diversos aspectos, para ello Karl Von Terzaghi formuló diversas ecuaciones, para hallar las cargas últimas dependiendo al tipo de cimentación que se quiera realizar: cimentación continua, corrida, cuadrada, cimentación circular.

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (\text{cimentación continua o corrida})$$
$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad (\text{cimentación cuadrada})$$
$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (\text{cimentación circular})$$

donde

$c'$  = cohesión del suelo  
 $\gamma$  = peso específico del suelo  
 $q = \gamma D_f$   
 $N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo  $\phi'$

**Figura 23:** Ecuaciones de carga última de Terzaghi

**Fuente:** Braja, 2012

Sin embargo, pasando por varios estudios Meyerhof, años más tarde, realizó una mejora de estas formulas, debido a que las formulas planteadas por Terzaghi eran muy limitadas para otros tipos de cimentaciones o eventos que ocurren sobre él, por ejemplo las ecuaciones planteadas no abordan para cimentaciones rectangulares, como también no se tiene consideración del esfuerzo cortante en toda la superficie de falla del suelo donde está el cimiento, otro inconveniente es que no considera la inclinación de la carga.

Tomando en cuenta aquellos aspectos y haciendo una generalización de las ecuaciones que presenta Terzaghi. Meyerhof plantea la ecuación general de la capacidad de carga, esta ecuación sirve para los aspectos de los cimientos que no se tomó en cuenta en las anteriores ecuaciones y se presenta de la siguiente manera:

**Ecuación general de la capacidad de carga (Meyerhof)**

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Para poder hallar la ecuación, se necesita primero hallar cada uno de los factores que pertenecen a la ecuación, cada uno de estos factores cumplen una condición y aspectos que a continuación se presenta.

**Factores de capacidad de carga ( $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$ )**

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) e^{\pi \tan \phi'} \quad \text{Reissner}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi' \quad \text{Prandtl}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi' \quad \text{Caquot y Kerisel y Vesic}$$

**Figura 24:** Factores para la ecuación general 1

Fuente: Braja, 2012

**Factores de forma ( $F_{cs}$ ,  $F_{qs}$ ,  $F_{\gamma s}$ )**

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right) \quad \text{DeBeer (1970)}$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan \phi'$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$$

**Figura 25:** Factores para la ecuación general 2

Fuente: Braja, 2012

**Factores de profundidad ( $F_{cd}$ ,  $F_{qd}$ ,  $F_{\gamma d}$ )**

<p>si; <math>\frac{D_f}{B} \leq 1</math></p> <p>Para <math>\phi = 0</math>:</p> $F_{cd} = 1 + 0.4 \left( \frac{D_f}{B} \right)$ $F_{qd} = 1$ $F_{\gamma d} = 1$ <p>Para <math>\phi' &gt; 0</math>:</p> $F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'}$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \text{sen } \phi')^2 \left( \frac{D_f}{B} \right)$ $F_{\gamma d} = 1$	<p>Hansen (1970)</p>
<p>si; <math>\frac{D_f}{B} &gt; 1</math></p> <p>Para <math>\phi = 0</math>:</p> $F_{cd} = 1 + 0.4 \underbrace{\tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right)}_{\text{radianes}}$ $F_{qd} = 1$ $F_{\gamma d} = 1$ <p>Para <math>\phi' &gt; 0</math>:</p> $F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'}$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \text{sen } \phi')^2 \underbrace{\tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right)}_{\text{radianes}}$ $F_{\gamma d} = 1$	

**Figura 26:** Factores para la ecuación general 3

**Fuente:** Braja, 2012

### Factores de inclinación ( $F_{ci}$ , $F_{qi}$ , $F_{yi}$ )

$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	Meyerhof (1963); Hanna y Meyerhof (1981)
$F_{yi} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)$	
$\beta$ = inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical	

**Figura 27:** Factores para la ecuación general 4

**Fuente:** Braja, 2012

En las ecuaciones presentadas:

$q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

$B$  = ancho de la cimentación (diámetro para una cimentación circular)

$L$  = Longitud de cimentación

$D_r$  = Fondo de cimentación

### 2.3. Definición de términos básicos

**Residuos mineros:** material residual producido por toda clase de actividad minero metalúrgica: extracción, explotación, refinación, etc.

**Pulpa:** es el conjunto de partículas de roca extraída y pulverizada de la minería, mezcladas con agua y otras soluciones, su consistencia es de forma lodosa.

**Dragar:** es la excavación en la minería dentro de un depósito acuático de considerable longitud y espesor.

**Pelet:** es la unión de partículas de mineral fino en forma de esferas, esta unión se produce con cualquier solución aglomerante.

**Sedimento:** partículas de una masa sólida que se asienta cuando está en suspensión dentro de una masa líquida.

**Capacidad portante admisible ( $q_{adm}$ ):** este término se refiere a la presión que es admitida para evitar asentamientos por sobre carga en los cimientos.

**Capacidad portante segura ( $q_s$ ):** carga que está considerado un factor de seguridad.

**Capacidad portante última ( $q_u$ ):** carga última antes de que esta provoque una fractura en la superficie.

**Compactación:** es el acto de la disminución de vacíos en una muestra de suelo.

**Condición drenada:** condición por el cual la muestra estudiada está sin líquidos o se despoja de este.

**Consolidación:** se refiere al acto de unir las partículas del suelo mediante medios artificiales como la compactación mediante el uso de piedras porosas.

**Esfuerzo cortante:** es la carga que actúa hacia una determinada muestra de suelo.

**Extracción de muestra:** es la separación de una porción de suelo de un terreno natural para posibles ensayos de laboratorio.

**Granulometría:** es el estudio de las cantidades de partículas por tamaño que posee una determinada muestra.

**Suelos cohesivos:** son suelos que generan una fuerza de atracción entre sus partículas, generalmente este tipo de suelo son las arcillas.

**Suelos no cohesivos:** son suelos que no presentan esta fuerza entre sus partículas, generalmente este tipo de suelo son las gravas y arenas.

**Muestra de suelo alterados:** suelo que es extraído alterando sus estructuras naturales.

**Muestra de suelos inalterados:** muestra de suelo que fue extraído sin alterar sus estructuras naturales, siendo estas cuidadas durante la manipulación y el transporte a la zona de estudio científico.

**Cimentación:** es una parte estructural fundamental que tiene cualquier edificación, está formado por el suelo y la estructura que está en contacto con esta.

**Tamizado:** es la separación de partículas sólidas de una muestra en estudio, mediante una serie de tamices con diámetros de aberturas descendentes.

**Calicata:** son excavaciones en el suelo, que sirven para la exploración geotécnica, se realizan con una pala o retroexcavadora.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La aplicación de residuos mineros (relave) mejora el comportamiento físico y mecánico del suelo limo-inorgánico, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

**a) Hipótesis específica N° 1:** La aplicación los residuos mineros (relave), incrementa la densidad seca máxima por cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico, en el comportamiento físico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.

**b) Hipótesis específica N° 2:** La aplicación los residuos mineros (relave), incrementa el ángulo de fricción interno por cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico, en el comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.

**c) Hipótesis específica N° 3:** La aplicación los residuos mineros (relave), mejora la capacidad de carga admisible por cada proporción de relave añadido al suelo limo-inorgánico, en el comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Diseño metodológico**

#### **3.1.1. Tipo de estudio: aplicada**

Este Proyecto de investigación es de tipo de estudio aplicada, debido a que el presente trabajo de investigación busca la aplicación de los conocimientos y resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de una muestra poco estudiada, como son los residuos mineros, mediante la adición en un suelo inestable; para dar respuesta a preguntas específicas formuladas al inicio de esta investigación.

Su presente investigación de este material podrá crear un desarrollo de métodos para ver la influencia que da, con las proporciones establecidas, a un tipo de suelo como son los suelos limo-inorgánicos.

### **3.2. Enfoque de la investigación**

#### **3.2.1. Enfoque cuantitativo**

En la práctica de los ensayos de laboratorio de la muestra del suelo a estudiar, se puso en práctica un método que innova

la realización de alcanzar la hipótesis planteada, con el mejoramiento de las características de estos suelos limo-inorgánicos. Por ello este trabajo de investigación de puede clasificar como una investigación aplicada. También, el recolectar resultados estadísticos que se pueden medir obtenido de los trabajos realizados en laboratorio para poder obtener la comparación y verificar la estabilidad manipulada de la muestra del suelo, indica que la presente tesis es de enfoque cuantitativo.

### **3.3. Nivel de la investigación**

#### **3.3.1. Nivel de estudio: descriptivo**

El nivel de este proyecto es descriptivo, debido a que de la observación de la influencia que se realiza en los ensayos de laboratorio con las muestras de relave mezclado con el suelo limo – inorgánico, se describe el comportamiento físico y mecánico a detalle de estos dos materiales de estudio, se describe el procedimiento de los ensayos y la obtención de resultados.

### **3.4. Diseño de la investigación**

#### **3.4.1. Según el propósito del proyecto: experimental**

El diseño de la investigación es experimental, debido a que en el tiempo de elaboración de la presente tesis se realizaron diversos ensayos con diferentes proporciones del relave y el suelo limo-inorgánicos con la finalidad de comparar los resultados y extraer una conclusión más enriquecida. La planificación del proyecto en un principio está enfocada a una situación en la cual se determina un punto de extracción de muestra. Debido a las propiedades del relave, se espera que se produzca una leve mejoría en las características mecánicas de la muestra. No obstante, la veracidad de estos supuestos se corroborará mediante ensayos de laboratorio.

### **3.4.2. Según la cronología del proyecto: prospectivo**

Según la cronología del proyecto es prospectivo, porque se tiene el control de la variable independiente: el relave; las proporciones se definen y se obtienen mediante mediciones para poder ser ensayadas, también se realiza la inspección y revisión de los aparatos de laboratorio a utilizar para poder obtener las mediciones y datos de los ensayos requeridos; por último se cuenta con la capacitación del investigador en conocimientos técnicos como el estudio de mecánica de suelos. Por otra parte, si el diseño según propósito del proyecto es experimental, el diseño según la cronología siempre será prospectivo.

### **3.4.3. Según el número de mediciones: longitudinal**

Ya que se requiere dar un resultado certero de la influencia que da el relave a un tipo de suelo: limo-inorgánico, no bastaría de una medición por ensayo de laboratorio, aparte que se indica en este proyecto que se requiere mediciones de cantidades proporcionales ordenadas y secuenciales de relave con relación a la muestra del suelo, un único resultado no bastaría para dar una aproximada generalización, por ello según el número de veces que se experimentará con la muestra, este proyecto es de diseño longitudinal.

## **3.5. Población y muestra**

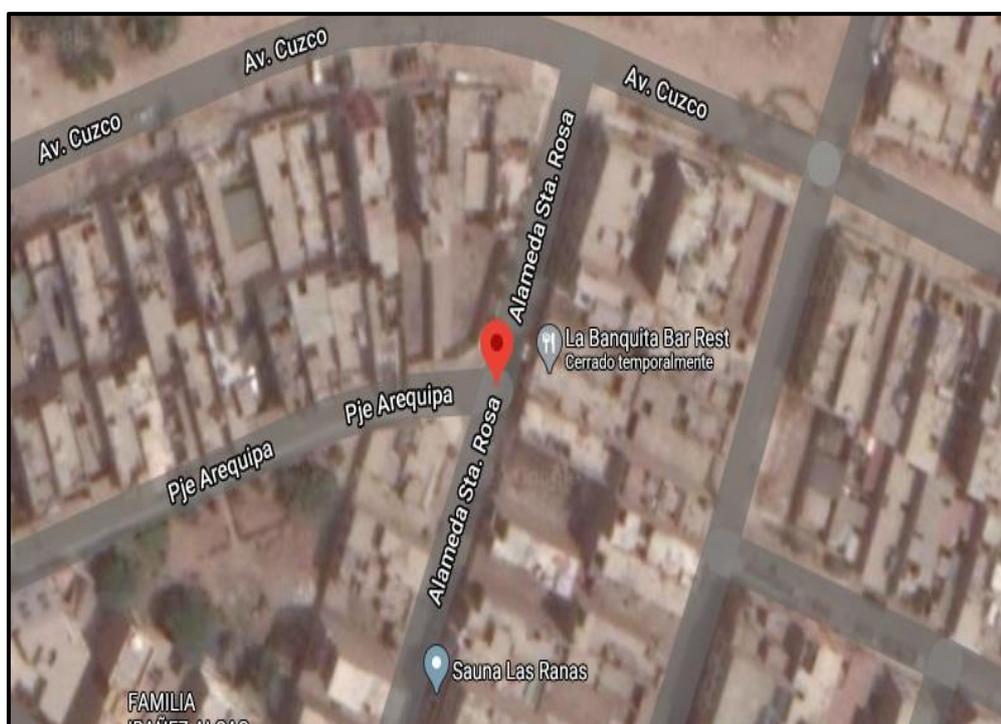
### **3.5.1. Población**

La población que fue considerado en el presente proyecto de investigación, tiene lugar en el distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima –Perú.

### **3.5.2. Muestra**

La muestra de suelo limo-inorgánico se extrajo de la Alameda Santa Rosa Lote 1 MZ A del distrito de San Martín de

Porres, provincia y departamento de Lima, entre el cruce del Pasaje Arequipa con Alameda Santa Rosa como se presenta en la Figura 28.



**Figura 28:** Ubicación de la muestra de suelo

**Fuente:** Google Maps, 2015

Las muestras de relave se extrajeron de un depósito abandonado que está a la intemperie, dejada por la unidad minera Carhuacayan, como se expone en la sección “Bases teóricas” del capítulo “Marco teórico” de esta investigación, la empresa minera responsable de aquel depósito es aún desconocida.

Dicho depósito se encuentra en Collpa ubicada al noroeste del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayan de la provincia de Yauli del departamento de Junín a una altitud de 4200 m.s.n.m (Figura 29).

La zona cuenta con un acceso vial: trocha carrozable del cual está asignada como red vial vecinal JU-505 referenciada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).



**Figura 29:** Ubicación de extracción del relave

Fuente: Google Earth, 2020



**Figura 30:** Ingreso al depósito de relave

Elaborada por: El autor



**Figura 31:** Extracción de la muestra de relave In Situ

**Elaborada por:** El Autor

### **3.6. Definición de variables**

Se indentificó los materiales de estudio y la clasificación entre los variables dependiente e independiente, estos son de tipo cuantitativo, por el cual es posible su medición cuantificada.

#### **3.6.1. Variable independiente: residuos mineros (relave)**

Los residuos mineros son la desintegración de rocas con agentes químicos que se obtiene después del proceso minero polimetálico, se explica con mayores detalles en la sección “Bases teóricas” del capítulo “Marco teórico” de esta investigación. Se determina los residuos mineros como variables independientes en las proporciones de 50% de relave con 50% de suelo limo-inorgánico, 30% de relave con 70% de suelo limo-inorgánico, 20% de relave con 80% de suelo limo-inorgánico y 0% de relave con 100% de suelo limo-inorgánico.

#### **3.6.2. Variable dependiente: suelos limo-inorgánicos**

Como se aprecia en la sección “Bases teóricas” del capítulo “Marco teórico” de esta investigación, este tipo de suelo se compone por partículas muy finas y presenta baja estabilización. Para el presente proyecto de investigación se analizó el comportamiento físico y

mecánico de los suelos limo-inorgánicos del distrito de San Martín de Porres, para dar a conocer cómo son influenciados, los resultados, en su densidad seca máxima y la cantidad de humedad óptima para la compactación, su resistencia al esfuerzo cortante y su capacidad de soporte a cargas aplicadas utilizando un aditivo que son los residuos mineros (relave).

### 3.7. Operacionalización de variables

**Tabla 14:** Tabla de operalización de variables

Objetivos	Variables	
Objetivo general	Variable independiente (X)	Variable dependiente (Y)
Determinar la influencia de los residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones del distrito de San Martín de Porres.	X: Residuos mineros (relave)	Y: Propiedades físicas y mecánicas de los suelos limo-inorgánicos del distrito de San Martín de Porres
	<b>Dimensiones de X</b>	<b>Dimensiones de Y</b>
	X1: Proporción de residuos mineros (relave)	Y1: Densidad máxima seca
		Y2: Resistencia al esfuerzo cortante
		Y3: Capacidad de soporte a cargas aplicadas
	<b>Indicadores de X</b>	<b>Indicadores de Y</b>
	X1.1: Porcentaje en función al peso de la muestra de suelo (%)	Y1.1: Densidad máxima seca (gr/cm <sup>3</sup> )
		Y1.2: Porcentaje de agua en función al peso de la muestra (%)
Y2.1: Angulo de fricción - $\phi$ (°)		
Y2.2: Cohesión - C (kg/cm <sup>2</sup> )		
Y3.1: Capacidad de carga admisible - Qadm (kg/cm <sup>2</sup> )		

**Elaborada por:** El autor

### **3.8. Técnicas e instrumentos para la obtención de datos**

#### **3.8.1. Extracción y Preparación de muestras**

- Para las mediciones de las dimensiones de la calicata, se utilizó un medidor láser de distancias normalizado, marca Bosch profesional GLM 20 y para las mediciones de los pesos de las muestras: suelo y relave, se utilizó una balanza normalizada del laboratorio E y P INGENIERÍA S.R.L.
- Para la preparación este usará algunas herramientas de laboratorio como: un horno que tiene que tener una capacidad de temperatura interna de  $110 \pm 5$  °C, un tamiz de malla n°4.

#### **3.8.2. Ensayos de laboratorio**

En este apartado se detalla las herramientas de laboratorio, como también tablas para la anotación de datos hechas por el laboratorio E y P de Ingeniería. Cabe resaltar que, las tablas para la anotación de datos, que se presentan en esta sección de la presente tesis, fueron formatos físicos (impresos) y sirvieron como ayuda en la obtención de datos escritos en cada una de ellos, para poder ser ingresados en tablas y gráficos en el programa Excel.

- a) Para el ensayo de granulometría, las herramientas que se utilizó ,para la obtención de los datos, son tamices normalizados por tamaños de: 3", 1 ½", ¾", ½", ⅜", ¼", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100 y N°200 más el fondo, también se requirió de un formato (tabla 15), para la recolección de los datos del ensayo mencionado.

**Tabla 15:** Formato para introducir datos del ensayo granulométrico

 <b>E y P DE INGENIERIA S.R.L.</b> LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253										
ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ( ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107 )										
PROYECTO : _____ DESCRIPCION : _____ FECHA : _____ CALICATA : _____ PROFUNDIDAD : _____ MUESTRA : _____										
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	%RET. PARCIAL	%RET. ACUMULADO	% PASA	ESPEC.				
3"	76.200									
1 1/2"	38.100									
3/4"	19.050									
1/2"	12.700									
3/8"	9.525									
1/4"	6.350									
Nº 4	4.740									
Nº 10	2.000									
Nº 20	0.840									
Nº 40	0.426									
Nº 60	0.250									
Nº 100	0.149									
Nº 200	0.074									
< Nº 200										
					<table border="1"> <tr> <td>PESO SECO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO SECO LAVADO</td> <td></td> </tr> </table>		PESO SECO		PESO SECO LAVADO	
PESO SECO										
PESO SECO LAVADO										
LABORATORISTA _____			ING. RESPONSABLE _____							

**Fuente:** E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

- b) Para el ensayo de límites de atterberg se utilizó herramientas para la obtención de datos como: una cuchara Casagrande, balanza con precisión de 0.01 gramos y una capacidad máxima de 2000 gramos, taras para el secado en horno como también se necesitó un formato para introducir los datos hallados como se muestra en la tabla 16.

**Tabla 16:** Formato para introducir datos de los ensayos de límites de atterberg

 <b>DE INGENIERIA S.R.L.</b> LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253				
PROYECTO : _____ DESCRIPCION : _____ FECHA : _____ CALICATA : _____ PROFUNDIDAD : _____ MUESTRA : _____				
<b>LIMITE LIQUIDO ( ASTM D-4318 / AASHTO T-89 / MTC E-110 )</b>				
Nº TARRO				
TARRO + SUELO HUMEDO				
TARRO + SUELO SECO				
AGUA				
PESO DEL TARRO				
PESO DEL SUELO SECO				
% DE HUMEDAD				
Nº DE GOLPES				
<b>LIMITE PLASTICO ( ASTM D-4318 / AASHTO T-90 / MTC E-111 )</b>				
Nº TARRO				
TARRO + SUELO HUM.				
TARRO + SUELO SECO				
AGUA				
PESO DEL TARRO				
PESO DEL SUELO SECO				
% DE HUMEDAD				
_____ LABORATORISTA		_____ ING. RESPONSABLE		

**Fuente:** E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

c) Para el ensayo de gravedad específica se utilizó las siguientes herramientas: envase picnómetro, envase matraz, balanza con precisión de pesa de 0.01 gramos y una capacidad máxima de 2000 gramos, un embudo, agua destilada. Para la recolección de los datos de este ensayo se contó con el formato que se presenta en la tabla 17.

**Tabla 17:** Formato para introducir datos de los ensayos de gravedad específica

 <b>DE INGENIERIA S.R.L.</b> LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253		
PROYECTO : _____		
DESCRIPCION :	FECHA :	
CALICATA :	MUESTRA :	
PROFUNDIDAD :		
<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C127-04 / MTC E113)</b>		
DESCRIPCIÓN	ENSAYO 1	ENSAYO 2
VOLUMEN PICNOMETRO		
REMOCIÓN DE AIRE		
PICNÓMETRO + AGUA + SUELO		
TEMPERATURA		
PICNÓMETRO + AGUA		
MASA SUELO SECO		
K (factor de corrección por temperatura)		
GRAVEDAD ESPECÍFICA		
GRAVEDAD ESPECIFICA PROM. (%)		
_____ LABORATORISTA	_____ ING. RESPONSABLE	

**Fuente:** E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

- d) Para el ensayo de proctor estándar se contó con las herramientas siguientes: un pisón, este debe tener una masa de  $2.5 \pm 0.01$  kg, un molde de diámetro interno de  $101.6 \pm 0.4$  mm, con una altura de  $101.6 \pm 0.5$  mm y un volumen de  $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup>; una balanza de precisión de 0.01 g y una balanza de precisión 0.1% de la muestra. También se necesitó del formato que se presenta en la Tabla 18 para introducir los datos de este ensayo del laboratorio.



**Tabla 19:** Formato para introducir datos de los ensayos de corte directo

 <b>E y P DE INGENIERIA S.R.L.</b> LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253							
<b>CORTE DIRECTO, CONSOLIDADO DRENADO ( ASTM D-3080 / AASHTO T-236 / MTC E-123 )</b>							
PROYECTO :					MUESTRA :		
CLIENTE :					FECHA :		
PROFUNDIDAD :							
CALICATA :							
Lado :				Densidad Seca :			
Altura :				Humedad Inicial :			
Area :				Humedad Final :			
Carga :							
Aprox. Dial Defor. :							
Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1							
2							
4							
6							
8							
10							
12							
14							
15							
18							
21							
24							
27							
30							
35							
40							
45							
_____				_____			
LABORATORISTA				ING. RESPONSABLE			

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

### 3.9. Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos

Las técnicas que se tomaron en cuenta, para realizar todos los ensayos mencionados en el presente proyecto de investigación, fueron extraídas y puestas en práctica del *Manual de Ensayo de Materiales (2016)* del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Para poder procesar los datos y determinar la capacidad de cargas aplicadas, se incluyó técnicas teóricas, como por ejemplo: la ecuación general de la capacidad de carga (Meyerhof) entre otras expuestas por Braja M. Das en *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (2012)*.

Para el procesamiento de los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio antes mencionados, se usó el programa de Excel, usando tablas y gráficos comparativos se llegó a obtener los resultados finales para la presente investigación.

## **CAPÍTULO IV DESARROLLO**

### **4.1. Caso de la investigación**

Por la situación coyuntural que está pasando, desde el 15 de Marzo del 2020 en el Perú, por pandemia del nuevo coronavirus (COVID-19), los laboratorios de estudio de suelos, de distinguidas universidades, han tenido que parar con sus labores, y cerrar sus locales, clausurando sus servicios temporalmente, en ello se sumó la universidad de San Martín de Porres para evitar aumentar los contagios del virus ya mencionado.

Por ello, se tuvo la necesidad requerir servicios de laboratorio particular externa. La situación económica del país y sobre todo del autor del presente trabajo de investigación resultó afectada, debido a las consecuencias que generaron la pandemia y la cuarentena decretadas por el gobierno en todo el Perú.

Por ese motivo, se investigó acerca de los laboratorios que brindan servicios de calidad y que cuenten con la certificación de calibración de sus herramientas y máquinas, con un precio económico y que esté al alcance del autor; se llegó a una cotización, de los ensayos que

se procederán a realizar, accesible para el investigador y se procedió a elegir a uno: E y P de ingeniería S. R. L. laboratorio de mecánica de suelos, concreto y pavimentos.

Es importante mencionar que, todos los ensayos realizados y los datos hallados en el laboratorio, elegido por el autor del presente capítulo de investigación, fueron supervisados y corroborados por los ingenieros y técnicos responsables que laboran en dicho laboratorio: E y P de ingeniería S. R. L.; esto se puede sustentar y afirmar por los resultados de los ensayos de laboratorio sellados y firmados, que se presentan del Anexo 21 al Anexo 51 de la presente tesis.



**Figura 32:** Laboratorio E y P de ingeniería S. R. L.

**Elaborada por:** El autor

#### **4.2. Procedimiento de trabajo**

El presente trabajo de investigación, recomienda una manera de utilizar los beneficios de los residuos de los procesos mineros. Con la combinación proporcional del relave, se observó la influencia de la capacidad portante de los suelos limo-inorgánicos ubicados en el distrito de San Martín de Porres.

Las propiedades, tanto físicas como mecánicas de los residuos mineros (relave) que se extrajo, pueden servir para ser introducidos en el campo de la Ingeniería Geotécnica. La combinación proporcional del suelo limo-inorgánico y los residuos mineros, obtenidos por el depósito de relave abandonado de la unidad minera Carhuacayan, nace principalmente de la finalidad de observar los fenómenos que surgen en este material que ocasiona en las propiedades del suelo limo-inorgánico.

A fin de alcanzar los objetivos propuestos de la presente tesis, se realizó una investigación previa geotécnica, luego de tener la información suficiente, se realizó una exploración geotécnica al lugar deseado y propuesto por el autor, con las muestras obtenidas, se trasladó al laboratorio para su posterior estudio, con ello se calculó y obtuvo los datos queridos mediante las normas técnicas vigentes. Estas actividades abarcan los procesos informativos que sirven para determinar la influencia de las propiedades del relave en los suelos limo-inorgánicos del distrito de San Martín de Porres.

#### **4.3. Trabajos preliminares: extracción y preparación de muestras**

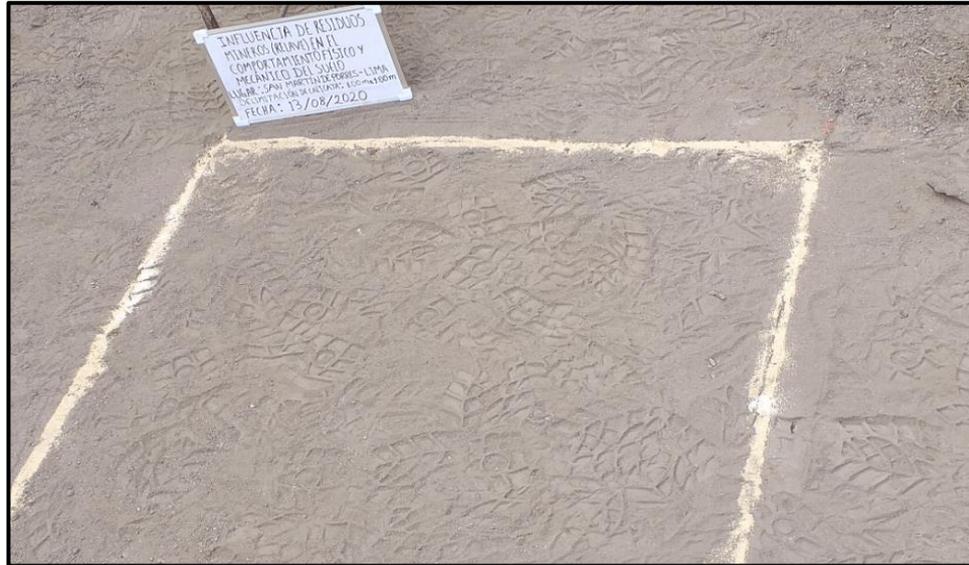
Para comenzar se hizo una inspección del lugar del terreno ubicado en el distrito de San Martín de Porres.



**Figura 33:** Entrada al terreno de muestra

**Elaborada por:** El autor

En el interior de dicho terreno se eligió una zona donde realizar la calicata y se procedió a delimitar sus dimensiones, para esto se necesitó de polvo de yeso para realizar estas líneas que son 1.00 m x 1.00 m como se ve en las siguientes figuras.



**Figura 34:** Delimitación de la calicata

Elaborada por: El autor



**Figura 35:** Medición de la delimitación

Elaborada por: El autor

Luego de ello, se procedió a excavar el suelo hasta realizar una calicata de profundidad de 2.00 m. para la excavación no se necesitó avisos de advertencia ni cintas delimitadoras de seguridad, debido a que el terreno cuenta con muros perimetrales y un portón metálico, además es propiedad privada de acceso restringido tránsito.



**Figura 36:** Excavación

**Elaborada por:** El autor

Seguidamente, se procedió a hallar la profundidad con ayuda de un medidor de distancia laser, para poder encontrar la profundidad ideal para las investigaciones de laboratorio correspondientes, la calicata posee una profundidad aproximada  $h = 2.00$  m.



**Figura 37:** Medición de la calicata

Elaborada por: El autor



**Figura 38:** Medición con distanciómetro laser

Elaborada por: El autor

Una vez verificando la profundidad de la calicata, se comenzó a extraer las muestras para ello se extrajo muestras alteradas, estas muestras se extrajeron con mucho cuidado y fueron embolsadas y empacadas tal como indican las normas del transporte de muestras, para su futura investigación de laboratorio.



**Figura 39:** Extracción de la muestra

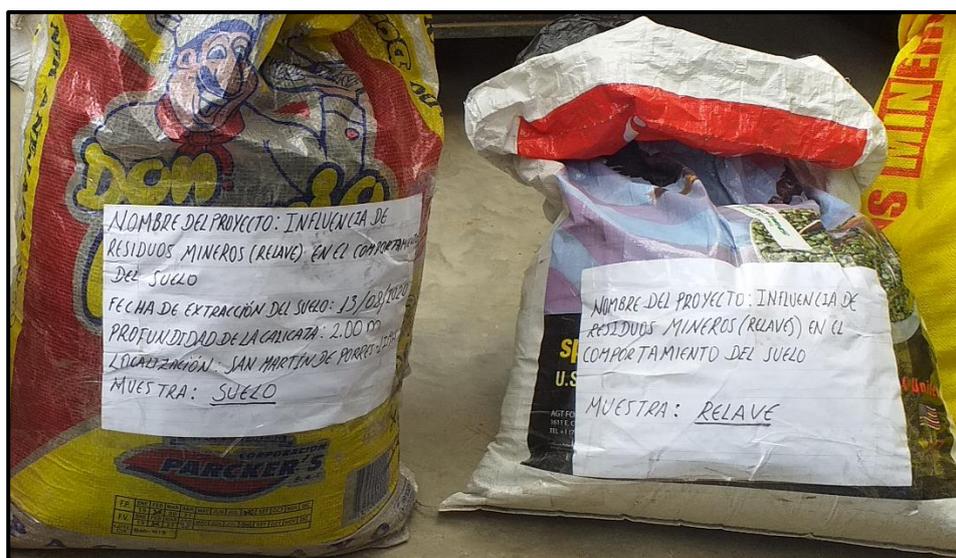
**Elaborada por:** El autor

Como explica la norma MTC E 104 del *Manual de Ensayo de Materiales (2016)*, se procedió a realizar la conservación y el transporte de las muestras, usando, como la norma sugiere, bolsas plásticas y costales que son necesarias para reducir la alteración en sus propiedades del suelo extraído.

También fue necesaria, según la norma indica, la identificación de las muestras en sus empaques respectivos, esta

identificación está conformado esencialmente de los siguientes datos y se especifican también en la Tabla 20:

- a) Nombre del proyecto
- b) Fecha de la extracción de muestra
- c) Profundidad de la calicata
- d) Localización de la calicata
- e) Muestra



**Figura 40:** Muestras empacadas y transportadas al laboratorio

**Elaborada por:** El autor

Para las muestras del relave, se fue al depósito de relave que está en el lugar indicado y detallado en la sección del presente trabajo de investigación “Población y muestra”, y seguidamente se comenzó a extraer la muestra de relave en las cantidades requeridas para realizar los ensayos de laboratorio.

Antes de comenzar con los ensayos de esta investigación, para proceder a realizar los ensayos se tuvo que cuartear la muestra alterada, como se ve en la Figura 41, esto se llega a realizar, para poder distribuir de manera homogénea las partículas finas y las gruesas y poseer resultados confiables que pueda generalizarse a la zona en donde se extrajo la muestra.



**Figura 41:** Cuarteo del suelo alterado

**Elaborada por:** El autor

**Tabla 20:** Especificaciones de las muestras para el estudio

DATOS DE LA CALICATA DONDE ESE EXTRAJO EL SUELO			
CALICATA C-1			
DIMENSIONES	Largo	1.00 m	
	Ancho	1.00 m	
	Profundidad	2.00 m	
UBICACIÓN	Lote 01 Manzana "A", Alameda Santa Rosa del distrito de San Martín de Porres, Lima, Perú		
FECHA DE EXTRACCIÓN	13/08/2020		
CANTIDAD DE MUESTRA DE SUELO EXTRAÍDA	90 kg		
DATOS DE LA MUESTRA DE RELAVE			
MINERA PRODUCTORA	Desconocida		
RECURSO	Polimetálico		
UBICACIÓN	Collpa ubicada al noroeste del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayan de la provincia de Yauli del departamento de Junín a una altitud de 4200 m.s.n.m. "alado de baños termales Collpa"		
FECHA DE EXTRACCIÓN	11/03/2020		
CANTIDAD DE MUESTRA DE RELAVE EXTRAÍDA	80 kg		

**Elaborada por:** El autor

#### 4.4. Análisis de las muestras por el ensayo granulométrico por tamizado

Para poder hallar la clasificación de la muestra de suelo y la muestra de relave, se procedió, primero, a realizar el ensayo de granulometría por tamizado. Antes de ejecutar el presente ensayo, se tomó como referencia la norma MTC E 107 y con la ayuda más las recomendaciones de los técnicos, que laboran en el laboratorio E y P de ingeniería, se hizo posible la ejecución completa de este ensayo mencionado.

Como indica la norma, lo primero que se hizo, es tomar una porción de muestra de suelo y de relave y extraer todo el contenido de humedad de las porciones de muestras, en este apartado no se necesita combinar proporcionalmente la muestra de suelo con la del relave como se detalla en la variable independiente, debido a que se requiere clasificar las muestras independientemente en su estado natural mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Luego de extraer el contenido de humedad utilizando el horno de laboratorio con una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C, las muestras, presentaban una cohesión en sus partículas muy elevada que no era posible desintegrarlas con el simple tacto, por ello se procedió a separar las partículas finas mediante el lavado de muestras con ayuda del tamiz N°200 y seguidamente llevarlas al horno para su debido tamizado (Figura 42), para las cantidades aproximadas de muestra gruesa se detalla en la Tabla 21 y para la cantidades finas (muestra pasante de la malla N° 4) es de 65 g para suelos limosos tal como la norma de este ensayo indica.

**Tabla 21:** Peso de muestra respecto al tamaño de partículas

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

**Fuente:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016



**Figura 42:** Lavado, secado y tamizado de muestras

Elaborada por: El autor

Para este ensayo se recuerda que se usó una balanza para el pesado de muestras, como se puede apreciar en la Figura 43, y con ello se obtuvo resultados de cada tamiz, para facilitar la comprensión de ellos se introdujo estos datos en una tabla de Excel (Tabla 22) señalando el número de tamiz con los porcentajes retenidos correspondientes.



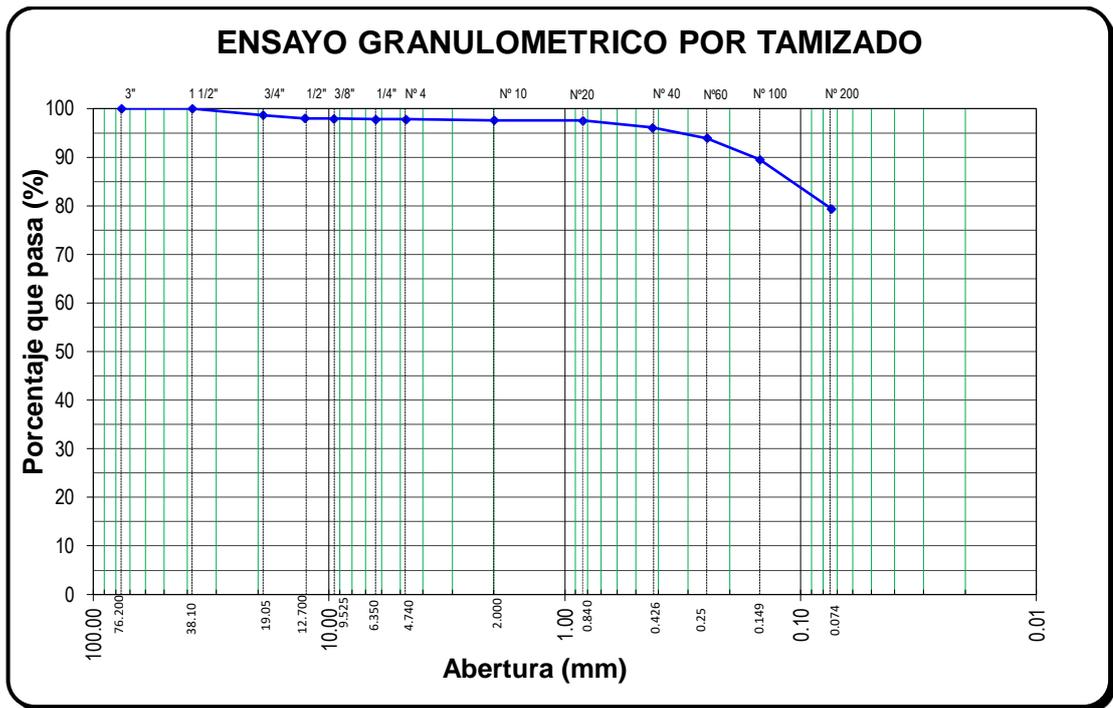
**Figura 43:** Muestra tamizada y separada en taras

Elaborada por: El autor

**Tabla 22:** Datos del ensayo granulométrico de la muestra del suelo al 100%

ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ( ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107 )					
<b>PROYECTO</b> : Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo para la cimentación de edificaciones					
<b>TESISTA</b> : HANS A. LLACZA CARDENAS <span style="float: right;"><b>FECHA</b> : 24/08/2020</span>					
<b>CALICATA</b> : C-1					
<b>PROFUNDIDAD</b> : 2.00 m <span style="float: right;"><b>MUESTRA</b> : Suelo al 100%</span>					
<b>PESO SECO (g)</b>		500.00	<b>PESO SECO LAVADO (g)</b>		103.13
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	%RET. PARCIAL	%RET. ACUMULADO	% PASA
3"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.00
3/4"	19.050	6.60	1.32	1.32	98.68
1/2"	12.700	3.40	0.68	2.00	98.00
3/8"	9.525	0.50	0.09	2.09	97.91
1/4"	6.350	0.40	0.08	2.17	97.83
Nº 4	4.740	0.30	0.06	2.23	97.77
Nº 10	2.000	0.75	0.15	2.38	97.62
Nº 20	0.840	0.55	0.11	2.49	97.51
Nº 40	0.426	7.00	1.40	3.89	96.11
Nº 60	0.250	10.97	2.19	6.08	93.92
Nº 100	0.149	22.00	4.40	10.48	89.52
Nº 200	0.074	50.66	10.13	20.61	79.39
< Nº 200		396.9	79.39	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		500.0	100.0	<b>PESO FONDO(g)</b>	396.9

Elaborada por: El autor



**Figura 44:** Gráfico del análisis granulométrico

Elaborada por: El autor

Teniendo los datos hallados, se procede a realizar el análisis y la clasificación por el método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), para ello se fueron usados como referencias los Anexos 2 y 3. El resultado que pasa en la malla N° 200 es más del 50%, entonces se determina que el suelo es fino: limo y arcillas, con este dato no se necesitará hallar los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura, ya que estos coeficientes son necesarios hallar para la clasificación con un suelo grueso, sin embargo es indispensable hallar los límites de Atterberg para terminar por determinar su clasificación.

#### 4.5. Análisis de los ensayos de los límites de Atterberg

Luego de determinar las cantidades retenidas y pasantes de la muestra de suelo y de relave en los tamices del ensayo de granulometría, se observó que este suelo era fino, con ello se vio obligado a determinar los límites de Atterberg: límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de la muestra de suelo para poder clasificarlo mediante la

clasificación por SUCS, para realizar los ensayos de este apartado, se referenció de las normas MTC E 110 y MTC E 111, los materiales, que se usaron, se observan en la Figura 45.

Para poder hallar el límite líquido, se tuvo que utilizar la muestra que previamente fue tamizada por la malla N° 40, las cantidades de muestra a estudiar, como se expone en la norma, que está entre 150 a 200 gramos esta muestra tuvo que ser humedecida con agua destilada para adherirla a la cuchara Casagrande y ser dividido por la mitad por un canalizador para proceder a contabilizar el número de golpes (Figura 46), luego se corta en fracciones dentro de la cuchara y cada fracción es pesado y secado, el dato del límite líquido se halló mediante la gráfica curva de fluidez (Figura 48).

Para hallar el límite plástico, se tuvo que utilizar una muestra representativa de 20 gramos que fue pasada por la malla N° 40, seguidamente se procedió a humedecerla y formar una masa esférica para luego extraer de 1.5 g a 2.0 gramos de dicha masa para formar cilindros de 3.2 mm diámetro de (Figura 47).



**Figura 45:** Materiales para el ensayo de límites de Atterberg

**Elaborada por:** El autor



**Figura 46:** Elaboración del ensayo límite líquido

Elaborada por: El autor



**Figura 47:** Elaboración del ensayo límite plástico

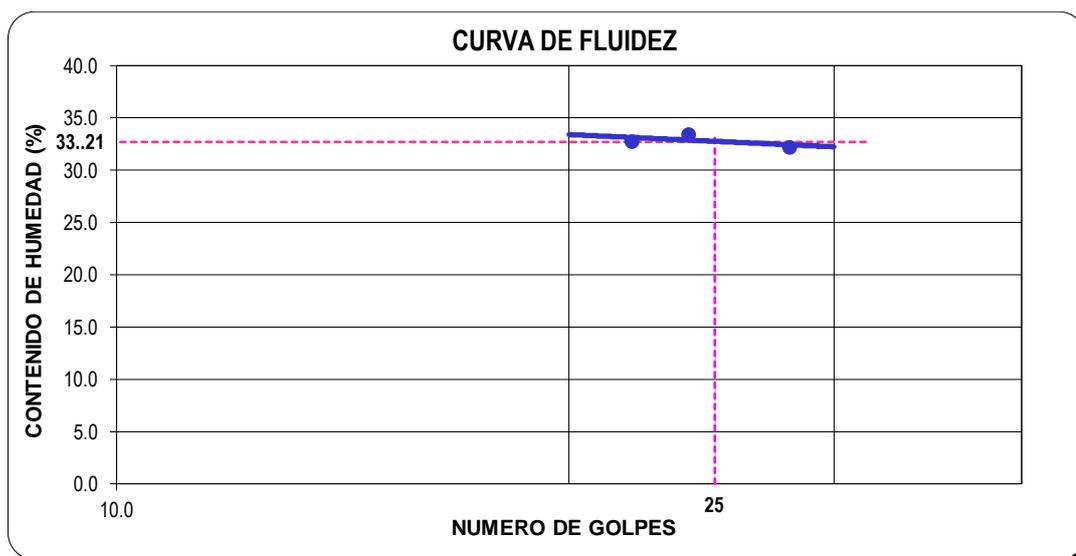
Elaborada por: El autor

Luego de pesar las muestras en la balanza, antes y después de meterlas al horno por 24 horas, se obtuvo los resultados del límite líquido (LL) y límite plástico (LP). Para hallar el índice de plasticidad, se debe restar ambos índices antes mencionados ( $LL - LP$ ) quedando así datos suficientes para hallar su clasificación por SUCS, aquellos datos se pueden observar en las siguientes tablas: Tabla 23 y Tabla 24.

**Tabla 23:** Datos hallados de los ensayos: límite líquido y límite plástico

<b>PROYECTO</b>	: INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DEL SUELO PARA LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES		
<b>TESISTA</b>	: Hans A. Llacza Cárdenas	<b>FECHA</b>	: 24/08/2020
<b>CALICATA</b>	: C-1		
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 2.00 m	<b>MUESTRA</b>	: Suelo al 100%
<b>LÍMITE LÍQUIDO ( ASTM D-4318 / AASHTO T-89 / MTC E-110 )</b>			
Nº TARRO	17	87	5
TARRO + SUELO HUMEDO	17.90	17.84	18.72
TARRO + SUELO SECO	15.14	15.15	15.69
AGUA	2.76	2.69	3.03
PESO DEL TARRO	6.58	7.10	6.45
PESO DEL SUELO SECO	8.56	8.05	9.24
% DE HUMEDAD	32.24	33.42	32.79
Nº DE GOLPES	28	24	22
<b>LÍMITE PLÁSTICO ( ASTM D-4318 / AASHTO T-90 / MTC E-111 )</b>			
Nº TARRO	84	42	
TARRO + SUELO HUM.	13.11	13.10	
TARRO + SUELO SECO	11.90	11.82	
AGUA	1.21	1.28	
PESO DEL TARRO	7.12	6.54	
PESO DEL SUELO SECO	4.78	5.28	
% DE HUMEDAD	25.31	24.24	
<b>% LÍMITE PLÁSTICO</b>	<b>24.78</b>		

Elaborada por: El autor



**Figura 48:** Curva de fluidez (límite líquido % vs 25 golpes)

Elaborada por: El autor

**Tabla 24:** Resultados de los ensayos de límites de Atterberg

<b>LIMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA DE SUELO AL 100%</b>	
LIMITE. LIQUIDO (LL) (%)	33.21
LIMITE PLASTICO (LP) (%)	24.78
INDICE PLASTICO (IP) (%) = (LL – LP)	8.43

Elaborada por: El autor

#### **4.6. Clasificación de las muestras estudiadas por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

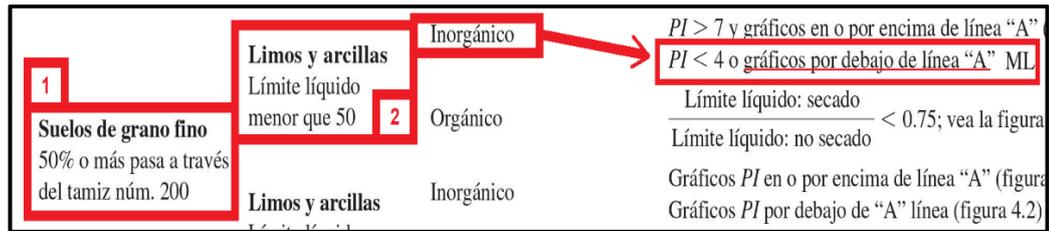
En este apartado del desarrollo de la investigación, se ejecuta la clasificación del suelo mediante el SUCS, para determinar dicha clasificación se tuvo que regirse de las bases expuestas según Das, B. M. (2015) en *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, esta clasificación busca determinar una nomenclatura a un tipo de suelo a partir de su distribución y tamaño de sus partículas. En este proyecto de investigación se toma como referencias muestras finas como las arenas, limos y arcillas, debido a que las propiedades físicas y mecánicas de estos son generalmente obstáculos al construir una edificación.

Para poder terminar con la clasificación del suelo se procedió a hallar el índice de plasticidad, con ello y observando todos los datos ya hallados en la Tabla 24 y los datos granulométricos de Tabla 22, la muestra de suelo extraída por el autor se denomina como un suelo **ML** (limo-inorgánico); ya que como se puede apreciar en tabla SUCS, se considera suelos de grano fino cuando más del 50% de la muestra estudiada pasa a través de la malla N° 200, seguidamente se debe apreciar la gráfica de plasticidad (Figura 50), donde indica el grupo de suelo al cual pertenece y finalmente comparar con el peso parcial retenido por la malla N° 200 (Figura 53), para así terminar por clasificar el suelo que fue extraído para este proyecto de investigación.

**Tabla 25:** Datos necesarios para la clasificación de suelos por el SUCS

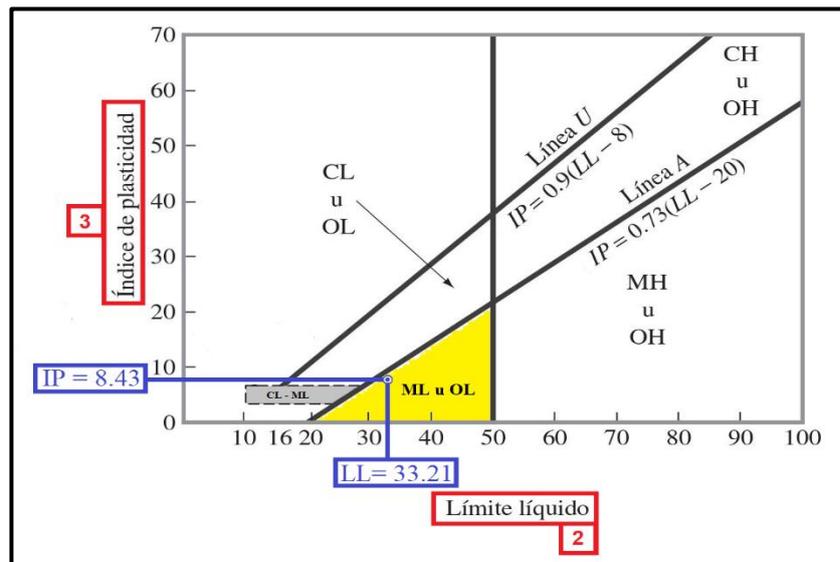
DATOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUCS		
1	% PASANTE DE LA MALLA N° 200	79.39
2	LIMITE. LIQUIDO (LL) (%)	33.21
3	INDICE PLASTICO (IP) (%)	8.43
4	% RETENIDO DE LA MALLA N°200	10.13

Elaborada por: El autor



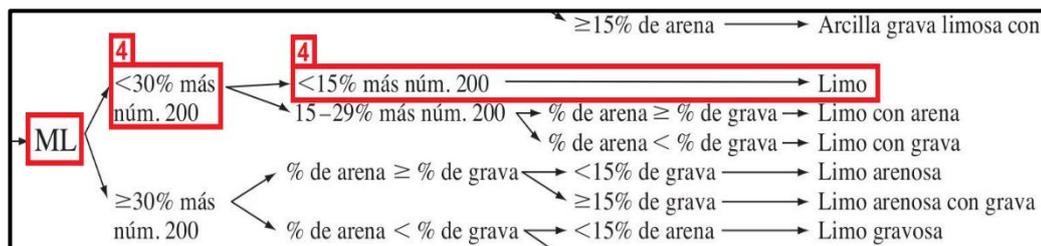
**Figura 49:** Clasificación del suelo en estudio

Fuente: Das, 2015



**Figura 50:** Gráfica de plasticidad

Elaborada por: El autor



**Figura 51:** Clasificación de nombre del grupo ML del suelo

Fuente: Das, 2015

#### 4.7. Análisis del ensayo de compactación de suelos utilizando energía estándar (Proctor estándar)

Luego de la clasificación del suelo a estudiar, en este presente ensayo se procedió a empezar hallar los datos para cumplir el objetivo específico, que consiste en saber sobre qué influencia presenta la adición proporcional de residuos mineros (relave) al suelo limo-inorgánico, extraído del distrito de San Martín de Porres, en sus propiedades físicas: densidad y contenido de humedad. Para que esto sea posible se tuvo que regir en los protocolos y bases técnicas del ensayo presentadas en la norma MTC E 116, el método de ensayo que se eligió es el método "A" expuesta en el apartado "Ensayo de proctor estándar" del presente trabajo de investigación.

Se desarrolló el ensayo con las muestras de relave y suelo tamizadas por el tamiz N°40 (Figura 52), esto se hizo, debido a que la norma exige que las muestras a estudiar en el presente ensayo sean tamizadas por dicho tamiz, luego de ello se evaluó las cantidades de relave y suelo que tendrán que mezclarse. Cada número de ensayo, que presenta la relación de peso unitario seco vs contenido de humedad para determinar la curva de compactación, se debe hallar obteniendo 2500 gr de muestra seca, las cantidades de suelo y relave a combinarse se fueron determinadas en la (Tabla 26).



**Figura 52:** Tamizado del relave, mesclado de relave + suelo y pesado de muestras (2500 gr)

**Elaborada por:** El autor

**Tabla 26:** Cantidades de suelo y relave a usarse

<b>CANTIDADES DE MUESTRA A USAR EN EL ENSAYO PROCTOR ESTANDAR</b>			
<b>Muestras</b>	<b>Peso en gramos por punto obtenido en relación <math>\rho</math> vs <math>w\%</math></b>		<b>Peso total (gr)</b>
	<b>Suelo</b>	<b>Relave</b>	
Suelo 100% + relave 0%	2500	0	2500
Suelo 80% + relave 20%	2000	500	2500
Suelo 70% + relave 30%	1750	750	2500
Suelo 50% + relave 50%	1250	1250	2500

**Elaborada por:** El autor

Al terminar de haber pesado y separado las cantidades de muestra suelo más relave a usarse en este ensayo, se procedió a empezar a realizar el ensayo de compactación empezando por la proporción de muestra del suelo al 100% posteriormente a este con el suelo al 80% + relave al 20%, luego consecutivamente, en forma ordenada, las muestras que restan.

Para poder tener una referencia previa antes de terminar el ensayo, se eligió la muestra de suelo al 100%, por ser una muestra natural y poder obtener sus características iniciales de este tipo de suelo, para ello lo primero que se obtuvo es el dato de la densidad, para obtener este dato se procedió a ensayar con 5 especímenes de 2500 gr de suelo al 100% seco cada uno como sugiere la norma MTC E 116, pero para poder procesarlos mediante tablas y gráficos en el programa Excel se tomó solamente 4 (es el número mínimo de especímenes que se indica en dicha norma), debido a que en este ensayo solo se busca el vértice de la parábola que genera dichos datos con el contenido de humedad y la densidad seca, este vértice ayuda determinar el contenido de humedad óptimo y la densidad máxima seca que son datos importantes en esta investigación.

Para el primer espécimen de 2500 gramos se añadió los porcentajes indicados de agua en la norma, con ello se compacta, en el molde proctor el suelo humedecido en tres etapas de 25 golpes cada una seguidamente se pesa el molde con el suelo humedecido y compactado.



**Figura 53:** Muestra humedecida, compactación de la muestra  
Elaborada por: El autor



**Figura 54:** Pesado del molde proctor con la muestra compactada: suelo 80% + relave 20%  
Elaborada por: El autor

**Tabla 27:** Densidades húmedas del suelo al 100%

<b>PROCTOR ESTANDAR ( ASTM D-698 / AASHTO T-180 / MTC E-116 )</b>				
<b>DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO AL 100%</b>				
<b>VOLUMEN DEL MOLDE :</b>	<b>944 cm<sup>3</sup></b>	<b>PESO DEL MOLDE :</b>	<b>4015 gr</b>	<b>N° CAPAS: 3</b>
				<b>GOLPES POR CAPA: 25</b>
<b>NUMERO DE ENSAYOS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
PESO SUELO + MOLDE (gr)	5536	5675	5707	5606
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr)	1521	1660	1692	1591
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.611	1.758	1.792	1.685

**Elaborada por:** El autor

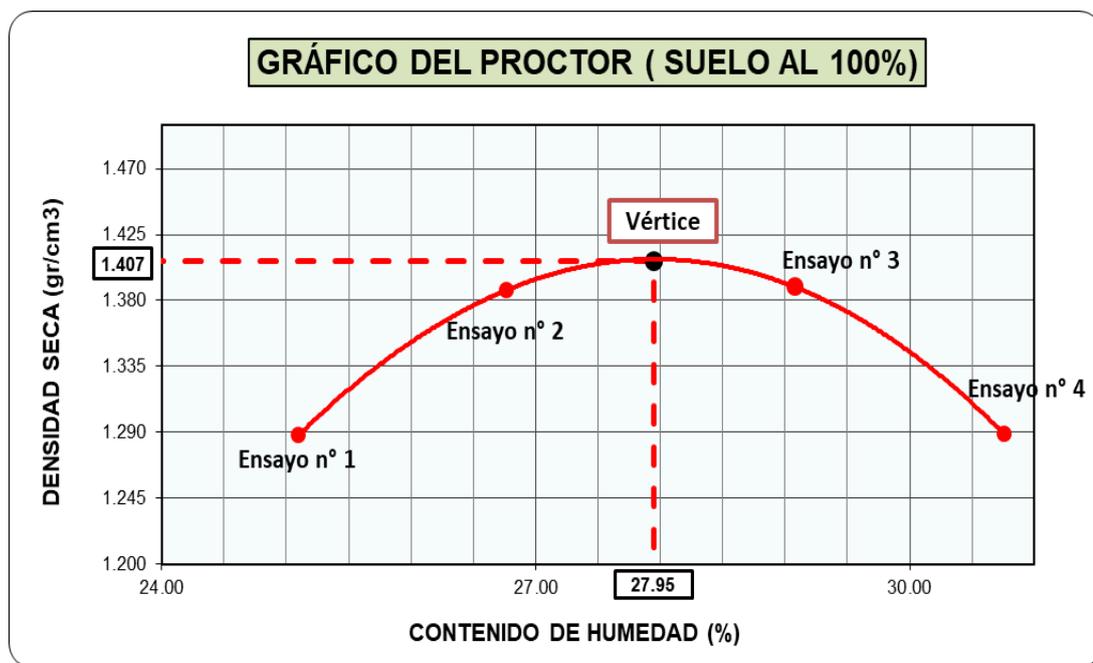
Luego de haber pesado el molde con la muestra de suelo compactada, se retiró el suelo del molde y se extrajo una cierta parte de esta muestra, puesta en una tara para ser introducido al horno y ser secado por esta, debe ser pesada antes y después de introducirla en el horno, para poder obtener los datos que nos servirán para hallar el contenido de humedad y la densidad seca de los 4 especímenes de los cuales se obtuvieron las densidades húmedas anteriores que se muestran en la Tabla 27.

**Tabla 28:** Datos para contenido de humedad y la densidad seca

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA DEL SUELO AL 100%</b>				
RECIPIENTE o TARA Nro.	52 - A	8 - B	42 - A	2 - B
PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)	182.15	177.94	175.63	198.05
PESO SUELOS SECO + TARA (gr)	151.55	146.70	142.83	158.65
PESO DE LA TARA (gr)	29.62	29.97	30.06	30.54
PESO DE AGUA (gr)	30.60	31.24	32.80	39.40
PESO DE SUELO SECO (gr)	121.93	116.73	112.77	128.11
CONTENIDO DE AGUA (%)	<b>25.10</b>	<b>26.76</b>	<b>29.09</b>	<b>30.75</b>
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.288</b>	<b>1.387</b>	<b>1.389</b>	<b>1.289</b>

**Elaborada por:** El autor

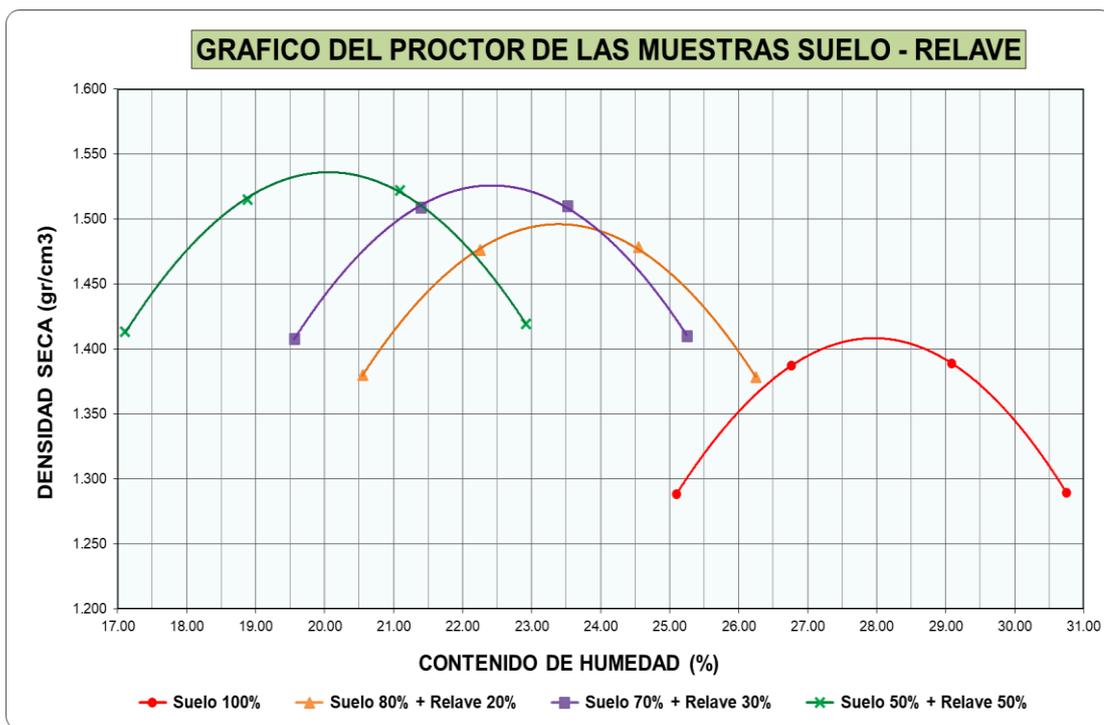
Estos datos mencionados se fueron introducidos en la gráfica del proctor, los puntos generados por los 4 ensayos se usaron para realizar la curva de compactación (Figura 55) generando, con ayuda de dichos puntos, una parábola con un vértice importante, para conseguir los datos que se busca al realizar este ensayo de laboratorio.



**Figura 55:** Curva de compactación de la muestra del suelo al 100%

**Elaborada por:** El autor

Encontrando los datos de densidad máxima seca y la humedad óptima del suelo al 100 %, se continuó a realizar los ensayos con las muestras suelo + relave con las proporciones establecidas, estos ensayos se hizo con los mismos procedimientos expuestos en este apartado, sin embargo las cantidades de agua que se añadieron a los ensayos de cada proporción suelo – relave fueron distintas y se rigen a los parámetros de la norma citada en este ensayo. Las gráficas de la curva de compactación que se obtuvo de los datos hallados de las demás muestras a ensayar se añadieron en una gráfica: Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>) vs Contenido de Humedad (%), para su previa comparación ante las propiedades de la muestra inicial de suelo en estudio como es el limo-inorgánico.



**Figura 56:** Curvas de compactación de distintas proporciones (suelo + relave)

**Elaborada por:** El autor

Los valores, de las densidades máximas secas y contenidos óptimos de humedad, se hallaron con ayuda de los vértices de las parábolas que se presentan en la Figura 56, seguidamente se introdujeron a la Tabla 29, para su mejor comparación.

**Tabla 29:** Datos finales del ensayo proctor estándar

ENSAYO DE PROCTOR: SUELO + RELAVE		
MUESTRA	DENSIDAD MÁXIMA SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
Suelo 100%	1.407	27.95
Suelo 80% + relave 20%	1.495	23.42
Suelo 70% + relave 30%	1.528	22.42
Suelo 50% + relave 50%	1.531	19.98

**Elaborada por:** El autor

#### 4.8. Análisis del ensayo corte directo

En la elaboración de este ensayo, se tomó como referencia la norma: MTC E 123, en el cual permite conocer diversas características la resistencia que presentan los suelos consolidados estudiados en el laboratorio, estos pueden ser de todo tipo de suelos que están compactados manualmente, remodelados o que no estén alterados; este tipo de ensayo buscará determinar si el relave aporta de manera beneficiosa al suelo en sus propiedades mecánicas, obteniendo el esfuerzo cortante como también el ángulo de fricción.

Para este ensayo se procedió a preparar las muestras, se utilizó muestras alteradas secas, primero se humedecieron para así introducirlas en un molde cuadrangular, compactándolas con ayuda de un pisón (Figura 57), para que éstas estén en las dimensiones, que son requeridas para introducirlas en la cámara de la máquina de corte, que evalúa las características mecánicas como las deformaciones unitarias y esfuerzo cortante.



**Figura 57:** Introducción del suelo 70% + relave 30% al molde de corte directo

**Elaborada por:** El autor

Seguidamente se tiene que dejar en reposo el tiempo estipulado por la norma y mostrado en la Tabla 13, para así comenzar a encender la máquina de corte y tomar los datos mostrados, que se muestran por intervalos de tiempo en el aparato; el tiempo que se tomó en evaluar las deformaciones unitarias con las respectivas cargas fueron de 45 minutos en total, para cada espécimen, fragmentados en intervalos que se muestran en la Tabla 19, para ello se contó con un cronómetro, que ayudó en la anotación de las deformaciones unitarias con el tiempo que transcurre al iniciar el proceso de corte de los especímenes de cada muestra (figura 58).



**Figura 58:** Anotación de la deformación unitaria y el esfuerzo cortante del suelo 80% + relave 20%

**Elaborada por:** El autor

Para finalizar el ensayo, se extrajo el espécimen de la cámara de la máquina de corte, para hallar su peso húmedo y luego llevarlo al horno en cual estará dentro de este 24 horas, con una temperatura uniforme de 110 C<sup>o</sup> donde se extraerá el contenido de humedad, para poderlo pesar en su estado seco para determinar la densidad seca del espécimen.



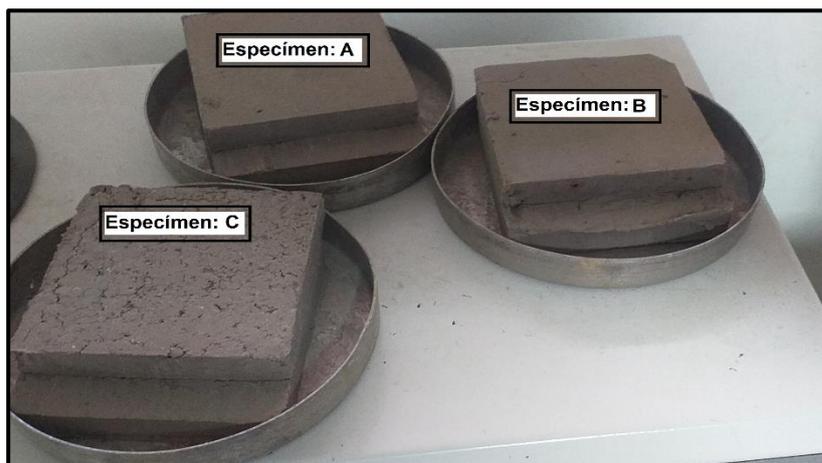
**Figura 59:** Extracción del espécimen de la máquina de corte

Elaborada por: El autor



**Figura 60:** Pesado del espécimen húmedo y secado del espécimen

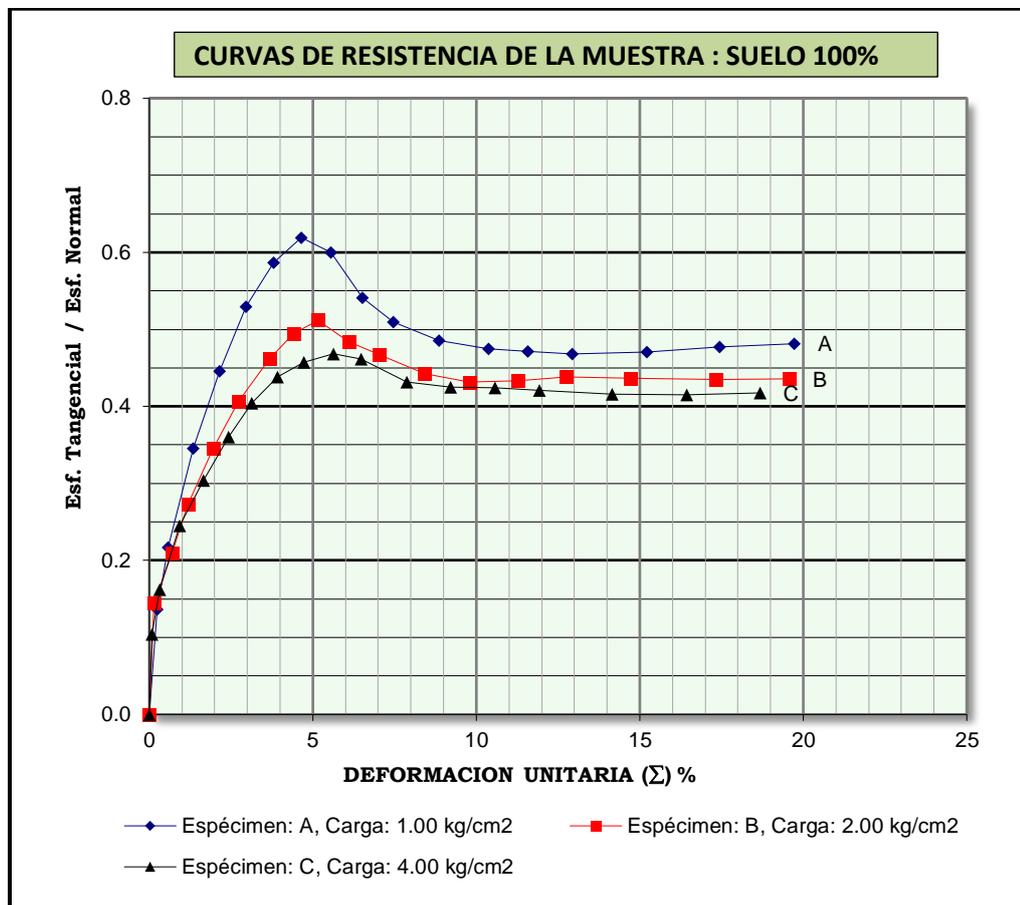
Elaborada por: El autor



**Figura 61:** Especímenes secos ensayados de la muestra:  
suelo 50% + relave 50%

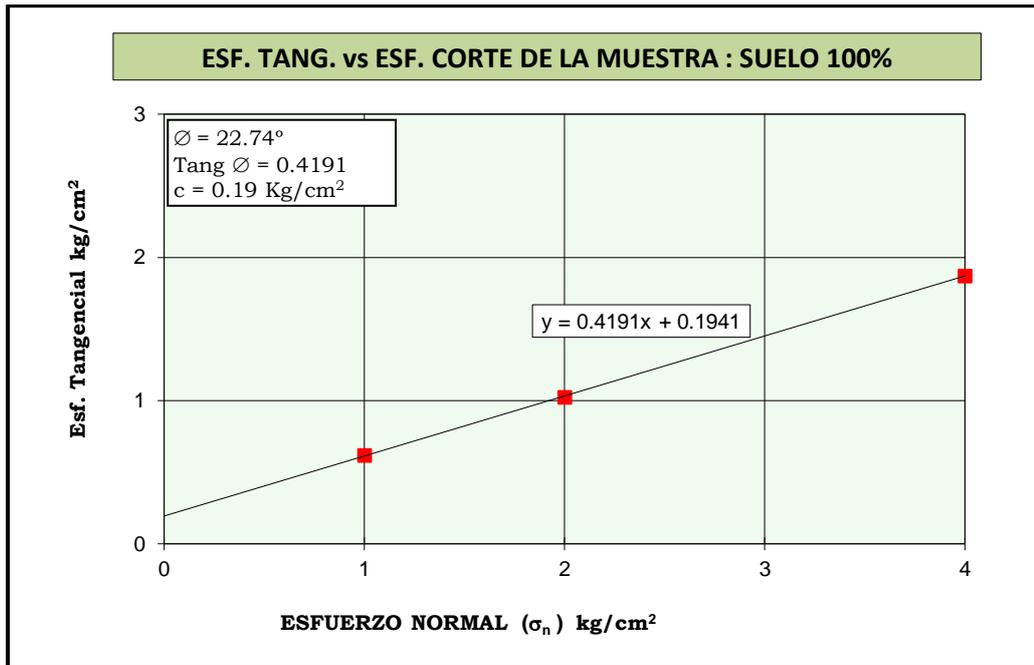
Elaborada por: El autor

Se necesitaron 3 especímenes de cada muestra para los análisis de corte (Figura 61), debido a que se necesitan 3 cargas que serán estudiadas al 95% aproximadamente de la densidad seca de cada muestra, en este caso se ensayó con cargas de: 1 Kg/cm<sup>2</sup>, 2 kg/cm<sup>2</sup> y 4 kg/cm<sup>2</sup>, que fueron constantes para evaluar los datos de la propiedades mecánicas de las muestras que se quieren conocer en este apartado. Dichos datos hallados, que contienen el esfuerzo tangencial / Esfuerzo normal y deformación unitaria de las muestras, se introdujeron en gráficas como curvas de resistencia que se presenta a continuación.



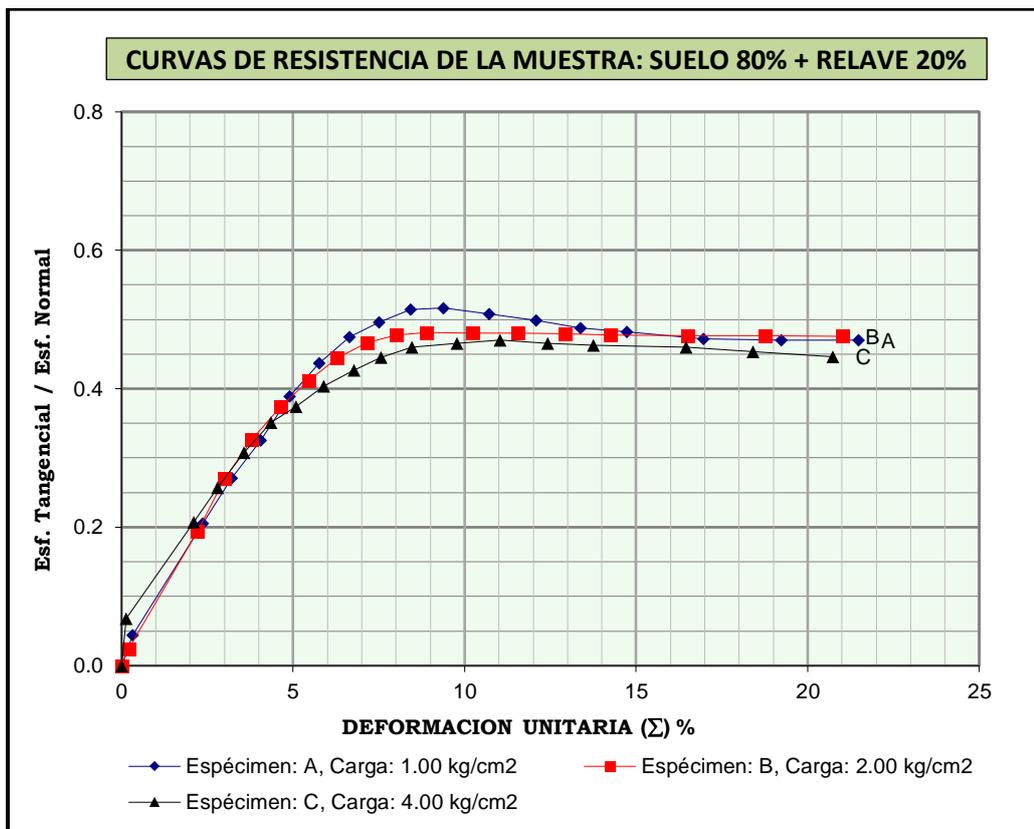
**Figura 62:** Curvas de resistencia de la muestra: suelo 100%

Elaborada por: El autor



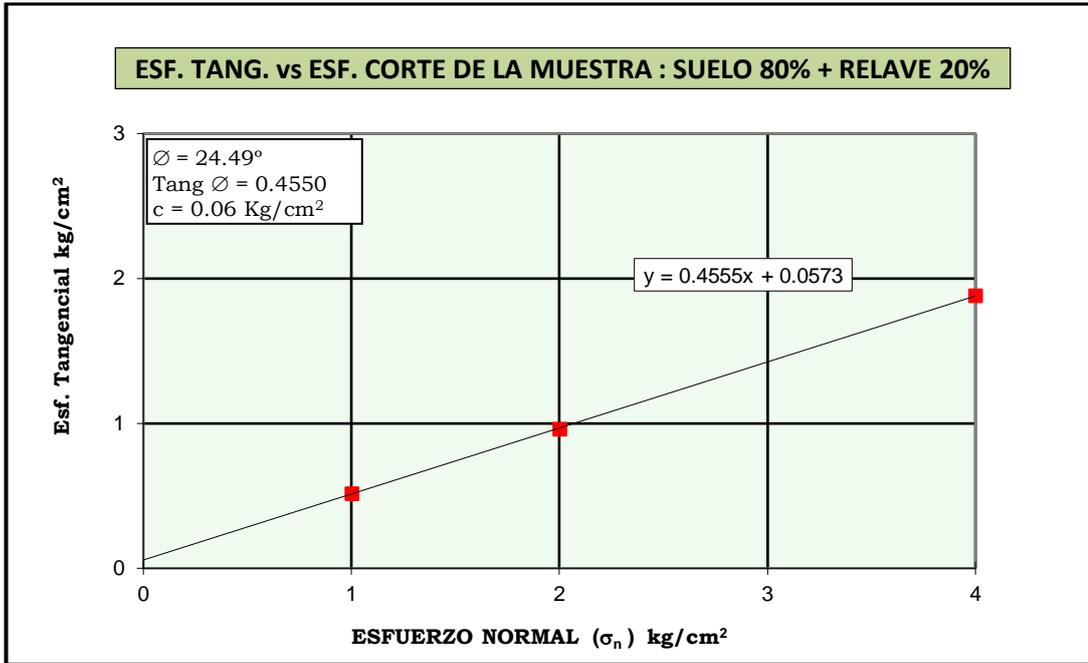
**Figura 63:** Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 100%

Elaborada por: El autor



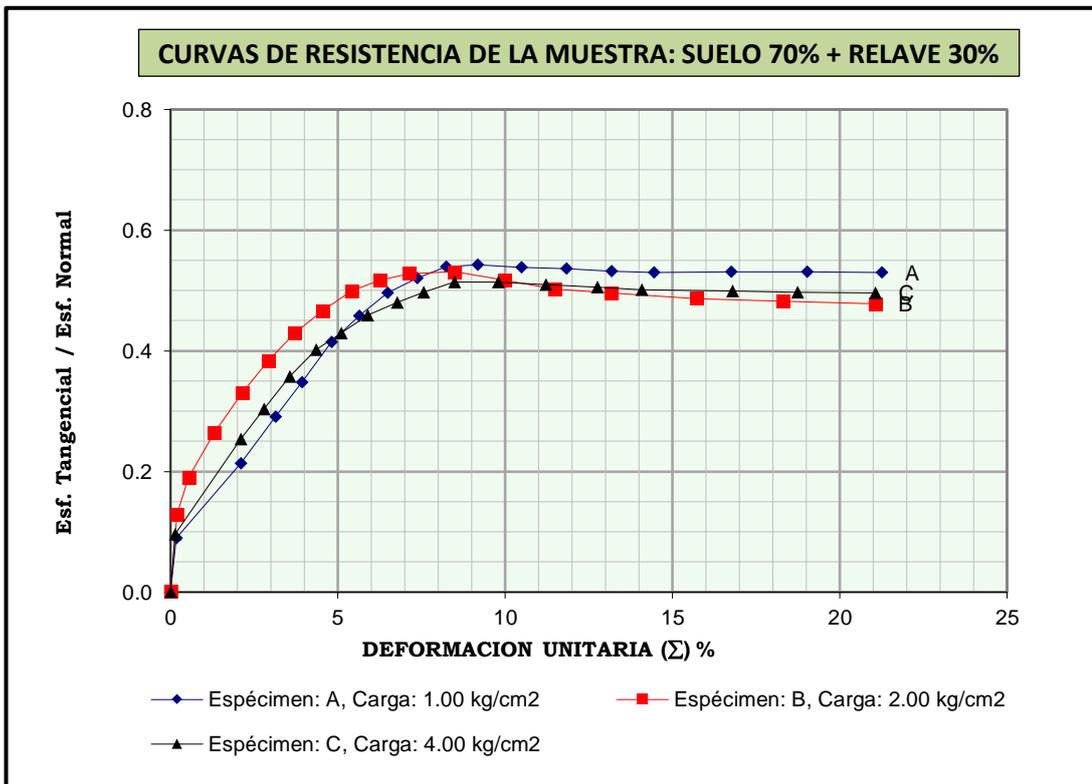
**Figura 64:** Curvas de resistencia de la muestra: suelo 80% + relave 20%

Elaborada por: El autor



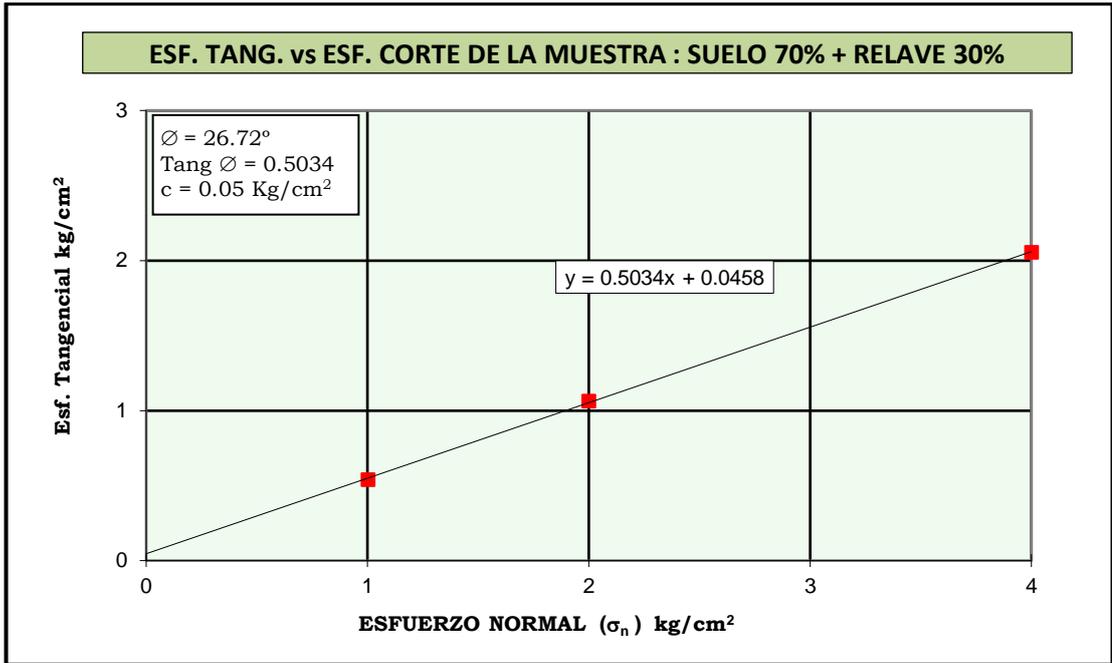
**Figura 65:** Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 80% + relave 20%

Elaborada por: El autor



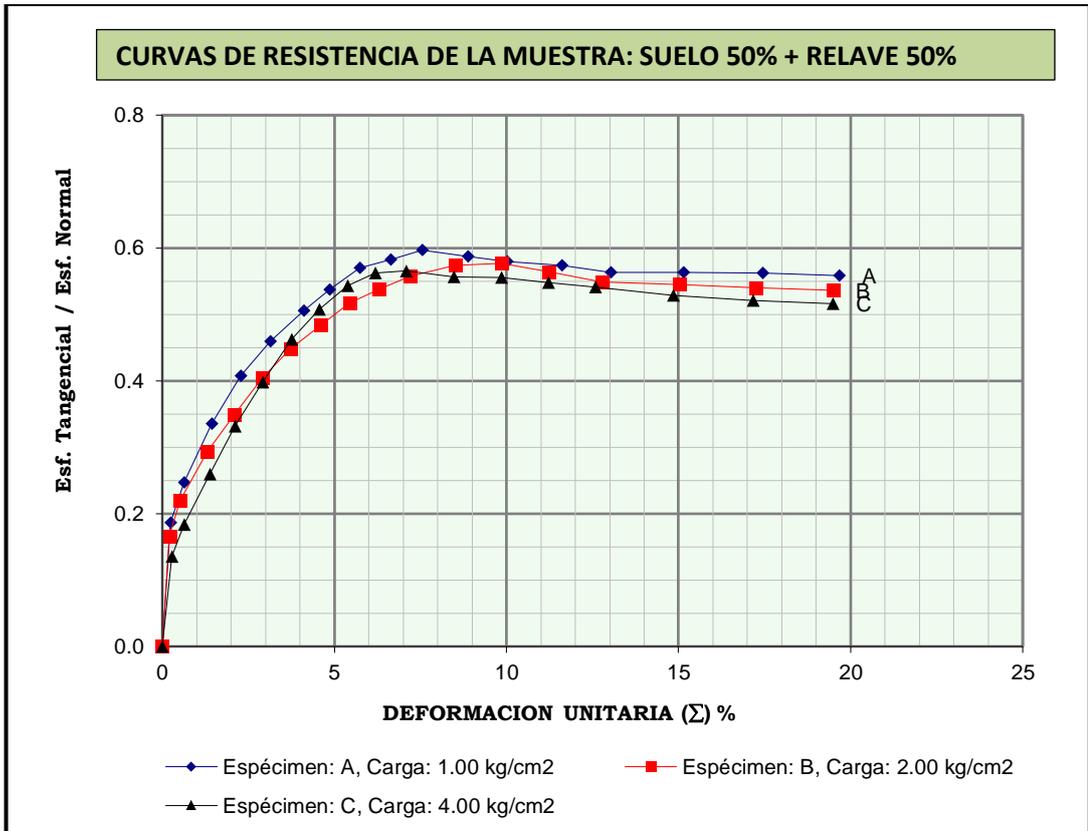
**Figura 66:** Curvas de resistencia de la muestra: suelo 70% + relave 30%

Elaborada por: El autor



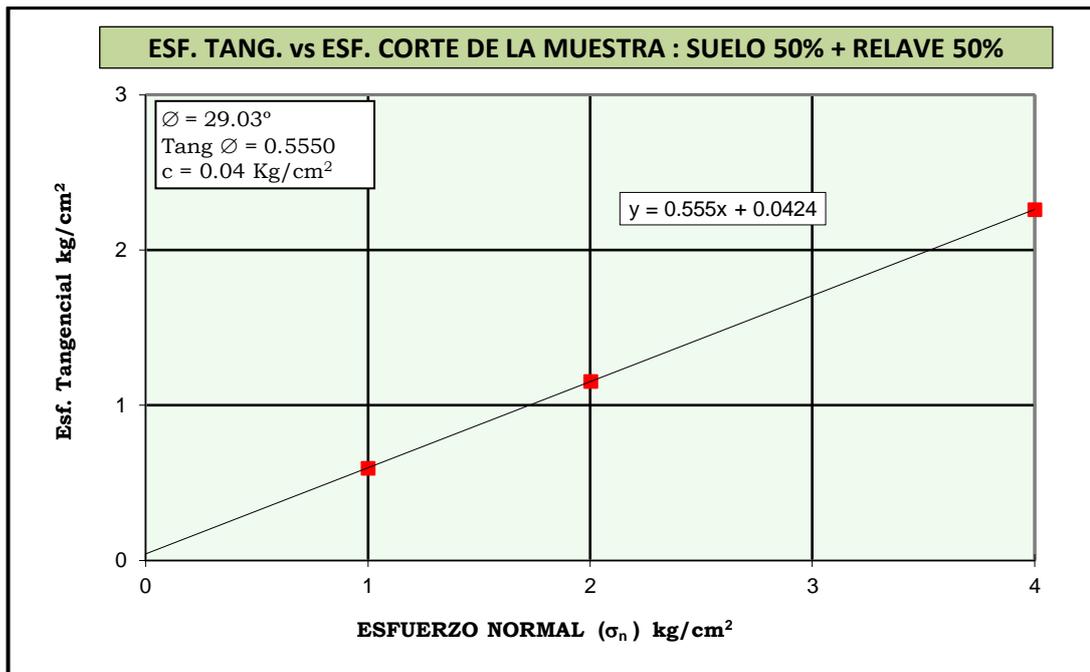
**Figura 67:** Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 70% + relave 30%

Elaborada por: El autor



**Figura 68:** Curvas de resistencia de la muestra: suelo 50% + relave 50%

Elaborada por: El autor



**Figura 69:** Esf. tang. vs esf. corte de la muestra: suelo 50% + relave 50%

**Elaborada por:** El autor

De las anteriores gráficas se pueden observar los datos requeridos como la cohesión y el ángulo de fricción, estos datos son extraídos y presentados en la Tabla 30 para su mejor comparación.

**Tabla 30:** Datos deseados del ensayo de corte directo

MUESTRA	ANGULO DE FRICCIÓN ( $\phi^\circ$ )	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo 100%	22.74°	0.190
Suelo 80% + relave 20%	24.49°	0.064
Suelo 70% + relave 30%	26.72°	0.053
Suelo 50% + relave 50%	29.03°	0.044

**Elaborada por:** El autor

Estos datos son necesarios para poder hallar la capacidad portante del suelo, que más adelante se abarca en el desarrollo del tema.

#### 4.9. Análisis del ensayo de la gravedad específica de los suelos (picnómetro de agua)

Para completar los objetivos que se eligieron desarrollar para este trabajo de investigación, es importante hallar los datos de gravedad específica, de las muestras en estudio, que se obtiene del ensayo de gravedad específica de los suelos mediante el picnómetro de agua, ya que esta información es importante para poder calcular la capacidad portante de los suelos que es uno de los objetivos específicos a determinar. Para realizar el ensayo mencionado, se tuvo que recurrir a la norma MTC E 113, y con la ayuda más las sugerencias de los técnicos e ingenieros encargados del laboratorio, se completó satisfactoriamente la totalidad del ensayo.

Para poder comenzar con el ensayo, se ha contado con proporciones de suelo y relave que sean pasantes del tamiz N° 40, una vez tamizado, se ha pesado las proporciones de suelo y relave (Figura 70) que se van a combinar según sus proporciones, estas se observan en la Tabla 31, se tomará la cantidad de 100 gramos cada muestra; cabe resaltar que las muestras combinadas deben antes de pasar por el horno eléctrico 24 horas, ya que para este ensayo se requerida de muestras secas y de algunas herramientas como agua destilada, un picnómetro de 250 ml, una bomba de aire, para la succión de las muestras en el picnómetro, y un termómetro.

**Tabla 31:** Dosificaciones de suelo y relave para cada una de las muestras

MUESTRAS SECAS	SUELO (LM)	RELAVE	PESO TOTAL MUESTRA
SUELO 100%	100 gr	0 gr	100 gr
SUELO 80% + RELAVE 20%	80 gr	20 gr	100 gr
SUELO 70% + RELAVE 30%	70 gr	30 gr	100 gr
SUELO 50% + RELAVE 50%	50 gr	50 gr	100 gr

**Elaborada por:** El autor



**Figura 70:** Pesado de muestra: suelo 70% + relave 30%

**Elaborada por:** El autor



**Figura 71:** Pesado de picnómetro + agua, pesado del picnómetro + agua + muestra

**Elaborada por:** El autor

El presente ensayo se desarrolló tomando las bases técnicas de la norma, como también las fórmulas que se requirió al término de contar con los pesos requeridos, para hallar los pesos específicos y que estos sean corregidos por el factor de temperatura (K), para finalmente obtener las gravedades específicas, los datos y resultados se muestran en la Tabla 32.

**Tabla 32:** Datos del ensayo de gravedad específica

<b>PROYECTO</b> : INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DEL SUELO PARA LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES				
<b>TESISTA</b> : HANS A. LLACZA CARDENAS			<b>FECHA</b> : 24 de agosto al 27 de setiembre	
<b>CALICATA</b> : C-1				
<b>PROFUNDIDAD</b> : 2.00 m			<b>MUESTRA</b> : SUELO (LM) + RELAVE	
<b>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C127-04 / MTC E113-2016)</b>				
MUESTRA	SUELO 100%	SUELO 80% + RELAVE 20%	SUELO 70% + RELAVE 30%	SUELO 50% + RELAVE 50%
PICNÓMETRO	N°5	N°6	N°8	N°3
CAPACIDAD DEL PICNÓMETRO	250 ml	250 ml	250 ml	250 ml
REMOCIÓN DE AIRE	SUCCIÓN POR BOMBA	SUCCIÓN POR BOMBA	SUCCIÓN POR BOMBA	SUCCIÓN POR BOMBA
PESO PICNÓMETRO + MUESTRA SECA (gr)	197.27	198.24	195.15	198.24
PESO PICNÓMETRO (gr)	97.27	98.24	95.15	98.24
PESO DE LA MUESTRA SECA (gr)	100.00	100.00	100.00	100.00
PESO PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA (gr)	409.39	409.99	401.91	410.70
PESO PICNÓMETRO + AGUA (gr)	347.60	347.23	338.92	347.23
PESO MUESTRA SUMERGIDA (gr)	61.79	62.76	62.99	63.47
PESO DE AGUA DESPLAZADA (gr)	38.21	37.24	37.01	36.53
PESO ESPECÍFICO	<b>2.617</b>	<b>2.685</b>	<b>2.702</b>	<b>2.737</b>
TEMPERATURA °C	20.50	20.90	21.20	20.70
COEFICIENTE DE TEMPERATURA (K)	0.99990	0.99981	0.99974	0.99985
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA (Gs)</b>	<b>2.62</b>	<b>2.68</b>	<b>2.70</b>	<b>2.74</b>

**Elaborada por:** El autor

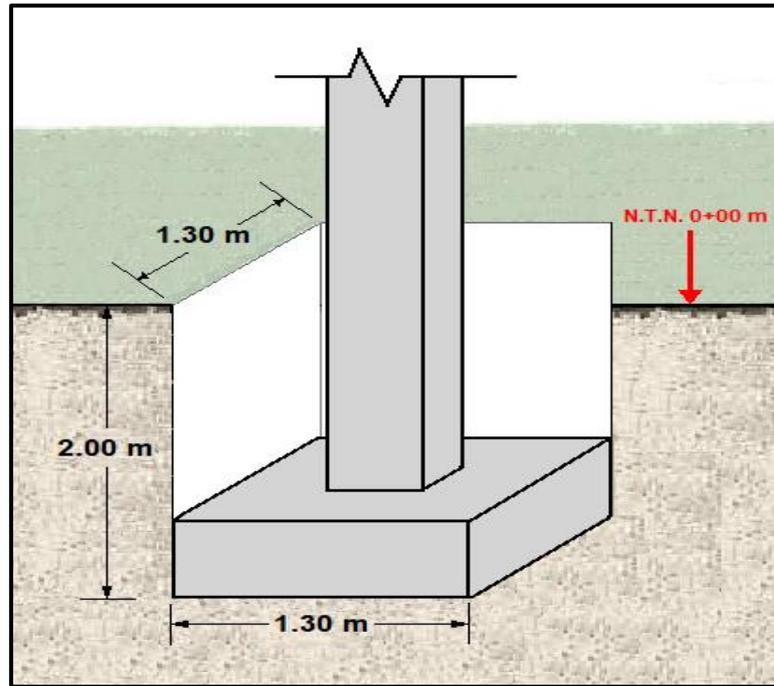
#### 4.10. Análisis de la capacidad de cargas aplicadas

Para completar en su totalidad el hallazgo de los objetivos propuestos en presente trabajo de investigación, se halló la capacidad portante última y con ello se tuvo la capacidad portante admisible de cada una de las muestras que se usaron en los ensayos anteriores, estas muestras tienen diferentes dosificaciones entre el suelo limo-inorgánico y el relave minero en estudio, para esta sección del presente capítulo se tomaron, como referencia, las bases teóricas del capítulo Cimentaciones superficiales: capacidad de carga última de Braja M. Das (2012) en *Fundamentos de*

*Ingeniería de Cimentaciones*, la cual explica y presenta los métodos teóricos y fórmulas a requerir para determinar dichas cargas.

El desarrollo de este tema es teórico y se requiere de algunos datos hallados de anteriores ensayos de laboratorio: cohesión, ángulo de fricción y peso específico, además de otros datos, como las dimensiones de un cimiento en cual se va a estudiar, todo lo anterior es importante, debido a que, la presente tesis estudia la influencia que da el relave al suelo limo-inorgánico para poder conocer si esta posee, en sus propiedades físicas y mecánicas, las cualidades de ser un aditivo estabilizador de este tipo de suelo, antes mencionado, para cimentar una zapata de dimensiones aproximadas, a como se construyen cuando se presentan construcciones de edificaciones convencionales en el distrito del cual fue extraído la muestra de suelo limo-inorgánico.

Antes de comenzar, primero se debe tener en cuenta de las dimensiones de la zapata, como también su fondo de cimentación, para elegir las dimensiones de una zapata, se recurrió al documento *Plan de Rehabilitación Ante Emergencias y Desastres 2018 -2021* publicado por la Municipalidad de San Martín de Porres en el 2018, en el cual se explica los parámetros de la cimentación, a tener en cuenta para una edificación convencional, uno de los parámetros es el fondo de cimentación que debe ser más de 0.80 m de profundidad, con ese dato y la profundidad del cual se extrajo la muestra limo-inorgánica, en el cual se observa en la Figura 37 y Figura 38, se consideró que el  $D_f$  (fondo de cimentación) es y debe ser 2.00 m, esta profundidad se tomó con respecto al nivel de terreno natural (N.T.N. +0.00), se consideró también las dimensiones de una zapata aislada de área de contacto con el suelo de forma cuadrada, por ser la más usada en edificaciones convencionales del distrito, las dimensiones que se consideraron son que el ancho (B) de la zapata es 1.30 m y el largo (L) es 1.30 m, estos valores se estimaron por la proximidad de las medidas que debe tener una zapata para vivienda de aproximadamente de 2 a 3 pisos.



**Figura 72:** Dimensiones del cimiento de edificación a estudiar

**Elaborada por:** El autor

Teniendo los detalles de la cimentación a estudiar, se comenzó a hallar la carga portante última, para ello se requirió de la fórmula que es denominada la ecuación general de la capacidad de carga propuesta por Meyerhof (1963) del cual es expresada de la siguiente manera:

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

$$q_u \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \text{Carga última}$$

$$c' \left( \frac{kg}{m^2} \right) = \text{Cohesión}$$

$$q \left( \frac{kg}{m^2} \right) = \text{Esfuerzo efectivo al nivel de fondo de cimentación}$$

$$\gamma \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \text{Peso específico de la muestra}$$

$$B \text{ (m)} = \text{Ancho de la cimentación}$$

$$N_c, N_q, N_\gamma = \text{Factores de capacidad de carga}$$

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s} = \text{Factor de forma}$

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d} = \text{Factor de profundidad}$

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i} = \text{Factor de inclinación}$

Para completar los datos requeridos por la fórmula, primero, se debe obtener los datos principales, la mayoría de estos se obtuvieron por los ensayos de laboratorio, como es el corte directo y la gravedad específica mediante picnómetro de agua, sin embargo se desconoce el dato: esfuerzo efectivo en el nivel de fondo de cimentación ( $q$ ), según Braja M. Das (2012) en *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, este dato se calcula mediante la multiplicación del peso específico del suelo con el fondo de cimentación.

Calculando de la muestra: suelo 100% quedaría de la siguiente manera:

$$q \left( \frac{kg}{m^2} \right) = \gamma * D_f$$

$$q \left( \frac{kg}{m^2} \right) = 2620 \frac{kg}{m^3} * 2.00 m = 5240.0 \frac{kg}{m^2}$$

Sabiendo cómo se halla el dato anterior, se calculó para las demás muestras con las dosificaciones de relave correspondientes. Los datos obtenidos, para proceder a calcular los factores, se presentan en la Tabla 33, todas las fórmulas que se fueron usadas para hallar los factores se obtienen de la referencia citada al comienzo de este apartado.

**Tabla 33:** Datos básicos obtenidos previamente en los ensayos de laboratorio

MUESTRA	B (m)	L (m)	Df (m)	c' (kg/m <sup>2</sup> )	φ (°)	q (kg/m <sup>2</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )
Suelo 100%	1.30	1.30	2.00	1900.0	22.74	5240.0	2620.0
Suelo 80% + relave 20%	1.30	1.30	2.00	640.0	24.49	5360.0	2680.0
Suelo 70% + relave 30%	1.30	1.30	2.00	530.0	26.72	5400.0	2700.0
Suelo 50% + relave 50%	1.30	1.30	2.00	440.0	29.03	5480.0	2740.0

Fuente: El autor

Observando los datos que se presentan en la Tabla 33, se procede a hallar primero los factores de capacidad de carga ( $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ).

### Factores de capacidad de carga (muestra: suelo 100%)

Primero se calculó  $N_q$ :

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right)e^{\pi \tan \emptyset}$$

$$N_q = \tan^2\left(45^\circ + \frac{22.74^\circ}{2}\right)e^{\pi \tan 22.74^\circ}$$

$$N_q = 8.43$$

Conociendo  $N_q$  se calcula el siguiente factor:  $N_c$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \emptyset$$

$$N_c = (8.43 - 1) \cot 22.74^\circ$$

$$N_c = 17.73$$

Por último se calculó  $N_\gamma$ :

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \emptyset$$

$$N_\gamma = 2(8.43 + 1) \tan 22.74^\circ$$

$$N_\gamma = 7.90$$

El procedimiento anterior, para hallar los factores de carga de la muestra: suelo 100%, es el mismo procedimiento que se fue realizado para las demás muestras, debido a ello se han recopilado los datos finales de las muestras restantes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 34.

**Tabla 34:** Factores de capacidad de carga de las muestras

MUESTRA	Factores de capacidad de carga		
	Nq	Nc	N <sub>γ</sub>
Suelo 100%	8.43	17.73	7.90
Suelo 80% + relave 20%	10.11	20.00	10.12
Suelo 70% + relave 30%	12.81	23.46	13.90
Suelo 50% + relave 50%	16.50	27.93	19.42

Fuente: El autor

Conociendo los factores de capacidad de carga, se procedió a determinar los demás factores: Factores de forma ( $F_{cs}$ ,  $F_{qs}$ ,  $F_{\gamma s}$ ), Factores de profundidad ( $F_{cd}$ ,  $F_{qd}$ ,  $F_{\gamma d}$ ) y Factores de inclinación de la carga ( $F_{ci}$ ,  $F_{qi}$ ,  $F_{\gamma i}$ ).

### Factores de forma (muestra: suelo 100%)

Primero se calculó  $F_{cs}$ :

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{1.30 \text{ m}}{1.30 \text{ m}}\right) \left(\frac{8.43}{17.73}\right)$$

$$F_{cs} = 1.48$$

Luego se determinó  $F_{qs}$ :

$$F_{qs} = 1 + (C) \tan \phi$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{1.30 \text{ m}}{1.30 \text{ m}}\right) \tan 22.74^\circ$$

$$F_{qs} = 1.42$$

Finalmente se calculó  $F_{\gamma s}$ :

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{1.30 \text{ m}}{1.30 \text{ m}}\right)$$

$$F_{\gamma s} = 0.6$$

## Factores de profundidad (muestra: suelo 100%)

Antes de poder calcular estos datos, se debe tener en cuenta que, las fórmulas a usar están dependientes de los siguientes parámetros:

$$\frac{D_f}{B} > 1 \qquad \phi > 0^\circ$$

Teniendo en cuenta la Figura 26 de la sección “Ecuación general de la capacidad de carga” del sub capítulo “Bases teóricas”, se toma  $F_{qd}$  como:

$$F_{qd} = 1 - 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right); \quad \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right) \rightarrow \text{en radianes}$$

$$F_{qd} = 1 - 2 \tan 22.74^\circ (1 - \sin 22.74^\circ)^2 \left( \tan^{-1} \left( \frac{2.00 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right) * \frac{\pi}{180^\circ} \right)$$

$$F_{qd} = 1.31$$

Conociendo  $F_{qd}$  y  $N_c$  se calcula el siguiente factor:  $F_{cd}$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi}$$

$$F_{cd} = 1.31 - \frac{1 - 1.31}{17.73 \tan 22.74^\circ}$$

$$F_{cd} = 1.35$$

Por teoría:

$$F_{\gamma d} = 1$$

### Factores de inclinación de carga (muestra: suelo 100%)

Para el tipo de cimentación que se eligió, se consideró que la carga sobre la cimentación, es paralelo respecto a la vertical ( $\beta = 0^\circ$ ), por lo tanto.

$$F_{ci} = F_{qi} = 1 \quad F_{\gamma i} = 1$$

Los procedimientos anteriores, para hallar los Factores de forma, Factores de profundidad y Factores de inclinación de la carga de la muestra: suelo 100%, son los mismos procedimientos, que fueron realizados para las demás muestras, en especial procedimiento para evaluar los factores de profundidad, ya que siempre cumplirán los parámetros dados para ese factor en cada una de las muestras restantes, debido a ello fueron recopilados los datos finales de las muestras restantes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 35.

**Tabla 35:** Factores de capacidad de forma, de carga y de inclinación de cada muestra

MUESTRA	Factores de forma			Factores de profundidad			Factores de inclinación		
	Fcs	Fqs	Fys	Fcd	Fqd	Fyd	Fci	Fqi	Fyi
Suelo 100%	1.48	1.42	0.60	1.35	1.31	1.00	1.00	1.00	1.00
Suelo 80% + relave 20%	1.51	1.46	0.60	1.34	1.31	1.00	1.00	1.00	1.00
Suelo 70% + relave 30%	1.55	1.50	0.60	1.33	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Suelo 50% + relave 50%	1.59	1.55	0.60	1.31	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00

**Elaborada por:** El autor

Teniendo los datos requeridos para la ecuación general de capacidad de carga, se procederá a reemplazar los datos en dicha ecuación y hallar la carga última ( $q_u$ ) de la muestra: suelo 100%.

$$q_u = \left(1900 \frac{kg}{m^2}\right) (17.73)(1.48)(1.35)(1) + \left(5240 \frac{kg}{m^2}\right) (8.43)(1.42)(1.31)(1) + \frac{1}{2} \left(2620 \frac{kg}{m^3}\right) (1.30 m)(7.90)(0.6)(1)(1)$$

$$q_u = 15.75 \frac{kg}{cm^2}$$

Para las muestras restantes, las cargas portantes últimas se calcularon y se introdujeron en la Tabla 36, para su mejor comparación.

**Tabla 36:** Cargas portantes últimas de las muestras

MUESTRA	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo 100%	15.75
Suelo 80% + relave 20%	14.01
Suelo 70% + relave 30%	17.52
Suelo 50% + relave 50%	22.72

**Elaborada por:** El autor

Según la norma E.050 “Suelos y Cimentaciones” del *Reglamento Nacional de Edificaciones (2018)*, para que una cimentación deba diseñarse, debe tenerse en cuenta: la carga última dividida entre un factor de seguridad frente a una falla por corte (FS), esto nos resultará la carga portante admisible ( $q_{adm}$ ), la norma estipula que dicho factor de seguridad (FS) debe ser 3 para cargas estáticas, del cual fue considerado en el presente proyecto de investigación. Al dividir por el factor de seguridad, se obtienen los valores de las cargas portantes admisibles ( $q_{adm}$ ) de las muestras y se observan en la Tabla 37.

**Tabla 37:** Resultados finales de la capacidad de cargas aplicadas

MUESTRA	$q_{adm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo 100%	5.25
Suelo 80% + relave 20%	4.67
Suelo 70% + relave 30%	5.84
Suelo 50% + relave 50%	7.57

**Elaborada por:** El autor

## **CAPÍTULO V**

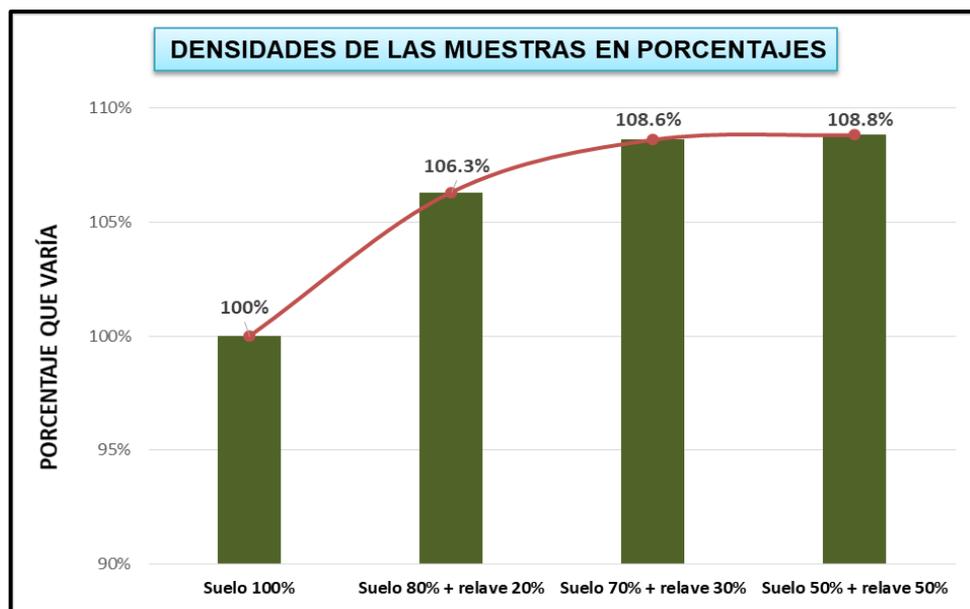
### **RESULTADOS**

Para el siguiente capítulo, se presentan las variaciones porcentuales que generaron los resultados finales, que se obtuvieron en los ensayos de laboratorio y los cálculos matemáticos al combinar proporcionalmente el suelo limo-inorgánico con residuo minero (relave).

#### **5.1. Resultados con respecto a influencia en la densidad seca**

Uno de los objetivos específicos es evaluar qué influencia da el relave al suelo limo-inorgánico, en sus propiedades físicas de este suelo, que es la densidad seca, mientras el relave aumenta proporcionalmente a este tipo de suelo.

Esta influencia resultó en el **aumento de la densidad** en otros términos: influye positivamente, mientras más proporción de relave de adhiere al suelo limo-inorgánico, más densidad le atribuye al suelo. Observando los datos de la Tabla 29, se puede generar la variación porcentual que influye el relave a este tipo de suelo, esta variación se presenta en la Figura 73.



**Figura 73:** Variación de las densidades máximas secas

Elaborada por: El autor

Observando la anterior gráfica, se obtiene la influencia en su densidad máxima seca de cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico (Tabla 38).

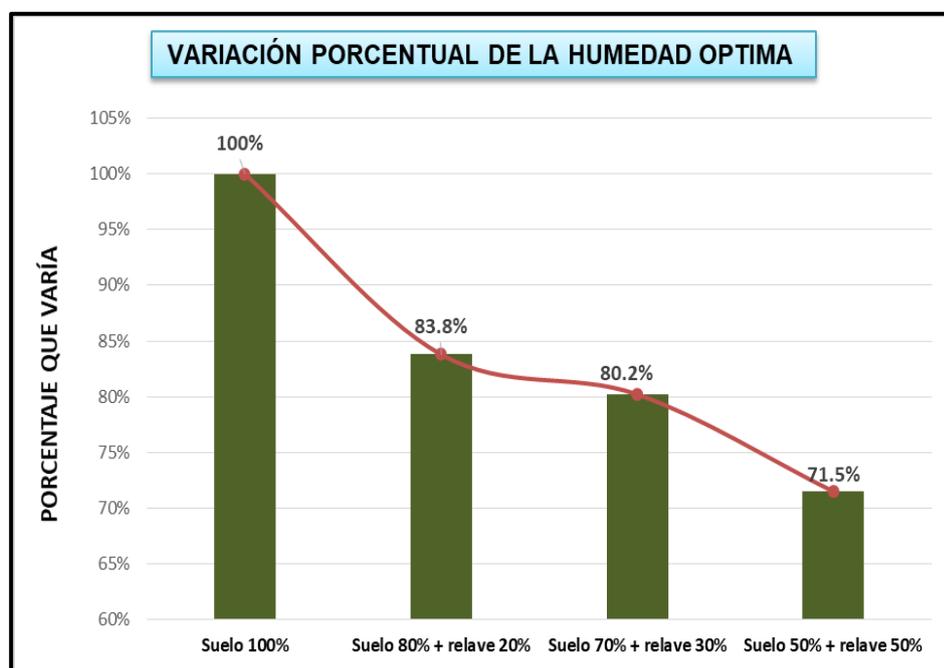
**Tabla 38:** Influencia del relave a la densidad máxima seca del suelo ML

MUESTRA	DENSIDAD MÁXIMA SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU DENSIDAD (%)
Suelo 100%	1.407	-
Suelo 80% + relave 20%	1.495	<b>AUMENTA (+6.3%)</b>
Suelo 70% + relave 30%	1.528	<b>AUMENTA (+8.6%)</b>
Suelo 50% + relave 50%	1.531	<b>AUMENTA (+8.8%)</b>

Elaborada por: El autor

La densidad máxima seca del suelo limo-inorgánico, aumenta en pequeños porcentajes mientras se suministra relave en él, no obstante en la cantidad de humedad óptima, sufre una mayor variación porcentual comparado con su densidad, esto se observa en los

resultados de la Tabla 29 y Tabla 39, esta variación porcentual se puede observar en la Figura 74 llegando a variar hasta en un 28.5% del suelo inicial.



**Figura 74:** Variación de humedades óptimas

Elaborada por: El autor

Observando la anterior gráfica, se obtiene la influencia en cantidad de humedad óptima de cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico (Tabla 39).

**Tabla 39:** Influencia del relave a la cantidad de humedad óptima del suelo ML

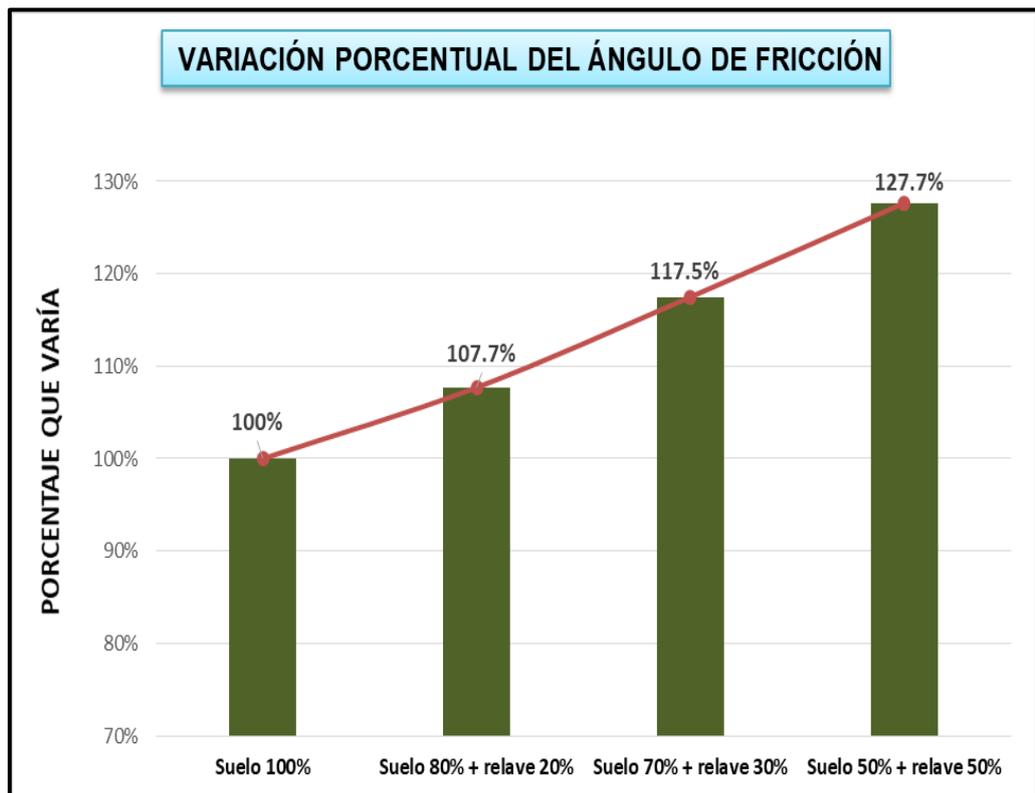
MUESTRA	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU HUMEDAD (%)
Suelo 100%	27.95	-
Suelo 80% + relave 20%	23.42	<b>DISMINUYE (-16.2%)</b>
Suelo 70% + relave 30%	22.42	<b>DISMINUYE (-19.8%)</b>
Suelo 50% + relave 50%	19.98	<b>DISMINUYE (-28.5%)</b>

Elaborada por: El autor

## 5.2. Resultados con respecto a la influencia en la resistencia al esfuerzo cortante

Otro de los objetivos específicos es evaluar qué influencia da el relave al suelo limo-inorgánico en sus propiedades mecánicas, que es la resistencia al esfuerzo cortante, mientras el relave aumenta proporcionalmente a este tipo de suelo.

Esta influencia resultó en el **aumento de la resistencia al esfuerzo cortante** en otros términos: influye positivamente, mientras más proporción de relave de adhiere al suelo limo-inorgánico, este tiende a aumentar el ángulo de fricción. Observando los ángulos de fricción, de la Tabla 30, se puede generar la variación porcentual que influye el relave a este tipo de suelo, esta variación se presenta en la Figura 75.



**Figura 75:** Variación de los ángulos de fricción

Elaborada por: El autor

Observando la anterior gráfica, se obtiene la influencia en los ángulos de fricción de cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico (Tabla 40).

**Tabla 40:** Influencia del relave al ángulo de fricción del suelo ML

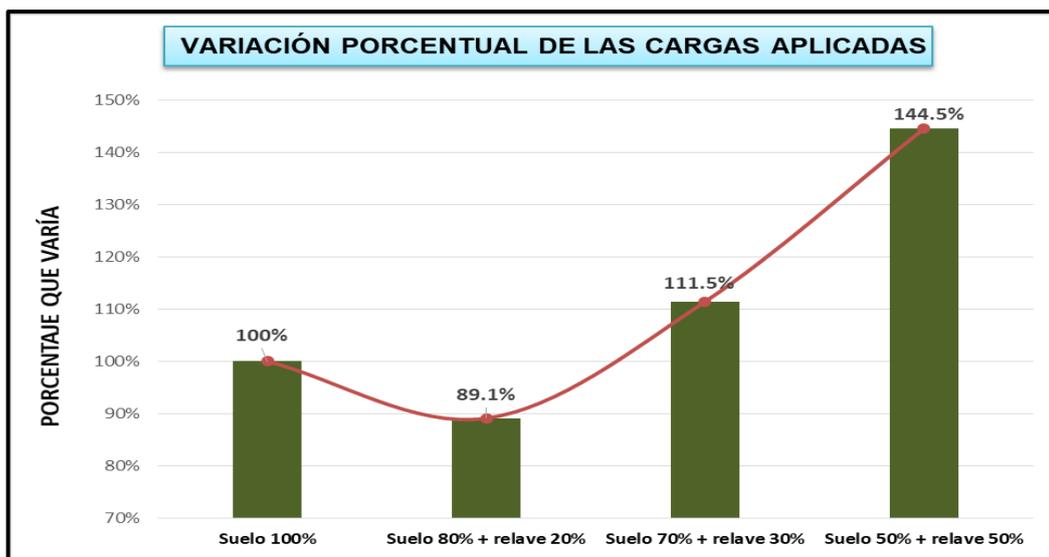
MUESTRA	ANGULO DE FRICCIÓN ( $\phi^\circ$ )	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU ÁNGULO DE FRICCIÓN (%)
Suelo 100%	22.74°	-
Suelo 80% + relave 20%	24.49°	<b>AUMENTA (+7.7%)</b>
Suelo 70% + relave 30%	26.72°	<b>AUMENTA (+17.5%)</b>
Suelo 50% + relave 50%	29.03°	<b>AUMENTA (+27.7%)</b>

**Elaborada por:** El autor

### 5.3. Resultados con respecto a la influencia en la capacidad de cargas aplicadas

El último de los objetivos específicos es evaluar qué influencia da el relave al suelo limo-inorgánico en sus propiedades mecánicas de este suelo, que es la capacidad de carga admisible, mientras el relave aumenta proporcionalmente respecto este tipo de suelo.

Esta influencia resultó en el **aumento de la capacidad de carga admisible** en otros términos: influye positivamente, mientras más del 30% de relave es adherido al suelo limo-inorgánico, este tiende a aumentar la carga admisible de este suelo. Observando las cargas admisibles de la Tabla 37, se puede generar la variación porcentual que influye el relave a este tipo de suelo, esta variación se presenta en la Figura 76.



**Figura 76:** Variación de las cargas portantes admisibles

**Elaborada por:** El autor

Al proporcionar relave al suelo, genera una influencia positiva a la carga portante admisible, si bien se observa que esta se reduce cuando el relave es suministrada en proporciones aproximadas de al 20%, al añadir el relave más del 30%, genera una variación porcentual muy positiva y elevada para este tipo de suelo.

Observando la anterior gráfica (Figura 76), se obtiene la influencia de la capacidad de carga admisible de cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico. Estas influencias se fueron calculadas respecto al resultado de la muestra: suelo 100% (Tabla 41).

**Tabla 41:** Influencia del relave en la capacidad de carga admisible del suelo ML

MUESTRA	$q_{adm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (%)
Suelo 100%	5.25	-
Suelo 80% + relave 20%	4.67	DISMINUYE (-10.9%)
Suelo 70% + relave 30%	5.84	AUMENTA (+11.5%)
Suelo 50% + relave 50%	7.57	AUMENTA (+44.5%)

**Elaborada por:** El autor

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **6.1. Validación de hipótesis**

En este capítulo, se toma en consideración la validación de las hipótesis planteadas por el autor, por ello primero se verifica las hipótesis específicas, analizando cada uno de estos resultados se verifica finalmente la hipótesis general.

##### **6.1.1. Validación de las hipótesis específicas**

###### **a) Validación con la hipótesis n° 1**

Viendo los resultados de la densidad seca (Tabla 38) y calculando la variación porcentual del cual influye el relave al suelo limo-inorgánico (LM), en las proporciones estudiadas, se observa que se encuentra un leve aumento de esta propiedad física, del cual se halló el máximo aumento en la muestra: suelo 50% + relave 50%, que es de 8.8% de su densidad inicial que presenta la muestra: suelo 100%.

Otro resultado, que es importante en esta sección y que genera el relave una influencia positiva en las propiedades físicas del suelo LM, es el contenido de humedad, su disminución para alcanzar la densidad seca

máxima es importante, esto es observado por la gran variación porcentual que sufre el ser disminuido por las proporciones de relave, la máxima disminución porcentual que sufrió este tipo de suelo en su humedad optima fue del 28.5%, que es presentada por la muestra: suelo 50% + relave 50%, a más proporción de relave menos agua se requiere para alcanzar la densidad seca deseada.

En este caso, se concluye que la hipótesis específica n°1, que plantea el incremento de la densidad seca máxima por cada proporción de relave en el suelo limo-inorgánico, es cumplida.

**Tabla 42:** Validación de la hipótesis específica n° 1

INFLUENCIA DEL RELAVE EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL SUELO LM			
MUESTRA	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU HUMEDAD OPTIMA (%)	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU DENSIDAD SECA (%)	¿Cumple con la hipótesis específica?
Suelo 100%	-	-	<b>cumple con la hipótesis específica</b>
Suelo 80% + relave 20%	DISMINUYE -16.2%	AUMENTA +6.3%	
Suelo 70% + relave 30%	DISMINUYE -19.8%	AUMENTA +8.6%	
Suelo 50% + relave 50%	DISMINUYE -28.5%	AUMENTA +8.8%	

Elaborada por: El autor

## b) Validación con la hipótesis n° 2

Observando los resultados del ángulo de fricción (Tabla 40) y calculando la variación porcentual, del cual influye el relave al suelo limo-inorgánico (LM), en las proporciones estudiadas, se observa que se encuentra un aumento de esta propiedad mecánica, del cual se halló el máximo aumento en la muestra: suelo 50% + relave 50% que es de 27.7% de su ángulo de fricción inicial que presenta la muestra: suelo 100%.

En este caso, se valida que la hipótesis específica n° 2, que plantea el incremento del ángulo de fricción interno por cada proporción de relave en el suelo limo-inorgánico, es cumplida.

**Tabla 43:** Validación de la hipótesis específica n° 2

INFLUENCIA DEL RELAVE EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO LM		
MUESTRA	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU ÁNGULO DE FRICCIÓN (%)	¿Cumple con la hipótesis específica?
Suelo 100%	-	<b>cumple con la hipótesis específica</b>
Suelo 80% + relave 20%	AUMENTA +7.7%	
Suelo 70% + relave 30%	AUMENTA +17.5%	
Suelo 50% + relave 50%	AUMENTA +27.7%	

Elaborada por: El autor

### c) Validación con la hipótesis n° 3

Analizando los resultados de la capacidad de carga admisible (Tabla 41) y calculando la variación porcentual del cual influye el relave al suelo limo-inorgánico (LM) en las proporciones estudiadas, se observa que se encuentra un aumento de esta propiedad mecánica.

Sin embargo, con estos resultados, no se puede afirmar el total crecimiento de su capacidad de carga, al momento de proporcionarle el relave, debido a que en los cálculos de la muestra: suelo 80% + relave 20%, la capacidad de carga admisible del suelo LM disminuye, desestabilizando el suelo en un 10.9% de su capacidad inicial de la muestra: suelo 100%, no obstante, con las demás muestras estudiadas, esta propiedad mecánica es altamente incrementada, generando una estabilización de hasta 44.5% de su capacidad inicial de la muestra mencionada.

Esta disminución de la carga admisible de la muestra: suelo 80% + relave 20%, es debido a la disminución de la fuerza de cohesión de sus partículas, ya que el suelo limo-inorgánico, al ser un suelo fino perteneciente al grupo de los limos y arcillas, se caracteriza por poseer una fuerza de cohesión elevada, del cual los suelos de la clase gravosa no poseen, esta fuerza de cohesión del suelo ML es de 1900 kg/m<sup>2</sup> estudiada por la denominación de muestra: suelo 100%, al momento de añadir 20% de relave, esta cohesión sufre una disminución significativa y llega disminuir más de la mitad de la

cantidad cohesiva inicial, esta cantidad es: 640 kg/m<sup>2</sup>, sin embargo esta cantidad cohesiva de sus partículas, tiende a seguir bajando mientras más cantidad de relave se proporciona, pero esta no llega a seguir influyendo negativamente y tiende ser despreciado, aumentando altamente la capacidad portante, esto es gracias a otras propiedades que el relave provee al suelo.

Al principio del estudio de la muestra: suelo 80% + relave 20%, la disminución de la cohesión era un factor que generaba más desestabilización al suelo, ya que los datos del ángulo de fricción y el peso específico, requeridos en la ecuación general de capacidad de carga, no variaron mucho, en sus valores iniciales del suelo LM. Desde esa proporción, las muestras restantes aumentaron las características mecánicas y físicas antes dichas, y sin importar que la cohesión baje, la variación de estas características son amplias y más importantes que la cohesión, generando así una estabilización del suelo muy amplio con respecto a su estado inicial.

En este caso se concluye que la hipótesis específica n° 3, que plantea el incremento de la capacidad de carga admisible por cada proporción de relave en el suelo limo-inorgánico, es cumplida con la restricción de que la proporción sea del 30% de relave a más suministrada al suelo LM.

**Tabla 44:** Validación de la hipótesis específica n° 3

INFLUENCIA DEL RELAVE EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO LM		
MUESTRA	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (LM) EN SU CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (%)	¿Cumple con la hipótesis específica?
Suelo 100%	-	<b>cumple con la hipótesis específica (con restricción)</b>
Suelo 80% + relave 20%	DISMINUYE -10.9%	
Suelo 70% + relave 30%	AUMENTA +11.5%	
Suelo 50% + relave 50%	AUMENTA +44.5%	

**Elaborada por:** El autor

### **6.1.2. Validación de la hipótesis general**

La hipótesis general plantea el incremento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo limo-inorgánico, mediante su aplicación proporcional del relave, si bien, en los resultados anteriores, el relave genera un incremento en las propiedades físicas, en las mecánicas no se puede afirmar que cumple completamente, debido a que se presenta una disminución de una propiedad mecánica: capacidad de carga admisible, al añadir el relave al 20% respecto al suelo LM, sin embargo luego de añadir el 30% del relave, todas propiedades físicas y mecánicas cumplen con lo planteado por la hipótesis general, por ese motivo, se concluye, la validación de la hipótesis, sí y solo sí el relave es añadido en proporciones mayores o iguales al 30%.

### **6.2. Comparación con los resultados de los antecedentes**

En este apartado, se toma en consideraciones algunos antecedentes referenciados en el capítulo II, de la sección “Antecedentes de la investigación”, para poder obtener un contraste y proceder a consolidar algunas conclusiones que se puede obtener de la comparación de los resultados obtenidos.

Se destaca las investigaciones que fueron realizadas para estudiar la influencia y/o estabilización de un suelo, agregando un aditivo externo proporcionalmente, como también se enfatiza que sea de procedencia nacional, para obtener una mejor comparación crítica con los aditivos extraídos para su respectivo estudio dentro del país.

Las investigaciones que cumplen con lo mencionado en el anterior párrafo son dos y son las siguientes:

**Antecedente nacional n° 1:** Estabilización de suelos arcillosos en Huánuco con relave (Huánuco – Perú).

**Antecedente nacional n° 2:** Estabilización de suelos areno-limosos con escamas de tereftalato de polietileno (Lima-Perú).

Con ello se procede a comparar los resultados de las investigaciones presentadas con los resultados de la presente investigación.

**a) Comparación de resultados con el antecedente nacional n° 1**

Según Fernandez, J. et al. (2006) en *Estabilización de Suelos con Relaves Mineros a Nivel de Sub Rasante en la Carretera Huánuco - Panao en la Zona de la Punta – 2005*, se usaron como aditivo en estudio el residuo minero, este estudio está enfocado para la estabilización de carreteras, más no para la estabilización de cimientos, sin embargo se puede comparar los resultados, que se hizo con el proctor modificado, obteniendo como resultados la densidad seca máxima y la cantidad de humedad optima, esta investigación se hizo con un suelo tipo CL perteneciente a las arcillas, además de usaron proporciones de relave de 5%, 10% y 20% como se indica en la Tabla 45.

**Tabla 45:** Resultado de proctor modificado relave + suelo CL

PORCENTAJE ADITIVO (%)	CLASIFICACION SUCS	DMS (gr/cm <sup>3</sup> )	W (%)
0	CL	1.849	16.58
5	ML	1.885	11.83
10	ML	1.887	11.47
20	ML	1.898	10.71

**Fuente:** Fernandez, et al., 2005

Como el tipo de suelo y las proporciones de relave son distintas a lo que se estudió en el presente trabajo de investigación, se tomó en cuenta solo las variaciones en porcentaje que provee el relave a este suelo CL, para su aproximada comparación, esto ayudará a corroborar la influencia que el relave da a un suelo, por las propiedades que posee en su composición.

**Tabla 46:** Influencia del relave al suelo CL

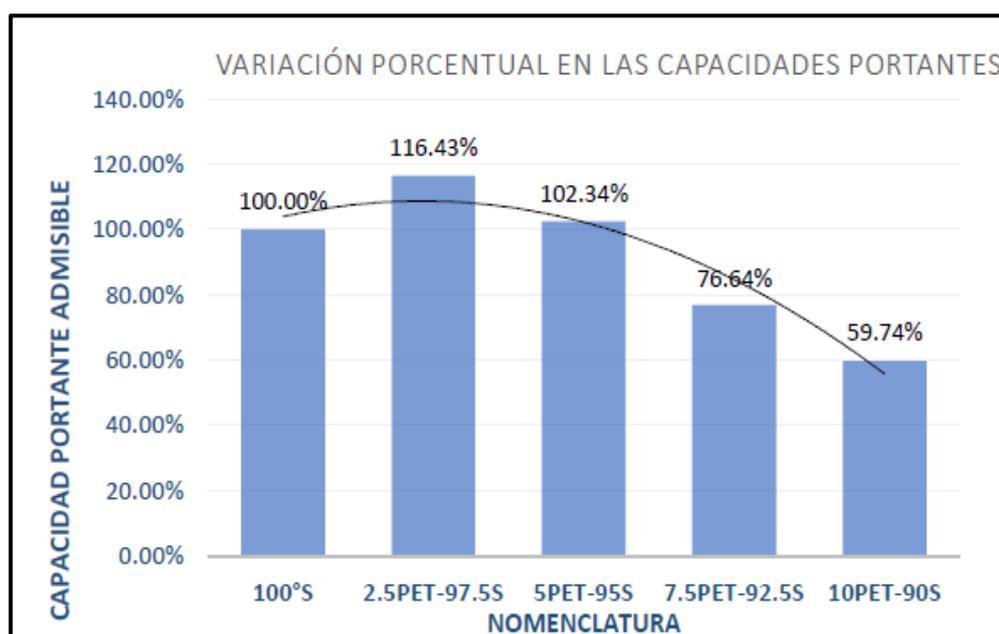
INFLUENCIA DEL RELAVE EN EL SUELO CL		
MUESTRA	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (CL) EN SU HUMEDAD OPTIMA (%)	INFLUENCIA DEL RELAVE AL SUELO (CL) EN SU DENSIDAD SECA (%)
Suelo 100%	-	-
Suelo 95% + relave 5%	DISMINUYE -28.7%	AUMENTA +1.9%
Suelo 90% + relave 10%	DISMINUYE -30.8%	AUMENTA +2.1%
Suelo 80% + relave 20%	DISMINUYE -35.4%	AUMENTA +2.7%

**Fuente:** Elaboración propia en base a Fernandez, et al., 2005

De la Tabla 46, se puede observar que la única proporción de relave + suelo que se coincidió, es de la proporción de 20% de relave, en esta muestra, la cantidad de humedad óptima disminuye 35.4%, generando una densidad seca máxima aumentada en 2.7%, respecto a su estado inicial del suelo CL, sacando esta proporción en la investigación de la presente tesis con el suelo ML, esta generó una disminución de la cantidad de humedad óptima de 28.8% y a su vez una densidad máxima seca aumentada de 8.8 %, respecto a su estado inicial del suelo ML. Eso quiere decir que el relave influye en el incremento de las características físicas en los suelos finos CL y ML, observando una mayor disminución de humedad en el suelo LC y un mayor aumento en la densidad seca en el suelo ML.

#### **b) Comparación de resultados con el antecedente nacional n° 2**

Según Sinche, J. & Zevallos, J. en *Influencia de las Escamas de Tereftalato de Polietileno (Flake Pet) en el Comportamiento Mecánico de los Suelos Areno-limosos del Distrito de La Molina (2019)*, se usaron como aditivo en estudio el Flake Pet, este estudio abarca la influencia para la cimentación de una zapata, con ello se puede comparar los resultados que se obtuvo en los cálculos, para hallar la capacidad de carga admisible, esta investigación se hizo con un suelo areno-limoso SM, perteneciente a las arenas, además de usaron proporciones de Flake Pet de 2.5%, 5%, 7.5% y 10% denominado 2.5PET-97.5S, 5PET-95S, 7.5 PET-92.5S y 10PET-90S respectivamente como se indica en la Figura 77.



**Figura 77:** Influencia del Flake Pet en la capacidad de carga admisible del suelo SM

**Fuente:** Sinche y Zeballos, 2019

Como el tipo de suelo y el aditivo en estudio, también las proporciones de este son distintas a lo que se estudió en el presente trabajo de investigación, se tomó en cuenta solo las variaciones en porcentaje que provee el Flake Pet a este suelo SM, para su aproximada comparación con el relave.

**Tabla 47:** Influencia del Flake Pet al suelo SM

MUESTRA	INFLUENCIA DEL FLAKE PET AL SUELO (SM) EN SU CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (%)
Suelo 100%	-
Suelo 97.5% + Flake Pet 2.5%	AUMENTA +16.4%
Suelo 95% + Flake Pet 5%	AUMENTA +2.3%
Suelo 92.5% + Flake Pet 7.5%	DISMINUYE -23.36%
Suelo 90% + Flake Pet 10%	DISMINUYE -40.3

**Fuente:** Elaboración propia en base a Sinche y Zeballos, 2019

De la Tabla 47, se puede deducir que el aditivo, que se es estudiado: Flake Pet, llega a su punto máximo de influencia positiva al suelo SM, cuando se se

proporciona a este un 2.5% de dicho aditivo, generando en la capacidad de carga admisible un aumento máximo de 16.4% de la capacidad de carga admisible inicial del suelo SM, mientras que el relave incrementa una máxima capacidad de carga admisible del 44.5% de la capacidad de carga admisible inicial del suelo LM. Con ello se puede concluir que el relave genera mucho más incremento en las propiedades físico y mecánico del suelo con respecto al aditivo Flake Pet estudiado en este apartado.

## CONCLUSIONES

1. Partiendo de los resultados de la Figura 73 y la Tabla 38, se puede concluir que la densidad seca máxima del suelo limo-inorgánico tiende a incrementarse mientras más relave se use, esto es beneficioso, debido a que con el uso de este aditivo se reducen los espacios vacíos que existen en las partículas del suelo, generando así un suelo más compactable al momento de querer realizar una obra de construcción.
2. Partiendo de los resultados de la Figura 74 y la Tabla 39, se concluye que el relave es un aditivo que disminuye el contenido de humedad del suelo limo-inorgánico, para obtener así su densidad máxima seca; en otras palabras, se requiere suministrar menos agua para que el suelo obtenga la máxima densidad, esta disminución del porcentaje de humedad puede elevarse más de lo estudiado, debido a que aún no se llega a la disminución máxima, si no a la disminución que da la última proporción de esta investigación: suelo 50% más relave 50%.
3. Con la aplicación del relave al suelo limo-inorgánico (LM), el suelo tiende a mejorar en sus propiedades mecánicas, una de ellas es el esfuerzo cortante, de tal modo que cuando más proporción de relave se suministra al suelo LM, más se eleva su ángulo de fricción, esto se puede confirmar

porque el relave está compuesto por diferentes minerales que fueron depositados después de la extracción de los metales que estaban contenidos en grandes bloques de rocas antes de su proceso minero.

4. Con la aplicación del relave minero al suelo limo –inorgánico (LM), las cargas aplicadas del suelo para las cimentaciones de edificaciones tienden a aumentar, este incremento es muy conveniente puesto que el máximo aumento que resultó en los cálculos de esta investigación fue de 44.5%; sin embargo, no se debe usar menos del 30% de relave para estabilizar o incrementar esta propiedad mecánica de carga aplicada del suelo, porque se obtuvo una disminución de esa propiedad cuando se suministró el relave al 20%, esto sucedió porque el relave no presenta una cohesión muy elevada y ello perjudica la característica del suelo LM. La disminución de la cohesión no genera desestabilización cuando el relave es suministrado en una cantidad mayor o igual al 30%, porque el relave en ese porcentaje provee de otras características más que la fuerza cohesiva, como son: el ángulo de fricción interna y el peso específico, que prevalecen en la estabilización del suelo LM y que son propiedades que se incrementan con el aumento de la proporción del relave suministrado e incluso son más importantes en el incremento de la carga aplicada del suelo para los cimientos de las edificaciones a diseñar.
5. El relave incrementa positivamente las propiedades físicas de los suelos LM. Analizando el único antecedente de esta investigación basado en la inserción de relave para la estabilización del suelo fino: arcilla, y observando las tablas 45 y 46 que muestran sus resultados con respecto a la densidad, se concluyó que el relave genera influencias positivas a los suelos arcilla y limo, puesto que el incremento de las propiedades físicas en el suelo LM y en el suelo CL fueron significativas.
6. El uso de relave para la estabilización de suelos arcilla y limo, debe ser mayor o igual al 30%, nunca menor a esta proporción. Se corroboró que, al proporcionarle un porcentaje menor de relave al suelo, se genera la

disminución de la propiedad mecánica de cargas aplicadas del suelo, y con ello se inhabilita el uso del relave para la estabilización del suelo.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios con este tipo de aditivo, residuo minero polimetálico, en otros tipos de suelos inestables pertenecientes al tipo de suelo fino extraído dentro de Lima Metropolitana.
2. Continuar con este tipo de estudios, empleando proporciones de relave mayores al 50% en las mezclas con los suelos limo – inorgánico (LM). También evaluar las características físicas y mecánicas del relave en su composición al 100%, para tener una mejor comparación crítica de las propiedades benéficas que posee el residuo minero.
3. Usar protectores de bioseguridad al momento de desarrollar cualquier tipo de ensayo de laboratorio con relave. Si bien las cantidades tóxicas del relave en pequeñas proporciones pueden ser despreciables, algunas personas pueden tener complicaciones alérgicas con uno o más compuestos de este aditivo.
4. Aplicar el relave en los suelos LM para una posible construcción, si se necesita reducir la cantidad de agua suministrada al suelo, se recomienda que se agregue relave, considerando nunca usar menos del 30% con respecto al suelo, porque se disminuirían las capacidades portantes de este.

5. Realizar otros ensayos, como: el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), Consolidación Unidimensional de Suelos, entre otros, al momento de estudiar el suelo limo-inorgánico, solo así se tendrá un conocimiento más amplio de los beneficios que provee el relave a este tipo de suelo.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### Referencias bibliográficas:

Anicama, G. (2010). *Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Cañar, E. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. (4ta ed.) México, D.F.: Cengage learning

Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. (7ma ed.) México, D.F.: Cengage learning

- Garnica, P. et al. (2002). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres*. Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
- Jurado, C. & Clavijo, D. (2016). *Estabilización de suelos con cemento tipo MH para mejorar las características físicas y mecánicas del material de subsuelo de la zona de talleres y cocheras de la PLMQ, sector Quitumbe*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Martínez, O. (2014). *Estabilización de suelos con cal hidratada para uso en pavimentos rígidos en la zona oriente de la ciudad de Uruapan, Michoacán*. (Tesis de grado). Universidad Don Vasco A. C. México.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (3 de diciembre de 2018). Artículo 21 [Capítulo III]. Reglamento Nacional de Edificaciones [Norma E.050]. DO: El Peruano.
- Molano, M. & Leiton, G. (2017). *Análisis del comportamiento mecánico de los suelos Limo- arenosos estabilizados con Silicato de Sodio*. (Tesis de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Sánchez, A. & Junior, A. (2017). *Análisis de estabilidad sísmica para una presa utilizando relave grueso con el método de suelo armado (Huachocolpa Uno – Huancavelica)*. (Tesis de grado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Sinche, J. & Zevallos, J. (2019). *Influencia de las escamas de tereftalato de polietileno (Flake Pet) en el comportamiento mecánico de los suelos areno-limosos del distrito de La Molina*. (Tesis de grado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.

## Referencias electrónicas:

Huarcaya, M. (21 de enero de 2012). Carhuacayan en La Oroya en 4to. lugar de pueblos contaminados. *Diario Correo*. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/peru/carhuacayan-en-la-oroya-en-4to-lugar-de-pueblos-contaminados-502623/?ref=dcr>

Fernandez, J. et al. (2006). *Estabilización de suelos con relaves mineros a nivel de sub rasante en la carretera Huánuco - Pano en la zona de la Punta* – 2005. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/239996649/Estabilizacion-de-Suelos-Con-Relave-Minero-Total>.

Llacz Ladera, H., & Castellanos Sánchez, P. (2020). Hongos filamentos de relave minero contaminado con plomo y zinc. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica*, 23 (45), 37-42. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v23i45.18046>

Ministerio de Energía y Minas. *Guía para el manejo de Relaves Mineros* (2009). Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.pdf>.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual de ensayo de materiales* (2016). Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf).

Municipalidad de San Martín de Porres (2018). *Plan de rehabilitación ante emergencias y desastres 2018 – 2021*, Recuperado de [https://www.mdsmp.gob.pe/data\\_files/da\\_020\\_2018.pdf](https://www.mdsmp.gob.pe/data_files/da_020_2018.pdf).

Municipalidad de San Martín de Porres (2012). *Plan de desarrollo de concertado del distrito de San Martín de Porres al 2012*, Recuperado de

[https://www.imp.gob.pe/images/IMP%20%20PLANES%20DE%20DE%20SARROLLO%20MUNICIPAL/san\\_martin\\_de\\_porres\\_plan\\_de\\_desarrollo\\_concertado\\_al\\_2021.pdf](https://www.imp.gob.pe/images/IMP%20%20PLANES%20DE%20DE%20SARROLLO%20MUNICIPAL/san_martin_de_porres_plan_de_desarrollo_concertado_al_2021.pdf).

Rodríguez, W. (2019). *Fundamentos de la ingeniería geotécnica suelos y cimentaciones*. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/38931233/INGENIER%C3%8DA\\_GEOT%C3%89CNICA\\_2019\\_Suelos\\_y\\_Cimentaciones\\_LIBRO](https://www.academia.edu/38931233/INGENIER%C3%8DA_GEOT%C3%89CNICA_2019_Suelos_y_Cimentaciones_LIBRO).

Romero, A. & Flores, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Industrial Data*, 13 (2). 075-082. Recuperado en <https://doi.org/10.15381/idata.v13i2.6193>

Servicio Nacional de Geología y Minería. *Datos de geoquímica de depósitos de relaves de Chile (2020)*. Recuperado de <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Matriz de consistencia	137
Anexo 2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	138
Anexo 3: Diagrama de clasificación de nombres para suelos finos: arcillosos y limosos	139
Anexo 4: Certificado del distanciómetro laser	140
Anexo 5: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página nº 1	141
Anexo 6: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página nº 2	142
Anexo 7: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página nº 3	143
Anexo 8: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página nº 4	144
Anexo 9: Certificado de calibración de balanza de 20 kg, página nº 1	145
Anexo 10: Certificado de calibración de balanza de 20 kg, página nº 2	146
Anexo 11: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página nº 1	147
Anexo 12: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página nº 2	148
Anexo 13: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página nº 3	149
Anexo 14: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página nº 4	150
Anexo 15: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página nº 1	151
Anexo 16: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página nº 2	152

Anexo 17: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 3	153
Anexo 18: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 4	154
Anexo 19: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 5	155
Anexo 20: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 6	156
Anexo 21: Cargo de la boleta electrónica y resultados de laboratorio	157
Anexo 22: Resultados del análisis granulométrico del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	158
Anexo 23: Curva granulométrica resultante del análisis granulométrico del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	159
Anexo 24: Resultados de los ensayos de límites de consistencia y clasificación de suelos del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	160
Anexo 25: Resultados del ensayo proctor estándar del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	161
Anexo 26: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 1	162
Anexo 27: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 2	163
Anexo 28: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 3	164
Anexo 29: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 4	165
Anexo 30: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	166
Anexo 31: Datos resultantes del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 80% + relave 20%	167
Anexo 32: Resultados del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 80% + relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	168

Anexo 33: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 80%+relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 1	169
Anexo 34: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 80%+relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 2	170
Anexo 35: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 80%+relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 3	171
Anexo 36: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 80%+relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 4	172
Anexo 37: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua de la muestra: suelo 80% + relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	173
Anexo 38: Datos resultantes del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 70% + relave 30%	174
Anexo 39: Resultados del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 70% + relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	175
Anexo 40: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 1	176
Anexo 41: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 2	177
Anexo 42: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 3	178
Anexo 43: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 4	179

Anexo 44: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua de la muestra: suelo 70% + relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	180
Anexo 45: Datos resultantes del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 50% + relave 50%	181
Anexo 46: Resultados del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 50% + relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	182
Anexo 47: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 1	183
Anexo 48: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 2	184
Anexo 49: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 2	185
Anexo 50: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 3	186
Anexo 51: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua de la muestra: suelo 50% + relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.	187
Anexo 52: Superficie del depósito de relave minero figura n° 1	188
Anexo 53: Superficie del depósito del relave minero figura n° 2	188
Anexo 54: Parte frontal del depósito del relave	189
Anexo 55: Extracción del relave	189
Anexo 56: Medición de la calicata	190
Anexo 57: Calicata C-1 figura N°1	190
Anexo 58: Calicata: C-1 figura N°2	191

## Anexo 1: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA									
INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DE LOS SUELOS LIMO-INORGÁNICOS PARA LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES EN EL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES - LIMA									
ELABORADO POR: HANS ALEXANDER LLACZA CARDENAS									
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES					METODOLOGÍA	
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente (X)			Variable dependiente (Y)			Tipo de investigación
¿Cómo influyen los residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?	Determinar la influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.	La aplicación de residuos mineros (relave) mejora el comportamiento físico y mecánico del suelo limo-inorgánico, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres	X: Residuos mineros (relave)			Y: Comportamiento físico y mecánico de los suelos limo-inorgánicos del distrito de San Martín de Porres			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Diseño:</b> Experimental</li> <li>• <b>Enfoque:</b> Cuantitativo</li> <li>• <b>Tipo:</b> Aplicada</li> </ul>
<b>Población y muestra</b>									
<b>1. Población</b> Para la presente investigación, la población de estudio será el distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima.									
<b>Instrumentos</b>									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> <li>• Molde de Proctor estándar</li> <li>• Martillo compactador para suelos Proctor estándar ASTM</li> <li>• Bandeja metálica</li> <li>• Cucharón metálico</li> <li>• Equipo para ensayo de corte directo</li> <li>• Horno de laboratorio</li> <li>• Tamizador eléctrico</li> <li>• Balanza digital</li> <li>• Dial horizontal</li> <li>• Cuchara Casagrande</li> <li>• Picnómetro</li> </ul>									
<b>Procedimientos</b>									
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se obtendrá la muestra en la ubicación de trabajo.</li> <li>2. Se procederá a tamizar la muestra.</li> <li>3. Se desarrolla el ensayo de límite de consistencia.</li> <li>4. Caracterización según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).</li> <li>5. Se realiza el ensayo de gravedad específica.</li> <li>6. Seguidamente se hace el ensayo de Proctor estándar</li> <li>7. Se hace el ensayo de Corte directo</li> <li>8. Se elabora la capacidad de carga aplicada según las características resultantes de los ensayos realizados.</li> <li>9. Por último, se analizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados.</li> <li>10. Todos los ensayos se realizaron en el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.</li> </ol>									
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dimensiones de la variable independiente	Indicadores	Índices	Dimensiones de la variable dependiente	Indicadores	ÍNDICE	
¿Cómo influye la aplicación de residuos mineros en la densidad seca máxima del comportamiento físico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?	Determinar la influencia de la aplicación de residuos mineros en la densidad seca máxima del comportamiento físico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.	La aplicación de residuos mineros (relave) incrementa la densidad seca máxima por cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico, en el comportamiento físico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.	<b>X1:</b> Proporción de residuos mineros (relave)	<b>X1.1:</b> Porcentaje en función al peso de la muestra	%	<b>Y1:</b> Densidad seca máxima	<b>Y1.1:</b> Densidad máxima seca	gr/cm3	
							<b>Y1.2:</b> Porcentaje de agua en función al peso de la muestra	%	
¿Cómo influye la aplicación de residuos mineros en la resistencia al esfuerzo cortante del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?	Determinar la influencia de la aplicación de residuos mineros en la resistencia al esfuerzo cortante del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.	La aplicación de residuos mineros (relave) incrementa el ángulo de fricción interno máxima por cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico en el comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.	<b>X1:</b> Proporción de residuos mineros (relave)	<b>X1.1:</b> Porcentaje en función al peso de la muestra	%	<b>Y2:</b> Resistencia al esfuerzo cortante	<b>Y2.1:</b> Angulo de fricción - $\phi$	$\phi(^{\circ})$	
							<b>Y2.2:</b> Cohesión - C (kg/cm2)	kg/cm2	
¿Cómo influye la aplicación de residuos mineros en el soporte de cargas aplicadas del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres?	Determinar la influencia de la aplicación de residuos mineros en el soporte de cargas aplicadas del comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.	La aplicación de residuos mineros (relave) mejora la capacidad de carga admisible máxima por cada proporción de relave añadida al suelo limo-inorgánico, en el comportamiento mecánico de los suelos limo-inorgánicos, para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres.	<b>X1:</b> Proporción de residuos mineros (relave)	<b>X1.1:</b> Porcentaje en función al peso de la muestra	%	<b>Y3:</b> Capacidad de soporte a cargas aplicadas	<b>Y3.1:</b> Capacidad de carga admisible - $Q_{adm}$	kg/cm2	

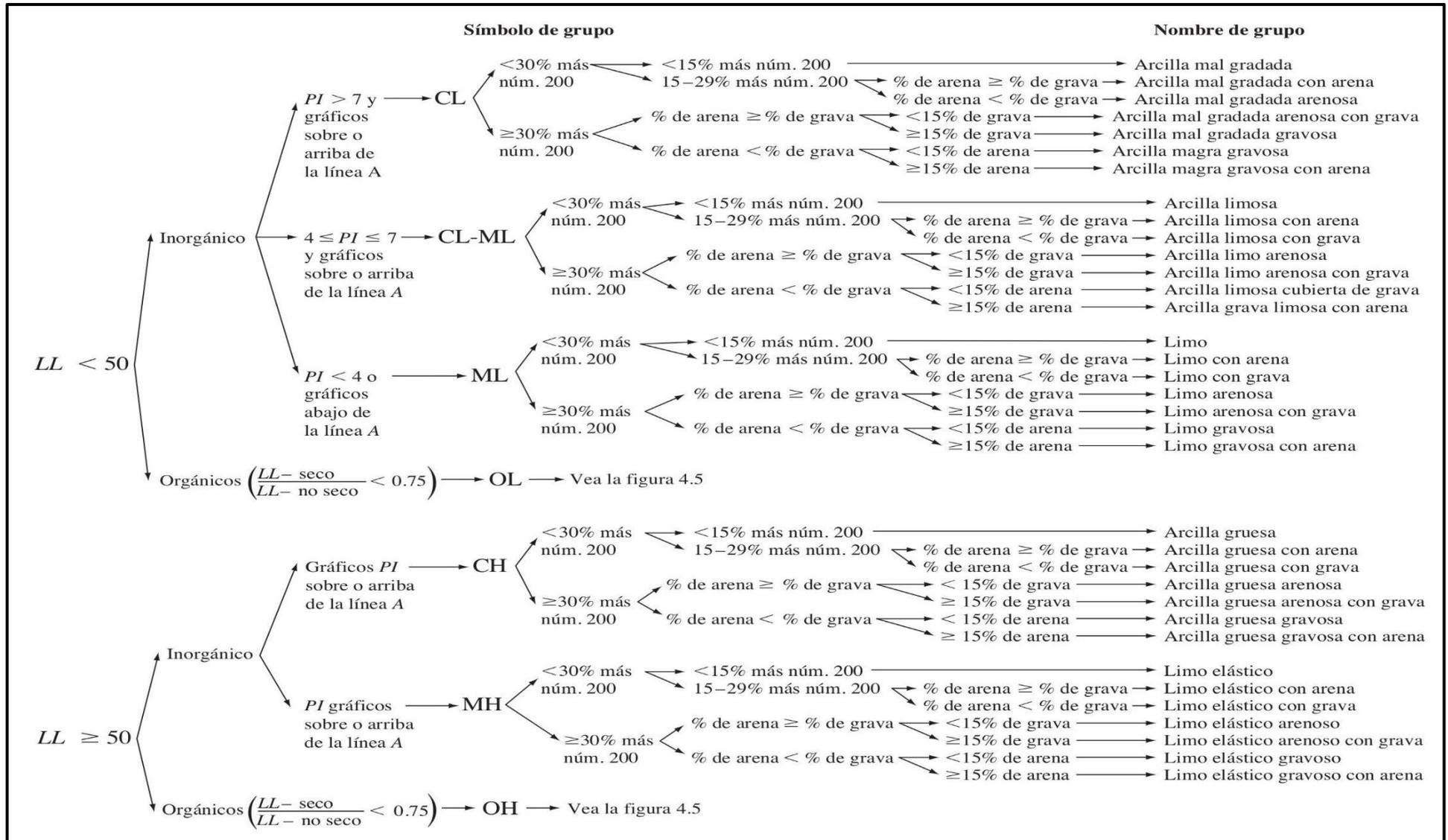
Elaborado por: El Autor

## Anexo 2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
<b>Suelos de grano grueso</b> Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	<b>Gravas</b> Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos <sup>a</sup>	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
		Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos <sup>a,d</sup>	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	<b>Arenas</b> 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Menos de 5% finos <sup>b</sup>	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
		Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
		Más de 12% finos <sup>b,d</sup>	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
<b>Suelos de grano fino</b> 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	<b>Limos y arcillas</b> Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup>	CL
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup>	ML
	<b>Limos y arcillas</b> Límite líquido 50 o más	Inorgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$ ; vea la figura 4.2; zona OL	OL
		Inorgánico	Gráficos $PI$ en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
		Orgánico	Gráficos $PI$ por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$ ; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

Fuente: Das, 2015

### Anexo 3: Diagrama de clasificación de nombres para suelos finos: arcillosos y limosos



Fuente: Das, 2015

Anexo 4: Certificado del distanciómetro laser



**BOSCH**

## Manufacturer Certificate

<b>Product:</b>	GLM 20 Professional
<b>Part no:</b>	0 601 072 EGO
<b>Serial no:</b>	907108298
<b>Inspection date:</b>	07/2019

We hereby certify that the product described above has been tested before shipment and complies with the specifications as stated in the operating instructions. The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System in accordance to ISO 9001.

**Martin Merchant**  
Vice President  
Business Unit Measuring Tools

**Jörg Eckstein**  
Vice President  
Manufacturing Measuring Tools

**Robert Bosch Power Tools GmbH**<sup>1</sup>  
70538 Stuttgart · GERMANY

**Robert Bosch Tool Corporation**  
1800 Central Rd. · Mount Prospect · Illinois 60056 · USA

6 082 943 5JM



## Anexo 5: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página n° 1

# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 233 - 2020

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

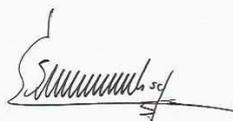
Página 1 de 4

<b>1. Expediente</b>	<b>200349</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA SRL</b>	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
<b>3. Dirección</b>	Cal.Manuel Gonzales De La Rosa Nro. 435 - Magdalena Del mar - Lima - LIMA	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>2000 g</b>	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
<b>División de escala (d)</b>	<b>0,01 g</b>	
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>0,1 g</b>	
<b>Clase de exactitud</b>	<b>II</b>	
<b>Marca</b>	<b>HENKEL</b>	
<b>Modelo</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>Número de Serie</b>	<b>KG25580</b>	
<b>Capacidad mínima</b>	<b>0,5 g</b>	
<b>Procedencia</b>	<b>U.S.A.</b>	
<b>Identificación</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>Ubicación</b>	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS</b>	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2020-08-19</b>	

Fecha de Emisión  
2020-08-24

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello



**ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ**



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282  
RPC: 940037490

email: [metrologia@metrologiatecnicas.com](mailto:metrologia@metrologiatecnicas.com)  
[ventas@metrologiatecnicas.com](mailto:ventas@metrologiatecnicas.com)  
[calidad@metrologiatecnicas.com](mailto:calidad@metrologiatecnicas.com)  
WEB: [www.metrologiatecnicas.com](http://www.metrologiatecnicas.com)

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 6: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página n° 2

**METROTEC****METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Masas***CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LM - 233 - 2020**

Página 2 de 4

**6. Método de Calibración**

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.

**7. Lugar de calibración**

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**  
Cal.Manuel Gonzales De La Rosa Nro. 435 - Magdalena Del mar - Lima - LIMA

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	20,0 °C	19,7 °C
Humedad Relativa	62 %	60 %

**9. Patrones de referencia**

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) DM-INACAL: 180467001	PESAS (Clase de Exactitud: E2)	LM-C-198-2019 / LM-218-2019

**10. Observaciones**

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.

**Metrología & Técnicas S.A.C.**  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282  
RPC: 940037490

email: [metrologia@metrologiatecnicas.com](mailto:metrologia@metrologiatecnicas.com)  
[ventas@metrologiatecnicas.com](mailto:ventas@metrologiatecnicas.com)  
[calidad@metrologiatecnicas.com](mailto:calidad@metrologiatecnicas.com)  
WEB: [www.metrologiatecnicas.com](http://www.metrologiatecnicas.com)

**Fuente:** Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 7: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página n° 3

# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 233 - 2020

Página 3 de 4

#### 11. Resultados de Medición

##### INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

##### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1 = 1 000,00 g			Carga L2 = 2 000,00 g			
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	1 000,01	6	9	2 000,00	5	0	
2	1 000,00	5	0	2 000,01	6	9	
3	1 000,01	6	9	2 000,01	6	9	
4	1 000,01	6	9	2 000,02	7	18	
5	1 000,01	7	8	2 000,01	6	9	
6	1 000,01	7	8	2 000,01	5	10	
7	1 000,01	6	9	2 000,01	6	9	
8	1 000,01	6	9	2 000,01	7	8	
9	1 000,00	5	0	2 000,02	7	18	
10	1 000,01	6	9	2 000,01	6	9	
Diferencia Máxima			9	Diferencia Máxima			18
Error Máximo Permissible			± 200	Error Máximo Permissible			± 200



##### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



Posición  
de las  
cargas

Temperatura Inicial Final  
19,9 °C 19,9 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	l (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	0,10 g	0,10	5	0	600,00	600,01	6	9	9
2		0,10	5	0		600,00	5	0	0
3		0,10	5	0		600,01	6	9	9
4		0,10	5	0		600,01	7	8	8
5		0,10	5	0		599,99	4	-9	-9
Error máximo permisible									± 200

\* Valor entre 0 y 10e

Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282  
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
calidad@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 8: Certificado de calibración de balanza de 2000 gr, página n° 4

# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 233 - 2020

Página 4 de 4

#### ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	20,0 °C	19,7 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p.** (± mg)
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0,10	0,10	5	0						
0,50	0,50	5	0	0	0,50	4	1	1	100
1,00	1,00	5	0	0	1,00	4	1	1	100
10,00	10,00	5	0	0	10,00	5	0	0	100
20,00	20,00	5	0	0	20,00	4	1	1	100
50,00	50,00	4	1	1	50,00	5	0	0	100
100,00	100,00	5	0	0	100,01	7	8	8	100
500,00	500,00	5	0	0	500,01	6	9	9	100
1 000,00	1 000,01	6	9	9	1 000,01	7	8	8	200
1 500,00	1 500,01	6	9	9	1 500,02	7	18	18	200
2 000,00	2 000,02	7	18	18	2 000,02	7	18	18	200

\*\* error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
I: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.  
E: Error encontrado

E<sub>0</sub>: Error en cero.  
E<sub>C</sub>: Error corregido.



Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0,00000656 R$$

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0,0000497 \text{ g}^2 + 0,0000000013 \text{ R}^2)}$$

#### 12. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Tel: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

calidad@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 9: Certificado de calibración de balanza de 20 kg, página n° 1



**ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

**N° 014-19 BAL**

**OTORGADO A** : ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA S.R.L.

**CERTIFICA QUE** : El instrumento de medición con el modelo y nro. de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y calibrado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de Calidad INACAL.

Instrumento de medición : Balanza Mecánica.  
Capacidad : 20 kg.  
Marca : OHAUS  
Modelo : -----  
Nro. de Serie : -----  
Fecha de Calibración : 17.05.2019  
Próxima Calibración : 17.11.2019

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.  
*Ing. Luis Taboada Palacios*  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. 38551

**MÉTODO DE CALIBRACIÓN**  
CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

#### **INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN**

U = 1 gr. + 0.0003

#### **PATRONES**

01 Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kg, 01 Pesa 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 2 mg a 200 gr, CERTIFICADOS LM-C-134-2019, LM-132-2019, LM-133-2019, LM-134-2019, LM-C-133-2019- PE19-C-0465

#### **TRAZABILIDAD**

Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de la Calidad-INACAL.

#### **CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**

Temperatura Inicial 21.6 °C Final 21.5°C  
Humedad Relativa 70 %

#### **RESULTADO DE LA MEDICION**

Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada.

#### **OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se ha colocado en la balanza una etiqueta con el nro. del certificado.

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigancho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989  
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2019

Anexo 10: Certificado de calibración de balanza de 20 kg, página n° 2



**ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 014-19 BAL**

Fecha : 17.05.2019  
Caduca : 17.11.2019

RAZON SOCIAL : ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA S.R.L.  
MARCA : OHAUS CLASE : II  
MODELO : ----- CAPACIDAD : 20 kg.  
SERIE : ----- DIVIS DE ESCALA : 1 g  
DIVIS DE VERIFICACION : 1 g

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.  
*Ing. Luis Taboada Palacios*  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. 34551

Medición Nro	Carga L1 = 15000 g			Medición Nro	Carga L1 = 20000g		
	I (g)	AL (g)	E (g)		I (g)	AL (g)	E (g)
1	15002	0	0	1	20003	0	0
2	15002	0	0	2	20003	0	0
3	15002	0	0	3	20003	0	0
4	15002	0	0	4	20003	0	0
5	15002	0	0	5	20003	0	0
6	15002	0	0	6	20003	0	0
7	15002	0	0	7	20003	0	0
8	15002	0	0	8	20003	0	0
9	15002	0	0	9	20003	0	0
10	15002	0	0	10	20003	0	0

CARGA	DIFERENCIA MAXIMA ENCONTRADA	ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES
15000 g	15002 g	15 g
20000 g	3 g	30 g

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posic. de Carga	Determinación de error corregido Eo				Carga L	Determinación de error corregido Eo					e.m.p +(g)
	Carga Min	I (g)	AL (g)	E (g)		I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)		
1	10 gr.	10	1	-0.5	10000 gr.	10002	1	-0.5	0	2	
2		10	1	-0.5		10002	1	-0.5	0	2	
3		10	1	-0.5		10002	1	-0.5	0	2	
4		10	1	-0.5		10002	1	-0.5	0	2	
5		10	1	-0.5		10002	1	-0.5	0	2	

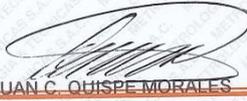
ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES				e.m.p +(g)
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
5	5	0	0	0	2
10	10	0	0	0	2
20	20	0	0	0	2
50	50	0	0	0	2
100	100	0	0	0	2
200	200	0	0	0	2
500	500	0	0	0	2
1000	1,000	0	0	0	2
5000	5,001	0	0	0	2
10000	10,002	0	0	0	2
15000	15,002	0	0	0	2
20000	20,003	0	0	0	2

I (g)	DECRECIENTES			e.m.p +(g)
	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
5	0	0	0	2
10	0	0	0	2
20	0	0	0	2
50	0	0	0	2
100	0	0	0	2
200	0	0	0	2
500	0	0	0	2
1,000	0	0	0	2
5,001	0	0	0	2
10,002	0	0	0	2
15,002	0	0	0	2
20,003	0	0	0	2

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigacho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989  
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

## Anexo 11: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página n° 1

<b>METROTEC</b>		<b>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C.</b>
		<small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
		<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b> <b>MT - LM - 274 - 2018</b>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Masa</i>		<small>Página 1 de 4</small>
<b>1. Expediente</b>	<b>18430</b>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
<b>2. Solicitante</b>	<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA S.R.L.</b>	
<b>3. Dirección</b>	<b>Cal. Manuel de la Rosa N° 435, Lima - LIMA.</b>	
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA MECÁNICA</b>	
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>500 kg</b>	
<b>División de escala (d)</b>	<b>0,2 kg</b>	
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>0,2 kg</b>	
<b>Clase de exactitud</b>	<b>III</b>	
<b>Marca</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>Modelo</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>Número de Serie</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>Capacidad mínima</b>	<b>4,0 kg</b>	
<b>Procedencia</b>	<b>PERÚ</b>	
<b>Identificación</b>	<b>MM-21 (*)</b>	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2018-05-31</b>	
<b>Fecha de Emisión</b>	<b>Jefe del Laboratorio de Metrología</b>	
<b>2018-06-01</b>	 <b>JUAN C. QUISPE MORALES</b>	
<small>Metrología &amp; Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Telf.: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282 RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282 RPC: 940037490</small>		<small>email: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com</small>

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2018

## Anexo 12: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página n° 2

# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 274 - 2018

Área de Metrología  
Laboratorio de Masa

Página 2 de 4

#### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Tercera Edición.

#### 7. Lugar de calibración

Laboratorio de Masa de METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. - METROTEC  
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego Vipol, San Martín de Porres - Lima

#### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,2 °C	21,2 °C
Humedad Relativa	68 %	68 %

#### 9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-312-2017 / LM-039-2017.	PESAS(Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-1050-2017
PESAS (Clase de exactitud F2)DM- INACAL LM-040-2017.	PESAS(Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-0307-2017
PESAS (Clase de exactitud E2)DM / INACAL LM-371-2016	PESAS(Clase de Exactitud M2)	TOTAL WEIGHT CM-1074-2017
PESAS (Clase de exactitud M1) DM- INACAL PE17C-0119	PESAS(Clase de Exactitud M2)	TOTAL WEIGHT CM-1336-2018

#### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (\*) Código indicado en una etiqueta adherida a la balanza.



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282  
RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282  
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2018

## Anexo 13: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página n° 3

METROTEC

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**  
Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

---

**Área de Metrología**  
Laboratorio de Masa

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LM - 274 - 2018**

Página 3 de 4

---

**11. Resultados de Medición**

**INSPECCIÓN VISUAL**

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	TIENE	CURSOR	TIENE
			NIVELACIÓN	NO TIENE	

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

	Inicial	Final
Temperatura	21,2 °C	21,6 °C

Medición N°	Carga L1 = 250,0 kg			Carga L2 = 500,0 kg			
	I ( kg )	ΔL ( kg )	E ( kg )	I ( kg )	ΔL ( kg )	E ( kg )	
1	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
2	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
3	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
4	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
5	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
6	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
7	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
8	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
9	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
10	250,0	-	0,0	499,8	-	-0,2	
Diferencia Máxima			0,0	Diferencia Máxima			0,0
Error Máximo Permissible			± 0,4	Error Máximo Permissible			± 0,6

**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

	Inicial	Final
Temperatura	21,5 °C	21,2 °C

2	1	5
3		4

Posición  
de las  
cargas

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (kg)	ΔL ( kg )	Eo ( kg )	Carga L ( kg )	I (kg)	ΔL( kg )	E ( kg )	Ec ( kg )
1	2,0 kg	2,0	-	0,0	170,0	170,0	-	0,0	0,0
2		2,0	-	0,0		170,0	-	0,0	0,0
3		2,0	-	0,0		170,0	-	0,0	0,0
4		2,0	-	0,0		170,0	-	0,0	0,0
5		2,0	-	0,0		170,0	-	0,0	0,0
Error máximo permisible									± 0,4

\* Valor entre 0 y 10e



---

**Metrología & Técnicas S.A.C.**  
 Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ  
 Telf.: (511) 540-0642  
 Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282  
 RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282  
 RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
 ventas@metrologiatecnicas.com  
 WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2018

## Anexo 14: Certificado de calibración de balanza de 500 kg, página n° 4


**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**  
Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

---

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Masa*

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LM - 274 - 2018**

Página 4 de 4

---

**ENSAYO DE PESAJE**

Temperatura

Inicial	Final
21,2 °C	21,2 °C

Carga L ( kg )	CRECIENTES				DECRECIENTES				e. m. p. ** ( ± kg )
	I (kg)	ΔL ( kg )	E ( kg )	Ec ( kg )	I (kg)	ΔL ( kg )	E ( kg )	Ec ( kg )	
2,0	2,0	-	0,0	0,0	4,0	-	0,0	0,0	0,2
4,0	4,0	-	0,0	0,0	5,0	-	0,0	0,0	0,2
5,0	5,0	-	0,0	0,0	10,0	-	0,0	0,0	0,2
10,0	10,0	-	0,0	0,0	20,0	-	0,0	0,0	0,2
20,0	20,0	-	0,0	0,0	50,0	-	0,0	0,0	0,2
50,0	50,0	-	0,0	0,0	100,0	-	0,0	0,0	0,2
100,0	100,0	-	0,0	0,0	199,8	-	-0,2	-0,2	0,4
200,0	199,8	-	-0,2	-0,2	299,8	-	-0,2	-0,2	0,4
300,0	299,8	-	-0,2	-0,2	399,8	-	-0,2	-0,2	0,4
400,0	399,8	-	-0,2	-0,2	499,8	-	-0,2	-0,2	0,6
500,0	499,8	-	-0,2	-0,2					

\*\* error máximo permisible

*Leyenda:* L: Carga aplicada a la balanza.  
I: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.  
E: Error encontrado

E<sub>0</sub>: Error en cero.  
E<sub>c</sub>: Error corregido.



**Lectura corregida**       $R_{CORREGIDA} = R + 0,000502 R$

**Incertidumbre expandida de medición**       $U = 2 \times \sqrt{ ( 0,00667 \text{ kg}^2 + 0,000561 R^2 )}$

12. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

---

**Metrología & Técnicas S.A.C.**  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282  
RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282  
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2018

**Anexo 15: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 1**



**ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

**CERTIFICADO DE CALIBRACION  
N° 015-19 AC**

**SOLICITANTE : ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA S.R.L.**

**TITULO : Calibración de Anillo de Carga.**

**Marca : MARUI**

**Capacidad : 3000 Kg**

**DIAL : MARUI**

**Mod. : -----**

**Serie : 22964**

**FECHA : Huachipa, 17 de Mayo del 2019**

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

*Ing. Luis Taboada Palacios*  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. 56551

## Anexo 16: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 2



### ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 015-19 AC

#### INFORMACION DEL EQUIPO

##### 1.- GENERALIDADES

A solicitud de ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA S.R.L. se procedió a observar el comportamiento de un anillo de carga con Dial indicador de lectura. La Calibración se realizó en Lima el 17 de Mayo del 2019.

##### 2.- DEL SISTEMA A CALIBRAR

###### Anillo de Carga

Marca : ORION  
Capacidad : 3000 Kg  
Dial:  
Marca : MARUI  
Modelo : -----  
Serie : 22964

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.  
*Ing. Luis Taboada Pclacios*  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. 56551

##### 3.- DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN

Dispositivo : Celda de Carga  
Fabricante : AEP TRANSDUCER  
Tipo : C2S  
Serie N° : 205775  
Carga Nominal : 10 TN  
Modalidad : Compresión  
Indicador : Digital AEP Transducer  
Modelo : MP10.  
N° Serie : 6390-2013-10

Calibración realizada en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica.–Expediente: INF-LE0 87-19 B

##### 4.- PROCEDIMIENTO

El procedimiento toma como referencia a la norma ASTM E4-07 y la Norma NTP ISO/IEC 17025, Se aplicaron tres series de carga al Anillo mediante la misma prensa.  
En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

##### 5.- RESULTADOS

En la Tabla N° 1 se muestran las tres series de carga y la serie promedio correspondiente.  
En el Gráfico N°1 se muestra la curva de regresión y la ecuación de ajuste correspondientes a la presente calibración.  
En la Carta de Calibración se muestran en detalle los valores en libras por cada división del Dial de Carga.

**Anexo 17: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 3**



**ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 015-19 AC

**TABLA N° 1**

**CALIBRACION DE ANILLO DE CARGA**

Marca ORION, Cap. 3000 Kg

Dial MARUI, Mod ----- N/S 22964

DIAL INDICADOR DIVISIONES	SERIES DE VERIFICACION ( Kg )			SERIE PROMEDIO Kg	Error Repetibilidad %
	SERIE ( 1 )	SERIE ( 2 )	SERIE ( 3 )		
50	290.0	287.0	288.0	288.33	0.53
100	570.0	568.0	570.0	569.33	0.20
150	842.0	841.0	840.0	841.00	0.12
200	1,120.0	1,117.0	1,116.0	1,117.67	0.19
250	1,400.0	1,403.0	1,401.0	1,401.33	0.11
300	1,660.0	1,665.0	1,662.0	1,662.33	0.15
350	1,933.0	1,930.0	1,929.0	1,930.67	0.11

Coefficiente de correlación..:

$R^2 = 0.9999$

Recta de ajuste:  
Donde:

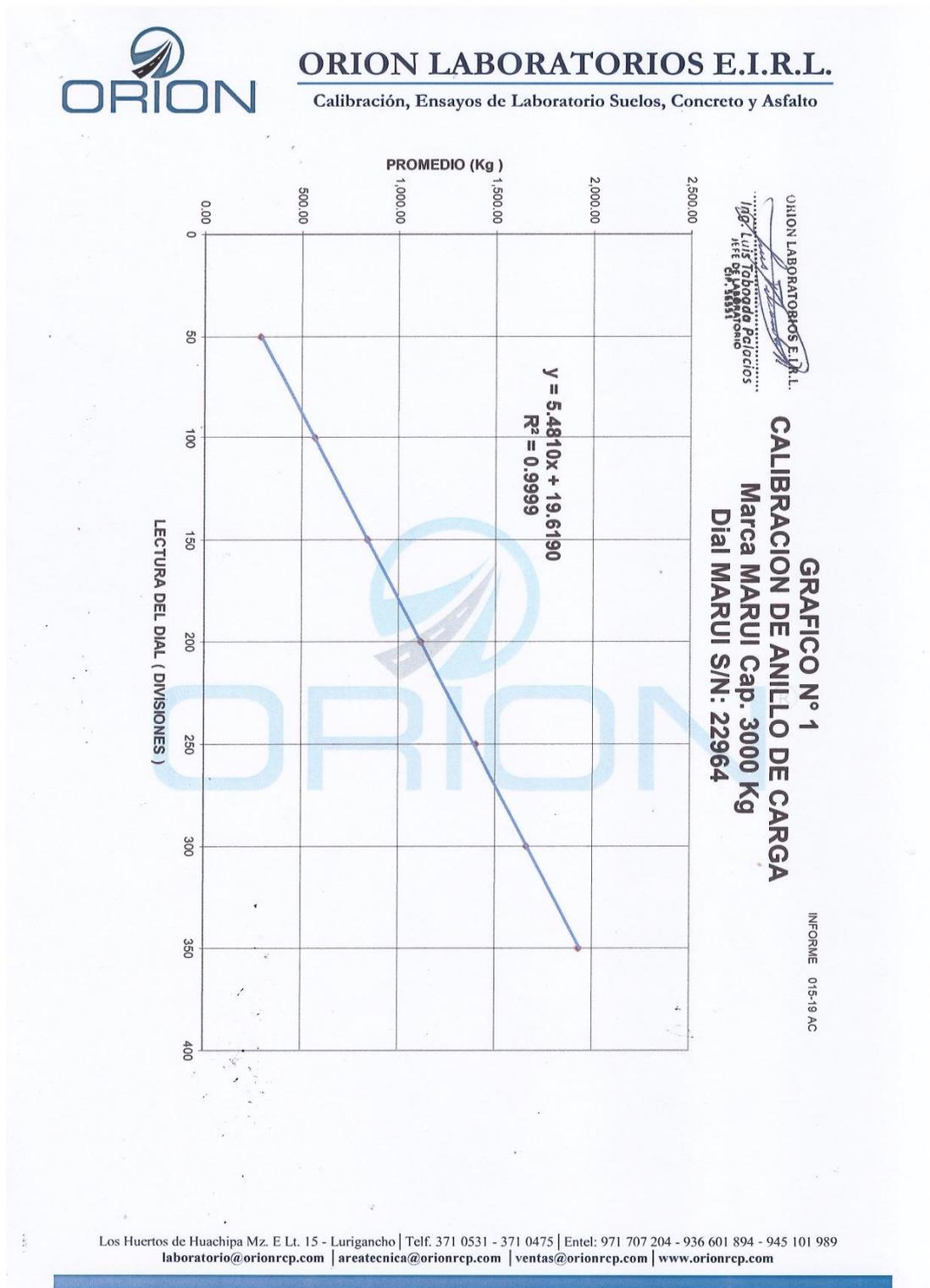
$y = 5.4810x + 19.6190$

X : lectura del dial ( divisiones )  
Y : fuerza promedio ( Kg )

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

*Ing. Luis Taboada Palacios*  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. 56551

**Anexo 18: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 4**



**Fuente:** Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2019

**Anexo 19: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina de corte directo, página n° 5**



**ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 015-19 AC

**CARTA DE CALIBRACIÓN**

ANILLO DE CARGA : MARUI  
 CAPACIDAD : 3000 Kg  
 CON DIAL : MARUI  
 SERIE : 13289  
 FECHA DE CALIBRACIÓN : 17 de Mayo del 2019

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.  
  
**Ing. Luis Taboada Pclacios**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CIP. 98951

$y = 5.4810x + 19.6190$

Divis.	Kilogramos									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	25	31	36	42	47	53	58	63	69
10	74	80	85	91	96	102	107	113	118	124
20	129	135	140	146	151	157	162	168	173	179
30	184	190	195	200	206	211	217	222	228	233
40	239	244	250	255	261	266	272	277	283	288
50	294	299	305	310	316	321	327	332	338	343
60	348	354	359	365	370	376	381	387	392	398
70	403	409	414	420	425	431	436	442	447	453
80	458	464	469	475	480	486	491	496	502	507
90	513	518	524	529	535	540	546	551	557	562
100	568	573	579	584	590	595	601	606	612	617
110	623	628	633	639	644	650	655	661	666	672
120	677	683	688	694	699	705	710	716	721	727
130	732	738	743	749	754	760	765	771	776	781
140	787	792	798	803	809	814	820	825	831	836
150	842	847	853	858	864	869	875	880	886	891
160	897	902	908	913	919	924	929	935	940	946
170	951	957	962	968	973	979	984	990	995	1001
180	1006	1012	1017	1023	1028	1034	1039	1045	1050	1056
190	1061	1066	1072	1077	1083	1088	1094	1099	1105	1110
200	1116	1121	1127	1132	1138	1143	1149	1154	1160	1165
210	1171	1176	1182	1187	1193	1198	1204	1209	1214	1220
220	1225	1231	1236	1242	1247	1253	1258	1264	1269	1275
230	1280	1286	1291	1297	1302	1308	1313	1319	1324	1330
240	1335	1341	1346	1352	1357	1362	1368	1373	1379	1384
250	1390	1395	1401	1406	1412	1417	1423	1428	1434	1439
260	1445	1450	1456	1461	1467	1472	1478	1483	1489	1494
270	1499	1505	1510	1516	1521	1527	1532	1538	1543	1549
280	1554	1560	1565	1571	1576	1582	1587	1593	1598	1604
290	1609	1615	1620	1626	1631	1637	1642	1647	1653	1658
300	1664	1669	1675	1680	1686	1691	1697	1702	1708	1713
310	1719	1724	1730	1735	1741	1746	1752	1757	1763	1768
320	1774	1779	1785	1790	1795	1801	1806	1812	1817	1823
330	1828	1834	1839	1845	1850	1856	1861	1867	1872	1878
340	1883	1889	1894	1900	1905	1911	1916	1922	1927	1932
350	1938	1943	1949	1954	1960	1965	1971	1976	1982	1987
360	1993	1998	2004	2009	2015	2020	2026	2031	2037	2042
370	2048	2053	2059	2064	2070	2075	2080	2086	2091	2097
380	2102	2108	2113	2119	2124	2130	2135	2141	2146	2152
390	2157	2163	2168	2174	2179	2185	2190	2196	2201	2207
400	2212	2218	2223	2228	2234	2239	2245	2250	2256	2261
410	2267	2272	2278	2283	2289	2294	2300	2305	2311	2316

Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Luriganchu | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989  
 laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2019

**Anexo 20: Certificado de calibración del anillo de carga de la máquina  
de corte directo, página n° 6**



**ORION LABORATORIOS E.I.R.L.**

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

Divis.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
420	2322	2327	2333	2338	2344	2349	2355	2360	2365	2371
430	2376	2382	2387	2393	2398	2404	2409	2415	2420	2426
440	2431	2437	2442	2448	2453	2459	2464	2470	2475	2481
450	2486	2492	2497	2503	2508	2513	2519	2524	2530	2535
460	2541	2546	2552	2557	2563	2568	2574	2579	2585	2590
470	2596	2601	2607	2612	2618	2623	2629	2634	2640	2645
480	2650	2656	2661	2667	2672	2678	2683	2689	2694	2700
490	2705	2711	2716	2722	2727	2733	2738	2744	2749	2755
500	2760	2766	2771	2777	2782	2788	2793	2798	2804	2809
510	2815	2820	2826	2831	2837	2842	2848	2853	2859	2864
520	2870	2875	2881	2886	2892	2897	2903	2908	2914	2919
530	2925	2930	2936	2941	2946	2952	2957	2963	2968	2974
540	2979	2985	2990	2996	3001	3007	3012	3018	3023	3029



Los Huertos de Huachipa Mz. E Lt. 15 - Lurigáncho | Telf. 371 0531 - 371 0475 | Entel: 971 707 204 - 936 601 894 - 945 101 989  
laboratorio@orionrcp.com | areatecnica@orionrcp.com | ventas@orionrcp.com | www.orionrcp.com

**Fuente:** Laboratorio de mecánica de suelos de E y P de Ingeniería S.R.L., 2019

## Anexo 21: Cargo de la boleta electrónica y resultados de laboratorio



**DE INGENIERIA** S.R.L.  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**EyP-2020-290**

Lima, 21 de Setiembre del 2020

Señor

**HANS A. LLACZA CARDENAS**

Ref.: **Proyecto Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones**

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, tenemos a bien hacerle llegar la Boleta electrónica N° EB01-9 por un monto de S/. 2,660.90 (DOS MIL SEISCIENTOS SESENTA Y 90/100 SOLES), correspondiente a los Ensayos de Laboratorio solicitados para el proyecto de la referencia.

Se adjunta los Resultados de Laboratorio.

Muy atentamente,

**EyP de Ingeniería S.R.L.**

  
Ing. César A. Vica Ghezzi  
Gerente General

CVG/dip.

Se Adj. lo menc.

**Anexo 22: Resultados del análisis granulométrico del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

**PROYECTO** : Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN CALCATA** : Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**UBICACIÓN RELAVE** : Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** : **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** : Suelo 100%  
**FECHA** : 24.AGO.2020

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMICES NTP 339.128 (ASTM-D-422)**

Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda		Porcentaje acumulativo que pasa en peso										
		Nº10	Nº20	Nº40	Nº60	Nº100	Nº200					
1	1/2"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº60	Nº100	Nº200
100.00	98.68	98.00	97.91	97.83	97.77	97.62	97.51	96.11	93.92	89.52	79.39	

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 8314



**Anexo 24: Resultados de los ensayos de límites de consistencia y clasificación de suelos del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

**PROYECTO** : Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN CALICATA** : Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**UBICACIÓN RELAVE** : Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** : **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** : Suelo 100%  
**FECHA** : 24.AGO.2020

**LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

Límites de Consistencia %		Clasificación de suelos de suelos SUCS
Límite Líquido NTP 339.129 (ASTM-D-4318)	Índice de Plasticidad NTP 339.134 (ASTM-D-2487)	
33.21	8.43	ML

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
 César A. Vilca Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

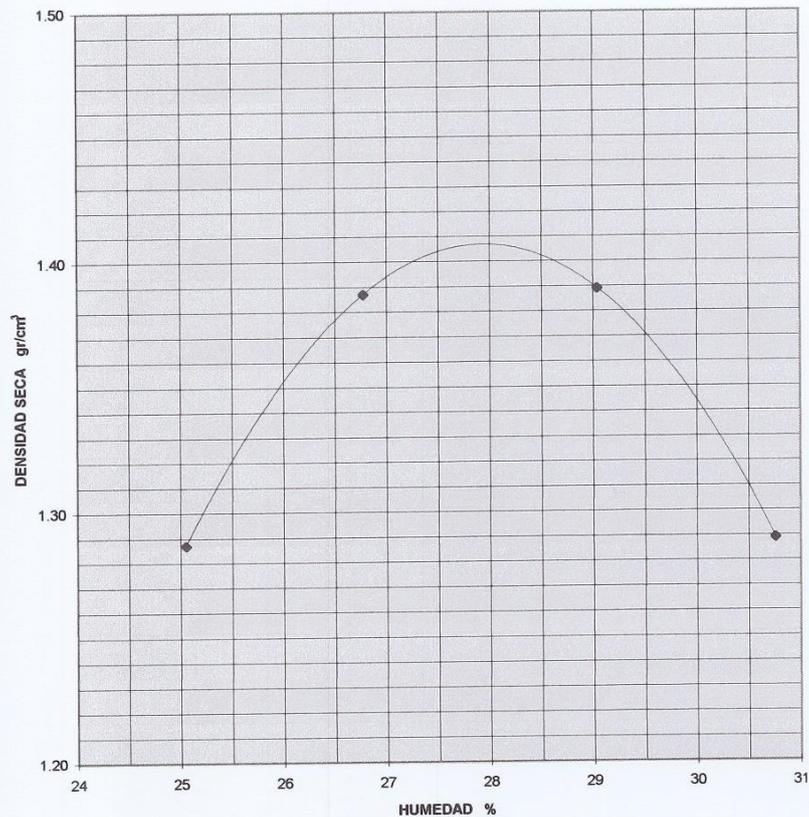
## Anexo 25: Resultados del ensayo proctor estándar del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.

**EyP** DE INGENIERÍA S.R.L.  
ESTUDIOS Y PROYECTOS LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERÚ □ 461 5253  
E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@speedy.com.pe

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**UBICACIÓN RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS  
**MUESTRA** Suelo 100%  
**FECHA** 24.AGO.2020

### PROCTOR STANDARD ASTM-D-698-A

#### CURVA DENSIDAD - HUMEDAD



M.D.S. = 1.407 gr/cm<sup>3</sup>  
O.C.H. = 27.95 %

EyP de Ingeniería S.R.L.

César Alca Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 26: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 1



**DE INGENIERIA S.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 5253  
 E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@speedy.com.pe

### CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 100%  
**FECHA** 03.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.332 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	28.07 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	36.24 %
Carga	1.0 kg/cm <sup>2</sup>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	14.0	0.140	<b>0.23</b>	15.4	4.87	0.1367	<b>0.137</b>
2	34.8	0.348	<b>0.58</b>	22.5	7.73	0.2168	<b>0.217</b>
4	79.8	0.798	<b>1.34</b>	33.9	12.31	0.3453	<b>0.345</b>
6	128.0	1.280	<b>2.14</b>	42.8	15.88	0.4457	<b>0.446</b>
8	176.9	1.769	<b>2.96</b>	50.2	18.86	0.5291	<b>0.529</b>
10	227.0	2.270	<b>3.80</b>	55.3	20.90	0.5865	<b>0.587</b>
12	278.0	2.780	<b>4.66</b>	58.2	22.07	0.6192	<b>0.619</b>
14	332.0	3.320	<b>5.56</b>	56.5	21.39	0.6000	<b>0.600</b>
15	389.1	3.891	<b>6.52</b>	51.3	19.30	0.5414	<b>0.541</b>
18	446.1	4.461	<b>7.47</b>	48.5	18.17	0.5099	<b>0.510</b>
21	529.1	5.291	<b>8.86</b>	46.3	17.29	0.4851	<b>0.485</b>
24	619.0	6.190	<b>10.37</b>	45.4	16.93	0.4750	<b>0.475</b>
27	691.0	6.910	<b>11.57</b>	45.1	16.81	0.4716	<b>0.472</b>
30	772.6	7.726	<b>12.94</b>	44.8	16.69	0.4682	<b>0.468</b>
35	908.0	9.080	<b>15.21</b>	45.0	16.77	0.4705	<b>0.470</b>
40	1041.8	10.418	<b>17.45</b>	45.6	17.01	0.4772	<b>0.477</b>
45	1178.0	11.780	<b>19.73</b>	46.0	17.17	0.4817	<b>0.482</b>

E y P de Ingeniería S.R.L.

  
**César A. Llacza Ghezzi**  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 27: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 2



**DE INGENIERIA S.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461 5253  
 E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@speedy.com.pe

### CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 100%  
**FECHA** 03.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.338 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	27.94 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	35.57 %
Carga	<b>2.0 kg/cm<sup>2</sup></b>		
Aprox. Dial Deform	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	9.0	0.090	<b>0.15</b>	28.9	10.30	0.2890	<b>0.144</b>
2	41.1	0.411	<b>0.69</b>	40.4	14.92	0.4186	<b>0.209</b>
4	71.0	0.710	<b>1.19</b>	51.8	19.50	0.5471	<b>0.274</b>
6	117.0	1.170	<b>1.96</b>	64.6	24.64	0.6913	<b>0.346</b>
8	162.0	1.620	<b>2.71</b>	75.3	28.93	0.8117	<b>0.406</b>
10	220.5	2.205	<b>3.69</b>	85.4	32.98	0.9254	<b>0.463</b>
12	264.0	2.640	<b>4.42</b>	91.1	35.27	0.9895	<b>0.495</b>
14	307.9	3.079	<b>5.16</b>	94.1	36.47	1.0232	<b>0.512</b>
15	364.0	3.640	<b>6.10</b>	89.2	34.50	0.9681	<b>0.484</b>
18	419.8	4.198	<b>7.03</b>	86.2	33.30	0.9344	<b>0.467</b>
21	502.8	5.028	<b>8.42</b>	81.8	31.54	0.8849	<b>0.442</b>
24	584.1	5.841	<b>9.78</b>	79.9	30.78	0.8635	<b>0.432</b>
27	672.9	6.729	<b>11.27</b>	80.1	30.86	0.8657	<b>0.433</b>
30	761.1	7.611	<b>12.75</b>	81.0	31.22	0.8759	<b>0.438</b>
35	878.1	8.781	<b>14.71</b>	80.8	31.14	0.8736	<b>0.437</b>
40	1034.8	10.348	<b>17.33</b>	80.4	30.98	0.8691	<b>0.435</b>
45	1168.8	11.688	<b>19.58</b>	80.6	31.06	0.8714	<b>0.436</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
 César A. Vilca Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 28: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 3

### CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 100%  
**FECHA** 03.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.341 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	27.84 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	35.21 %
Carga	<b>4.0</b> kg/cm <sup>2</sup>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	5.1	0.051	<b>0.09</b>	40.3	14.88	0.4175	<b>0.104</b>
2	19.0	0.190	<b>0.32</b>	60.9	23.15	0.6496	<b>0.162</b>
4	56.0	0.560	<b>0.94</b>	90.2	34.91	0.9794	<b>0.245</b>
6	98.8	0.988	<b>1.65</b>	111.1	43.28	1.2144	<b>0.304</b>
8	144.8	1.448	<b>2.43</b>	131.4	51.41	1.4424	<b>0.361</b>
10	187.1	1.871	<b>3.13</b>	146.8	57.57	1.6153	<b>0.404</b>
12	233.7	2.337	<b>3.91</b>	159.0	62.45	1.7522	<b>0.438</b>
14	282.1	2.821	<b>4.73</b>	166.0	65.25	1.8307	<b>0.458</b>
15	335.8	3.358	<b>5.62</b>	169.8	66.77	1.8733	<b>0.468</b>
18	386.9	3.869	<b>6.48</b>	167.4	65.81	1.8464	<b>0.462</b>
21	470.1	4.701	<b>7.87</b>	156.6	61.49	1.7253	<b>0.431</b>
24	550.1	5.501	<b>9.21</b>	154.2	60.53	1.6984	<b>0.425</b>
27	631.0	6.310	<b>10.57</b>	153.9	60.41	1.6950	<b>0.424</b>
30	712.0	7.120	<b>11.93</b>	153.0	60.05	1.6849	<b>0.421</b>
35	845.1	8.451	<b>14.16</b>	151.1	59.29	1.6636	<b>0.416</b>
40	980.9	9.809	<b>16.43</b>	150.8	59.17	1.6602	<b>0.415</b>
45	1115.1	11.151	<b>18.68</b>	151.6	59.49	1.6692	<b>0.417</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
 César A. Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 8314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 29: Resultados del ensayo de corte directo del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L., página n° 4**



**DE INGENIERIA S.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 LIMA 17 - PERU ☎ 461 3253  
 E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@speedy.com.pe

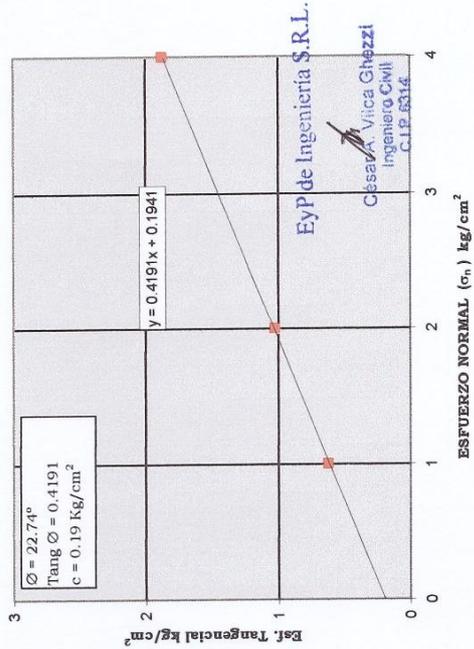
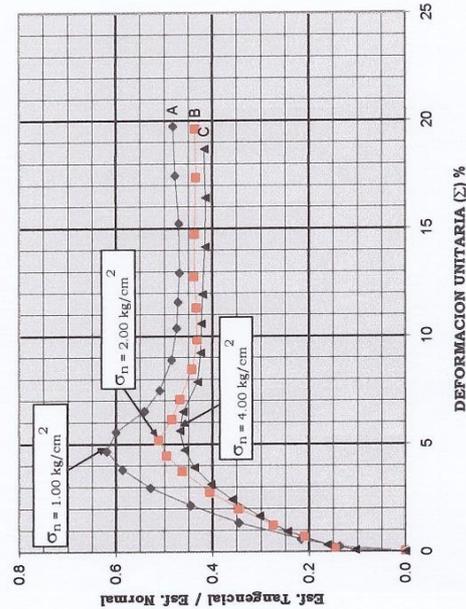
**CORTE DIRECTO  
 ASTM-D-3080**

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones

**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS

**MUESTRA** Suelo 100%  
**FECHA** 03.SET.2020

Especimen N°	l cm	h cm	% Humedad		Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Esfuerzo Normal Kg/cm <sup>2</sup>
			Inicial	Final		
A	5.97	2.00	28.07	36.24	1.332	1.0
B	5.97	2.00	27.94	35.57	1.338	2.0
C	5.97	2.00	27.84	35.21	1.341	4.0



Eyp de Ingeniería S.R.L.

César A. Vilca Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 65314

**Anexo 30: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua del suelo 100% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

**PROYECTO** : Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN** : Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres,  
**CALICATA** : Lima,  
**UBICACIÓN** : Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**RELAVE** :  
**CLIENTE** : **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** : Suelo 100%  
**FECHA** : 24.AGO.2020

**PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS**  
**NTP 339.131 (ASTM-D-854)**

**P.e.**

2.617

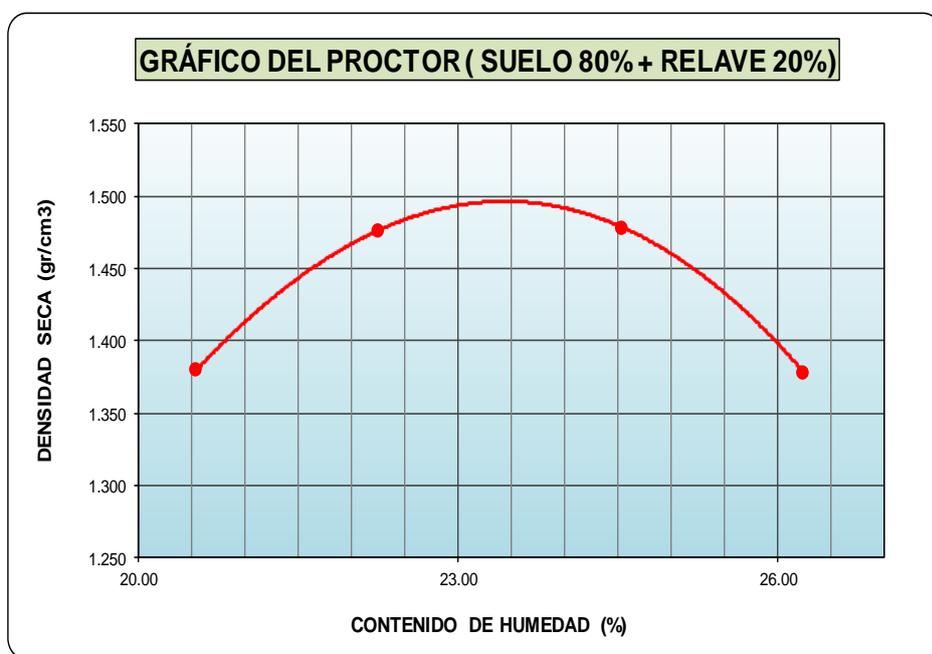
Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
César A. Vilca Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

## Anexo 31: Datos resultantes del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 80% + relave 20%

				
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253				
<b>PROCTOR ESTANDAR ( ASTM D-698 / AASHTO T-180 / MTC E-116 )</b>				
PROYECTO : INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DEL SUELO PARA LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES				
CLIENTE : LLACZA CARDENAS, HANS ALEXANDER			FECHA : 03/09/2020	
PROFUNDIDAD : 2.00 m				
CALICATA : C-1			MUESTRA : Suelo 80%+ Relave 20%	
<b>DENSIDAD HUMEDA</b>				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) : <b>944</b>		PESO DEL MOLDE (gr.) : <b>4015</b>		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	5585	5718	5753	5657
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1570	1703	1738	1642
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.663	1.804	1.841	1.739
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
RECIPIENTE Nro.	39	2	17	47
PESO SUELO HUMEDO + TARA	178.16	175.10	169.76	195.49
PESO SUELOS SECO + TARA	152.33	148.76	142.09	160.93
PESO DE LA TARA	26.63	30.39	29.36	29.26
PESO DE AGUA	25.83	26.34	27.67	34.56
PESO DE SUELO SECO	125.70	118.37	112.73	131.67
CONTENIDO DE AGUA	<b>20.55</b>	<b>22.25</b>	<b>24.55</b>	<b>26.25</b>
PESO VOLUMETRICO SECO	1.380	1.476	1.478	1.378
DENSIDAD MAXIMA SECA: <b>1.495 gr/cm3</b>			HUMEDAD OPTIMA: <b>23.42%</b>	



Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 32: Resultados del ensayo de proctor estándar de la muestra:  
suelo 80% + relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

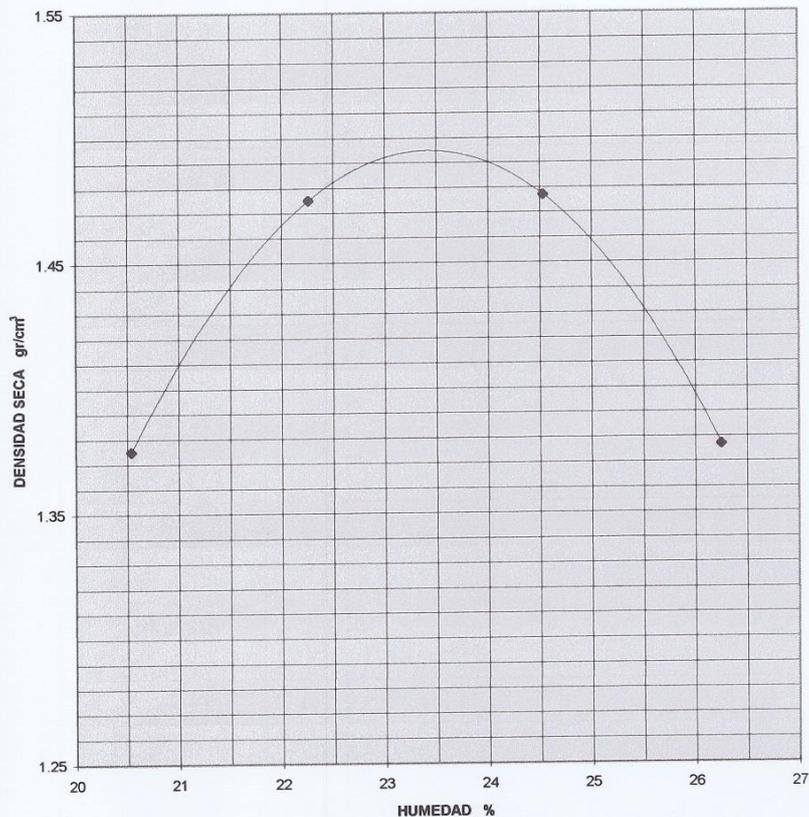


**E y P DE INGENIERÍA S.R.L.**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461 5253  
E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@speedy.com.pe

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**UBICACIÓN RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 80% + Relave Minero 20%  
**FECHA** 03.SET.2020

**PROCTOR STANDARD  
ASTM-D-698-A**

**CURVA DENSIDAD - HUMEDAD**



M.D.S. = 1.495 gr/cm<sup>3</sup>  
O.C.H. = 23.42 %

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
César Vilca Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 33: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 80%+relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 1**

**CORTE DIRECTO  
 ASTM-D-3080**

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima.  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 80% + Relave Minero 20%  
**FECHA** 10.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.415 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	23.54 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	32.97 %
Carga	1.0 kg/cm <sup>2</sup>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	19.8	0.198	<b>0.33</b>	7.2	1.57	0.0442	<b>0.044</b>
2	141.2	1.412	<b>2.37</b>	21.5	7.32	0.2055	<b>0.206</b>
4	192.2	1.922	<b>3.22</b>	27.3	9.66	0.2709	<b>0.271</b>
6	242.2	2.422	<b>4.06</b>	32.1	11.59	0.3251	<b>0.325</b>
8	292.9	2.929	<b>4.91</b>	37.8	13.88	0.3893	<b>0.389</b>
10	344.0	3.440	<b>5.76</b>	42.0	15.56	0.4367	<b>0.437</b>
12	396.8	3.968	<b>6.65</b>	45.4	16.93	0.4750	<b>0.475</b>
14	448.5	4.485	<b>7.51</b>	47.3	17.69	0.4964	<b>0.496</b>
15	503.0	5.030	<b>8.43</b>	48.9	18.33	0.5144	<b>0.514</b>
18	560.2	5.602	<b>9.38</b>	49.1	18.41	0.5167	<b>0.517</b>
21	639.5	6.395	<b>10.71</b>	48.3	18.09	0.5076	<b>0.508</b>
24	721.0	7.210	<b>12.08</b>	47.5	17.77	0.4986	<b>0.499</b>
27	799.0	7.990	<b>13.38</b>	46.5	17.37	0.4874	<b>0.487</b>
30	879.8	8.798	<b>14.74</b>	46.0	17.17	0.4817	<b>0.482</b>
35	1013.0	10.130	<b>16.97</b>	45.1	16.81	0.4716	<b>0.472</b>
40	1148.1	11.481	<b>19.23</b>	45.0	16.77	0.4705	<b>0.470</b>
45	1282.1	12.821	<b>21.48</b>	45.0	16.77	0.4705	<b>0.470</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Vilca Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314



**Anexo 35: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 80%+relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 3**



**DE INGENIERIA S.R.L.**  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 5253  
E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@speedy.com.pe

**CORTE DIRECTO  
ASTM-D-3080**

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 80% + Relave Minero 20%  
**FECHA** 10.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.426 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	23.31 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	31.76 %
Carga	<b>4.0</b> kg/cm <sup>2</sup>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	7.8	0.078	<b>0.13</b>	27.5	9.74	0.2732	<b>0.068</b>
2	125.1	1.251	<b>2.10</b>	76.8	29.53	0.8286	<b>0.207</b>
4	166.8	1.668	<b>2.79</b>	94.7	36.71	1.0300	<b>0.257</b>
6	212.9	2.129	<b>3.57</b>	112.7	43.92	1.2323	<b>0.308</b>
8	259.8	2.598	<b>4.35</b>	128.1	50.09	1.4054	<b>0.351</b>
10	304.0	3.040	<b>5.09</b>	136.3	53.37	1.4975	<b>0.374</b>
12	351.8	3.518	<b>5.89</b>	146.9	57.61	1.6164	<b>0.404</b>
14	404.0	4.040	<b>6.77</b>	155.0	60.85	1.7073	<b>0.427</b>
15	451.1	4.511	<b>7.56</b>	161.6	63.49	1.7814	<b>0.445</b>
18	505.8	5.058	<b>8.47</b>	167.0	65.65	1.8419	<b>0.460</b>
21	584.0	5.840	<b>9.78</b>	168.7	66.33	1.8610	<b>0.465</b>
24	658.8	6.588	<b>11.04</b>	170.5	67.05	1.8812	<b>0.470</b>
27	742.0	7.420	<b>12.43</b>	168.9	66.41	1.8633	<b>0.466</b>
30	820.9	8.209	<b>13.75</b>	167.7	65.93	1.8498	<b>0.462</b>
35	982.0	9.820	<b>16.45</b>	166.8	65.57	1.8397	<b>0.460</b>
40	1098.6	10.986	<b>18.40</b>	164.4	64.61	1.8128	<b>0.453</b>
45	1237.6	12.376	<b>20.73</b>	162.0	63.65	1.7859	<b>0.446</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
César A. Vilca Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 36: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 80%+relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 4**

**EyP**  
**DE INGENIERIA S.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 LIMA 17 - PERU ☎ 461 5253  
 E-mail: eypeingenieria@yahoo.com / eypeingenieria@speedy.com.pe

**CORTE DIRECTO**  
**ASTM-D-3080**

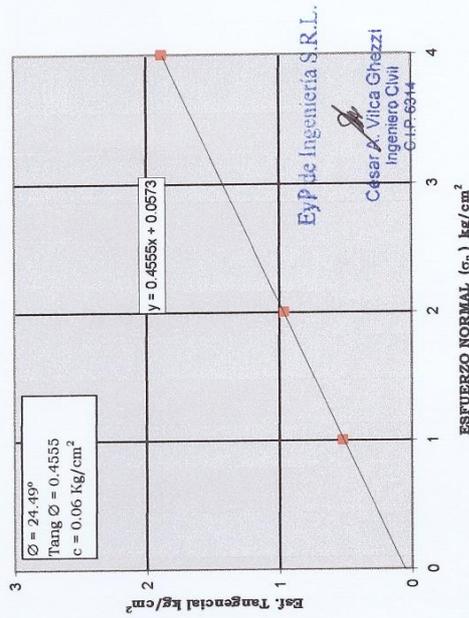
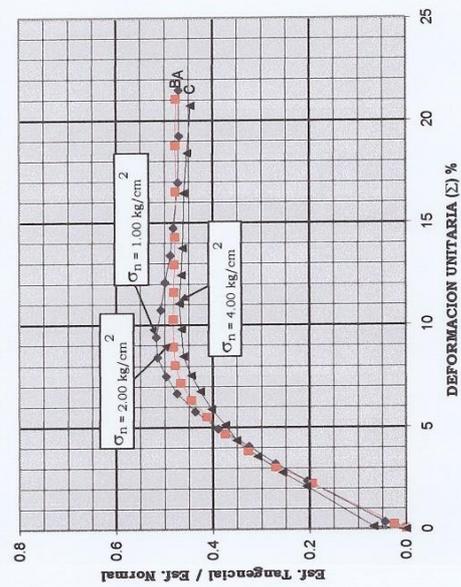
**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones

**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS

**MUESTRA** Suelo 80% + Relave Minero 20%

**FECHA** 10.SET.2020

Especimen N°	l cm	h cm	% Humedad		Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Esfuerzo Normal Kg/cm <sup>2</sup>
			Inicial	Final		
A	5.97	2.00	23.54	32.97	1.415	1.0
B	5.97	2.00	23.41	32.24	1.419	2.0
C	5.97	2.00	23.31	31.76	1.426	4.0



Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 37: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua de la muestra: suelo 80% + relave 20% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

**PROYECTO** : Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN** : Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**CALICATA** :  
**UBICACIÓN** : Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**RELAVE** :  
**CLIENTE** : **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** : Suelo 80% + Relave Minero 20%  
**FECHA** : 03.SET.2020

**PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS**  
**NTP 339.131 (ASTM-D-854)**

**P.e.**

2.685

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

EyP de Ingeniería S.R.L.

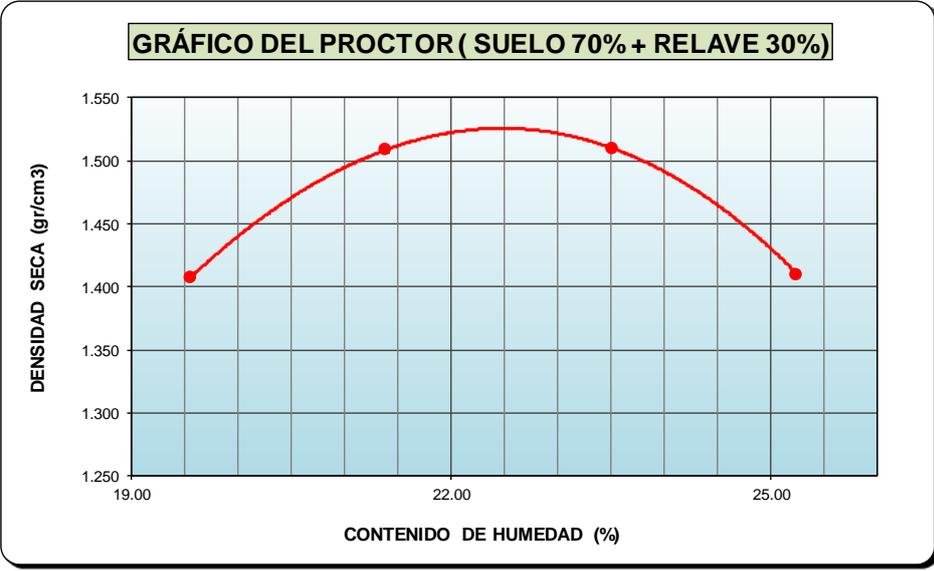
  
César A. Gilca Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

## Anexo 38: Datos resultantes del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 70% + relave 30%

 <b>DE INGENIERIA S.R.L.</b> <small>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS</small> <small>MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253</small>				
PROCTOR ESTANDAR ( ASTM D-698 / AASHTO T-180 / MTC E-116 )				
<b>PROYECTO</b> : INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DEL SUELO PARA LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES <b>CLIENTE</b> : LLACZA CARDENAS, HANS ALEXANDER <span style="float: right;"><b>FECHA</b> : 03/09/2020</span> <b>PROFUNDIDAD</b> : 2.00 m <b>CALICATA</b> : C-1 <span style="float: right;"><b>MUESTRA</b> : Suelo 70%+ Relave 30%</span>				
DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) : <b>944</b>	PESO DEL MOLDE (gr.) : <b>4015</b>			
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	5604	5744	5776	5682
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1589	1729	1761	1667
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.683	1.832	1.865	1.766
CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE Nro.	39	2	17	47
PESO SUELO HUMEDO + TARA	178.16	175.10	169.76	195.49
PESO SUELOS SECO + TARA	153.37	149.60	143.03	161.98
PESO DE LA TARA	26.63	30.39	29.36	29.26
PESO DE AGUA	24.79	25.50	26.73	33.51
PESO DE SUELO SECO	126.74	119.21	113.67	132.72
CONTENIDO DE AGUA	19.56	21.39	23.52	25.25
PESO VOLUMETRICO SECO	1.408	1.509	1.510	1.410
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b> 1.528 gr/cm3		<b>HUMEDAD OPTIMA:</b> 22.42%		

**GRÁFICO DEL PROCTOR ( SUELO 70% + RELAVE 30%)**



Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L.,2020

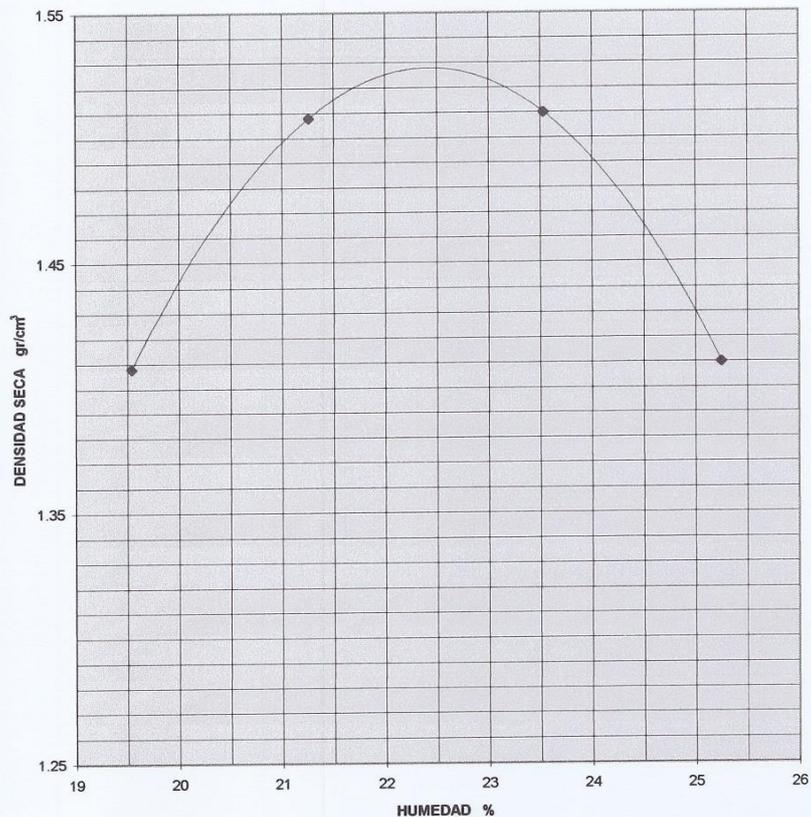
**Anexo 39: Resultados del ensayo de proctor estándar de la muestra:  
suelo 70% + relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

**EyP** DE INGENIERIA S.R.L.  
ESTUDIOS Y PROYECTOS LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461 5253  
E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@speedy.com.pe

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**UBICACIÓN RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS  
**MUESTRA** Suelo 70% + Relave Minero 30%  
**FECHA** 03.SET.2020

**PROCTOR STANDARD  
ASTM-D-698-A**

**CURVA DENSIDAD - HUMEDAD**



M.D.S. = 1.528 gr/cm<sup>3</sup>  
O.C.H. = 22.42 %

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Vica Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 40: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 1

### CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS  
**MUESTRA** Suelo 70% + Relave Minero 30%  
**FECHA** 15.SET.2020

Lado 5.97 cm  
 Altura 2.00 cm  
 Area 35.641 cm<sup>2</sup>  
 Carga 1.0 kg/cm<sup>2</sup>  
 Aprox. Dial Defor 0.01 mm.

Densidad Seca 1.448 gr/cm<sup>3</sup>  
 Humedad Inicial 22.50 %  
 Humedad Final 31.47 %

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	10.2	0.102	<b>0.17</b>	11.2	3.18	0.0893	<b>0.089</b>
2	124.8	1.248	<b>2.09</b>	22.2	7.61	0.2134	<b>0.213</b>
4	186.8	1.868	<b>3.13</b>	29.0	10.34	0.2901	<b>0.290</b>
6	234.0	2.340	<b>3.92</b>	34.1	12.39	0.3476	<b>0.348</b>
8	287.0	2.870	<b>4.81</b>	40.0	14.76	0.4141	<b>0.414</b>
10	336.0	3.360	<b>5.63</b>	43.9	16.33	0.4581	<b>0.458</b>
12	387.0	3.870	<b>6.48</b>	47.3	17.69	0.4964	<b>0.496</b>
14	439.2	4.392	<b>7.36</b>	49.4	18.53	0.5200	<b>0.520</b>
15	491.9	4.919	<b>8.24</b>	51.1	19.22	0.5392	<b>0.539</b>
18	547.5	5.475	<b>9.17</b>	51.4	19.34	0.5426	<b>0.543</b>
21	626.0	6.260	<b>10.49</b>	51.0	19.18	0.5381	<b>0.538</b>
24	706.0	7.060	<b>11.83</b>	50.8	19.10	0.5358	<b>0.536</b>
27	787.0	7.870	<b>13.18</b>	50.5	18.98	0.5324	<b>0.532</b>
30	862.5	8.625	<b>14.45</b>	50.3	18.90	0.5302	<b>0.530</b>
35	1000.0	10.000	<b>16.75</b>	50.4	18.94	0.5313	<b>0.531</b>
40	1135.1	11.351	<b>19.01</b>	50.4	18.94	0.5313	<b>0.531</b>
45	1269.1	12.691	<b>21.26</b>	50.3	18.90	0.5302	<b>0.530</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Vilca Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 41: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 2

### CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC. CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC. RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS  
**MUESTRA** Suelo 70% + Relave Minero 30%  
**FECHA** 15.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.451 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	22.43 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	31.17 %
Carga	<b>2.0</b> kg/cm <sup>2</sup>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	11.0	0.110	<b>0.18</b>	26.0	9.13	0.2563	<b>0.128</b>
2	32.1	0.321	<b>0.54</b>	36.9	13.51	0.3792	<b>0.190</b>
4	77.8	0.778	<b>1.30</b>	50.2	18.86	0.5291	<b>0.265</b>
6	126.9	1.269	<b>2.13</b>	61.7	23.47	0.6586	<b>0.329</b>
8	174.8	1.748	<b>2.93</b>	71.4	27.37	0.7678	<b>0.384</b>
10	221.8	2.218	<b>3.72</b>	79.5	30.61	0.8590	<b>0.429</b>
12	271.0	2.710	<b>4.54</b>	86.1	33.26	0.9332	<b>0.467</b>
14	322.9	3.229	<b>5.41</b>	91.9	35.59	0.9985	<b>0.499</b>
15	373.1	3.731	<b>6.25</b>	95.1	36.87	1.0345	<b>0.517</b>
18	426.0	4.260	<b>7.14</b>	97.0	37.63	1.0558	<b>0.528</b>
21	505.8	5.058	<b>8.47</b>	97.6	37.87	1.0626	<b>0.531</b>
24	595.3	5.953	<b>9.97</b>	95.1	36.87	1.0345	<b>0.517</b>
27	685.2	6.852	<b>11.48</b>	92.5	35.83	1.0052	<b>0.503</b>
30	785.8	7.858	<b>13.16</b>	91.3	35.35	0.9917	<b>0.496</b>
35	937.7	9.377	<b>15.71</b>	89.7	34.71	0.9737	<b>0.487</b>
40	1091.9	10.919	<b>18.29</b>	88.9	34.38	0.9647	<b>0.482</b>
45	1256.9	12.569	<b>21.05</b>	88.1	34.06	0.9557	<b>0.478</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Mica Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 42: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 3**

**CORTE DIRECTO  
 ASTM-D-3080**

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 70% + Relave Minero 30%  
**FECHA** 15.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.457 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	22.33 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	30.73 %
Carga	<b>4.0</b> kg/cm <sup>2</sup>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	7.8	0.078	<b>0.13</b>	37.4	13.71	0.3848	<b>0.096</b>
2	125.1	1.251	<b>2.10</b>	93.4	36.19	1.0154	<b>0.254</b>
4	166.8	1.668	<b>2.79</b>	110.8	43.16	1.2110	<b>0.303</b>
6	212.9	2.129	<b>3.57</b>	130.2	50.93	1.4290	<b>0.357</b>
8	259.8	2.598	<b>4.35</b>	146.1	57.29	1.6075	<b>0.402</b>
10	304.0	3.040	<b>5.09</b>	155.8	61.17	1.7163	<b>0.429</b>
12	351.8	3.518	<b>5.89</b>	166.3	65.37	1.8341	<b>0.459</b>
14	404.0	4.040	<b>6.77</b>	174.1	68.49	1.9216	<b>0.480</b>
15	451.1	4.511	<b>7.56</b>	180.2	70.92	1.9899	<b>0.497</b>
18	505.8	5.058	<b>8.47</b>	186.1	73.28	2.0561	<b>0.514</b>
21	584.0	5.840	<b>9.78</b>	185.9	73.20	2.0538	<b>0.513</b>
24	668.8	6.688	<b>11.20</b>	184.7	72.72	2.0404	<b>0.510</b>
27	761.6	7.616	<b>12.76</b>	182.9	72.00	2.0202	<b>0.505</b>
30	840.9	8.409	<b>14.09</b>	181.7	71.52	2.0067	<b>0.502</b>
35	1002.0	10.020	<b>16.78</b>	180.7	71.12	1.9955	<b>0.499</b>
40	1118.6	11.186	<b>18.74</b>	180.1	70.88	1.9888	<b>0.497</b>
45	1257.6	12.576	<b>21.07</b>	179.6	70.68	1.9832	<b>0.496</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

*César A. Mica Ghezzi*  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 43: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 70%+relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 4**

**EyP**  
**DE INGENIERIA S.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 LIMA 17 - PERU ☎ 461 5263  
 E-mail: eypeingenieria@shho.com / eypeingenieria@speedy.com.pe

**CORTE DIRECTO**  
**ASTM-D-3080**

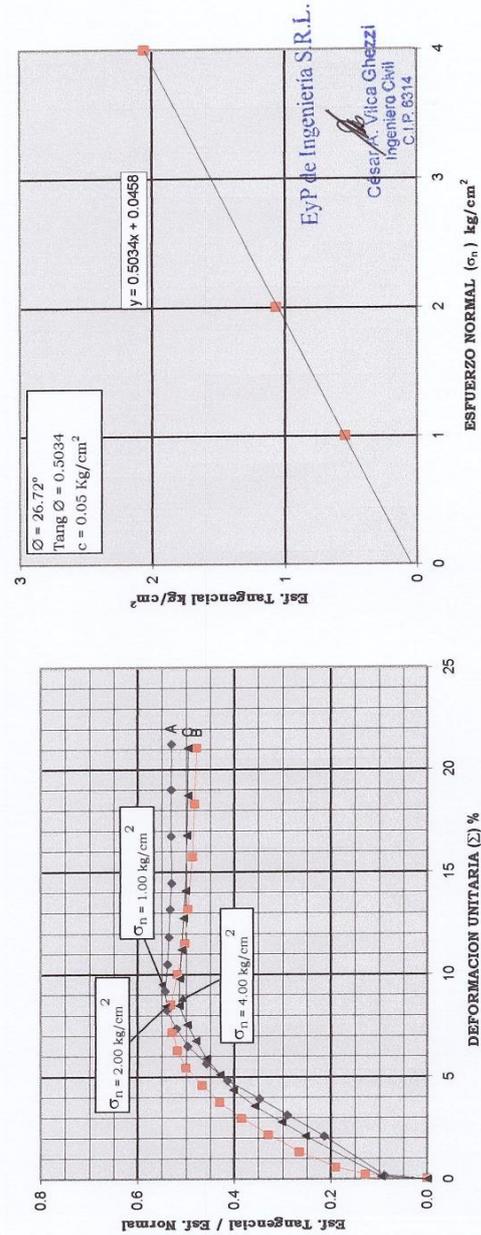
**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones

**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS

**MUESTRA** Suelo 70% + Relave Minero 30%

**FECHA** 15.SET.2020

Especimen N°	l cm	h cm	% Humedad		Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Esfuerzo Normal Kg/cm <sup>2</sup>
			Inicial	Final		
A	5.97	2.00	22.50	31.47	1.448	1.0
B	5.97	2.00	22.43	31.17	1.451	2.0
C	5.97	2.00	22.33	30.73	1.457	4.0



Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 44: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua de la muestra: suelo 70% + relave 30% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

**PROYECTO** : Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN** : Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**CALICATA** : Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**RELAVE** :  
**CLIENTE** : **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** : Suelo 70% + Relave Minero 30%  
**FECHA** : 03.SET.2020

**PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS**  
**NTP 339.131 (ASTM-D-854)**

**P.e.**

2.702

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Mica Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

## Anexo 45: Datos resultantes del ensayo de proctor estándar de la muestra: suelo 50% + relave 50%

PROCTOR ESTANDAR ( ASTM D-698 / AASHTO T-180 / MTC E-116 )				
<b>PROYECTO</b> : INFLUENCIA DE RESIDUOS MINEROS (RELAVE) EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DEL SUELO PARA LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES <b>CLIENTE</b> : LLACZA CARDENAS, HANS ALEXANDER <span style="float: right;"><b>FECHA</b> : 07/09/2020</span> <b>PROFUNDIDAD</b> : 2.00 m <span style="float: right;"><b>MUESTRA</b> : Suelo 50%+ Relave 50%</span> <b>CALICATA</b> : C-1				
DENSIDAD HUMEDA				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) : 944	PESO DEL MOLDE (gr.) : 4015			
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	5577	5715	5755	5662
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1562	1700	1740	1647
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.655	1.801	1.843	1.745
CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE Nro.	39	2	17	47
PESO SUELO HUMEDO + TARA	178.16	175.10	169.76	195.49
PESO SUELOS SECO + TARA	156.02	152.11	145.30	164.50
PESO DE LA TARA	26.63	30.39	29.36	29.26
PESO DE AGUA	22.14	22.99	24.46	30.99
PESO DE SUELO SECO	129.39	121.72	115.94	135.24
CONTENIDO DE AGUA	17.11	18.89	21.10	22.91
PESO VOLUMETRICO SECO	1.413	1.515	1.522	1.419
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b> 1.531 gr/cm3		<b>HUMEDAD OPTIMA:</b> 19.98%		

**GRÁFICO DEL PROCTOR ( SUELO 50% + RELAVE 50%)**

Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca (gr/cm3)
17.11	1.413
18.89	1.515
21.10	1.522
22.91	1.419

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 46: Resultados del ensayo de proctor estándar de la muestra:  
suelo 50% + relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

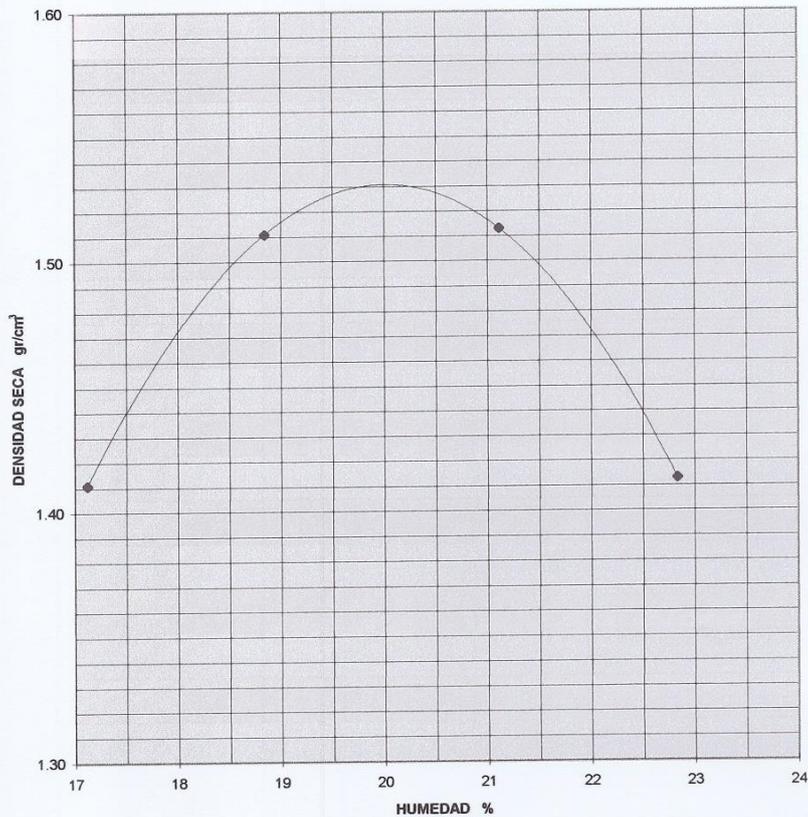


**DE INGENIERIA S.R.L.**  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461 5253  
E-mail: eypeingenieria@yahoo.com / eypeingenieria@speedy.com.pe

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**UBICACIÓN RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 50% + Relave Minero 50%  
**FECHA** 07.SET.2020

**PROCTOR STANDARD  
ASTM-D-698-A**

**CURVA DENSIDAD - HUMEDAD**



M.D.S. = 1.531 gr/cm<sup>3</sup>  
O.C.H. = 19.98 %

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Vilca Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 47: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 1

### CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 50% + Relave Minero 50%  
**FECHA** 18.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.450 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	20.09 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	31.93 %
Carga	<b>1.0 kg/cm<sup>2</sup></b>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	14.2	0.142	<b>0.24</b>	19.8	6.64	0.1863	<b>0.186</b>
2	37.8	0.378	<b>0.63</b>	25.2	8.81	0.2472	<b>0.247</b>
4	86.1	0.861	<b>1.44</b>	33.0	11.95	0.3352	<b>0.335</b>
6	135.9	1.359	<b>2.28</b>	39.4	14.52	0.4073	<b>0.407</b>
8	187.0	1.870	<b>3.13</b>	44.0	16.37	0.4592	<b>0.459</b>
10	245.1	2.451	<b>4.11</b>	48.1	18.01	0.5054	<b>0.505</b>
12	289.8	2.898	<b>4.85</b>	50.9	19.14	0.5369	<b>0.537</b>
14	342.0	3.420	<b>5.73</b>	53.8	20.30	0.5696	<b>0.570</b>
15	396.2	3.962	<b>6.64</b>	54.9	20.74	0.5820	<b>0.582</b>
18	451.0	4.510	<b>7.55</b>	56.2	21.27	0.5966	<b>0.597</b>
21	530.0	5.300	<b>8.88</b>	55.4	20.94	0.5876	<b>0.588</b>
24	597.8	5.978	<b>10.01</b>	54.7	20.66	0.5798	<b>0.580</b>
27	692.9	6.929	<b>11.61</b>	54.2	20.46	0.5741	<b>0.574</b>
30	778.0	7.780	<b>13.03</b>	53.2	20.06	0.5629	<b>0.563</b>
35	904.1	9.041	<b>15.14</b>	53.2	20.06	0.5629	<b>0.563</b>
40	1040.8	10.408	<b>17.43</b>	53.1	20.02	0.5617	<b>0.562</b>
45	1173.8	11.738	<b>19.66</b>	52.8	19.90	0.5583	<b>0.558</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
 César A. Mica Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 48: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 2**

**CORTE DIRECTO  
 ASTM-D-3080**

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC.CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC.RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS  
**MUESTRA** Suelo 50% + Relave Minero 50%  
**FECHA** 18.SET.2020

Lado 5.97 cm Densidad Seca 1.452 gr/cm<sup>3</sup>  
 Altura 2.00 cm Humedad Inicial 19.98 %  
 Area 35.641 cm<sup>2</sup> Humedad Final 31.56 %  
 Carga 2.0 kg/cm<sup>2</sup>  
 Aprox. Dial Defor 0.01 mm.

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	11.8	0.118	<b>0.20</b>	32.8	11.87	0.3329	<b>0.166</b>
2	31.2	0.312	<b>0.52</b>	42.3	15.68	0.4400	<b>0.220</b>
4	78.1	0.781	<b>1.31</b>	55.2	20.86	0.5854	<b>0.293</b>
6	124.8	1.248	<b>2.09</b>	65.1	24.84	0.6969	<b>0.348</b>
8	173.2	1.732	<b>2.90</b>	74.9	28.77	0.8072	<b>0.404</b>
10	222.0	2.220	<b>3.72</b>	82.7	31.90	0.8950	<b>0.447</b>
12	274.0	2.740	<b>4.59</b>	89.0	34.42	0.9659	<b>0.483</b>
14	324.0	3.240	<b>5.43</b>	95.1	36.87	1.0345	<b>0.517</b>
15	375.2	3.752	<b>6.28</b>	98.7	38.31	1.0750	<b>0.537</b>
18	429.0	4.290	<b>7.19</b>	102.2	39.72	1.1143	<b>0.557</b>
21	507.2	5.072	<b>8.50</b>	105.2	40.92	1.1480	<b>0.574</b>
24	588.1	5.881	<b>9.85</b>	105.7	41.12	1.1537	<b>0.577</b>
27	671.0	6.710	<b>11.24</b>	103.4	40.20	1.1278	<b>0.564</b>
30	761.8	7.618	<b>12.76</b>	100.7	39.11	1.0975	<b>0.549</b>
35	896.0	8.960	<b>15.01</b>	100.1	38.87	1.0907	<b>0.545</b>
40	1028.9	10.289	<b>17.23</b>	99.1	38.47	1.0795	<b>0.540</b>
45	1162.8	11.628	<b>19.48</b>	98.5	38.23	1.0727	<b>0.536</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
 César A. Vilca Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

## Anexo 49: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 2

### CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBIC. CALICATA** Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima  
**UBIC. RELAVE** Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**CLIENTE** **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** Suelo 50% + Relave Minero 50%  
**FECHA** 18.SET.2020

Lado	5.97 cm	Densidad Seca	1.460 gr/cm <sup>3</sup>
Altura	2.00 cm	Humedad Inicial	19.87 %
Area	35.641 cm <sup>2</sup>	Humedad Final	30.88 %
Carga	<b>4.0</b> kg/cm <sup>2</sup>		
Aprox. Dial Defor	0.01 mm.		

Tiempo min.	Deformación Unitaria			Esfuerzo			
	Dial	mm	%	Dial	kg	kg/cm <sup>2</sup>	$\tau/\sigma$
1	15.9	0.159	<b>0.27</b>	51.2	19.26	0.5403	<b>0.135</b>
2	37.1	0.371	<b>0.62</b>	68.5	26.20	0.7352	<b>0.184</b>
4	81.8	0.818	<b>1.37</b>	95.5	37.03	1.0390	<b>0.260</b>
6	126.0	1.260	<b>2.11</b>	121.1	47.29	1.3267	<b>0.332</b>
8	173.5	1.735	<b>2.91</b>	144.6	56.69	1.5906	<b>0.398</b>
10	224.1	2.241	<b>3.75</b>	167.5	65.85	1.8476	<b>0.462</b>
12	272.1	2.721	<b>4.56</b>	183.9	72.40	2.0314	<b>0.508</b>
14	321.1	3.211	<b>5.38</b>	196.5	77.43	2.1726	<b>0.543</b>
15	369.6	3.696	<b>6.19</b>	203.4	80.19	2.2498	<b>0.562</b>
18	422.9	4.229	<b>7.08</b>	204.5	80.63	2.2622	<b>0.566</b>
21	505.3	5.053	<b>8.46</b>	201.4	79.39	2.2275	<b>0.557</b>
24	588.1	5.881	<b>9.85</b>	200.8	79.15	2.2207	<b>0.555</b>
27	669.5	6.695	<b>11.21</b>	198.3	78.15	2.1927	<b>0.548</b>
30	750.6	7.506	<b>12.57</b>	195.9	77.19	2.1659	<b>0.541</b>
35	885.5	8.855	<b>14.83</b>	191.3	75.36	2.1143	<b>0.529</b>
40	1024.5	10.245	<b>17.16</b>	188.4	74.20	2.0818	<b>0.520</b>
45	1163.1	11.631	<b>19.48</b>	186.8	73.56	2.0639	<b>0.516</b>

EyP de Ingeniería S.R.L.

  
 César A. Alca Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

**Anexo 50: Resultados del ensayo de corte directo de la muestra: suelo 50%+relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L. página n° 3**



**E y P de INGENIERIA S.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461 5253  
 E-mail: eypdeingenieria@yahoo.com / eypdeingenieria@spady.com.pe

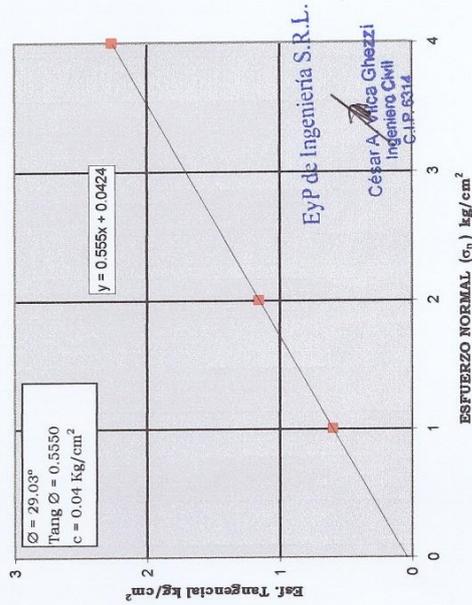
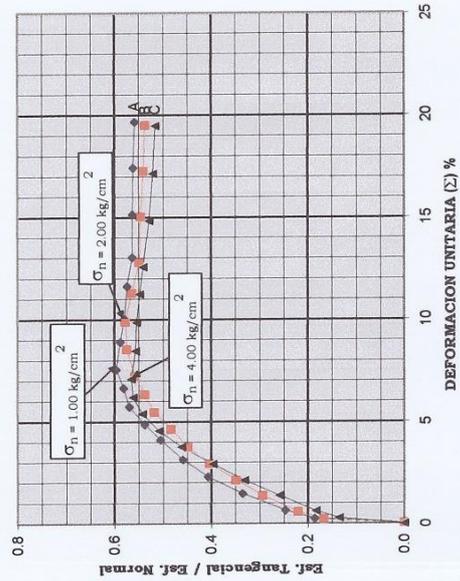
**CORTE DIRECTO**  
**ASTM-D-3080**

**PROYECTO** Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones

**CLIENTE** HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS

**MUESTRA** Suelo 50% + Relave Minero 50%  
**FECHA** 18.SET.2020

Especimen No	l cm	h cm	% Humedad		Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Esfuerzo Normal Kg/cm <sup>2</sup>
			Inicial	Final		
A	5.97	2.00	20.09	31.93	1.450	1.0
B	5.97	2.00	19.98	31.56	1.452	2.0
C	5.97	2.00	19.87	30.88	1.460	4.0



E y P de Ingeniería S.R.L.

César A. Ghezzi  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. 6314

Fuente: E y P de Ingeniería S.R.L., 2020

**Anexo 51: Resultados del ensayo estándar para la gravedad específica mediante el picnómetro de agua de la muestra: suelo 50% + relave 50% por el laboratorio E y P de ingeniería S.R.L.**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

**PROYECTO** : Influencia de residuos mineros (relave) en el comportamiento físico y mecánico del suelo, para la cimentación de edificaciones  
**UBICACIÓN** : Alameda Santa Rosa Lote 1 Mz A, Dist. San Martín de Porres, Lima,  
**CALICATA** :  
**UBICACIÓN** : Depósito del relave Collpa, Dist. Santa Bárbara de Carhuacayan, Prov. Yauli, Dpto. Junín  
**RELAVE** :  
**CLIENTE** : **HANS ALEXANDER LLACZA CÁRDENAS**  
**MUESTRA** : Suelo 50% + Relave Minero 50%  
**FECHA** : 07.SET.2020

**PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS**  
**NTP 339.131 (ASTM-D-854)**

**P.e.**

2.737

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

EyP de Ingeniería S.R.L.

César A. Wilca Ghezzi  
Ingeniero Civil  
C.I.P. 6314

**Anexo 52: Superficie del depósito de relave minero figura nº 1**



Elaborada por: El autor

**Anexo 53: Superficie del depósito del relave minero figura nº 2**



Elaborada por: El autor

### Anexo 54: Parte frontal del depósito del relave



Elaborada por: El autor

### Anexo 55: Extracción del relave



Elaborada por: El autor

## Anexo 56: Medición de la calicata



Elaborada por: El autor

## Anexo 57: Calicata C-1 figura N°1



Elaborada por: El autor

**Anexo 58: Calicata: C-1 figura N°2**



Elaborada por: El autor