

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Aplicación del óxido de calcio como propuesta
de control de la saturación en el material de
afirmado**

Albiluz Aurora Espinoza Ramos

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Civil

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, con su ayuda, han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a mi asesor de tesis, **Ing. Julio Buyu Nakandare Santana**, docente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Continental, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua del mismo.

Mi reconocimiento y agradecimiento a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, quienes impartieron sus conocimientos y experiencias en beneficio de mi formación en esta etapa universitaria.

Agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.

A todos ellos, muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, **Diosdado** y **Rayda**, quienes supieron apoyarme incondicionalmente en todo momento en el transcurso de mi vida universitaria, demostrando gran amor, cariño, fuerza que me brindan día a día y que son mi motivo para seguir adelante.

A mi hermana **Betsy**, por ser el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, por estar siempre acompañándome y alentándome para lograr mis objetivos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	4
1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1.PROBLEMA GENERAL	5
1.2.2.PROBLEMA ESPECÍFICOS	5
1.3.OBJETIVOS.....	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	6
1.5.HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	8
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL	8
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	8
1.5.3. VARIABLES	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	10
2.2.BASES TEÓRICAS.....	13
2.2.1. ENSAYOS.....	20
2.2.1.1.Muestreo de Suelos y Rocas	20
2.2.1.2.Índice de Grupo:.....	22
2.2.1.3.Método de Clasificación AASHTO	23
2.2.1.4.Ensayo de Granulometría	25

2.2.1.5. Ensayo de Límites de Consistencia	25
2.2.1.6. Ensayo de Proctor Modificado	28
2.2.1.7. Ensayo de CBR.....	32
2.2.1.8. Cal Viva.....	36
2.2.1.9. Cal Hidratada	36
2.2.1.10. Cales Aéreas.....	37
2.2.1.11. Cales Hidráulicas	37
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	43
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	46
3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.1.1. MÉTODO CIENTÍFICO	46
3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	46
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	47
3.3.1. POBLACIÓN	47
3.3.2. MUESTRA.....	47
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	47
3.4.1. TÉCNICAS	47
3.4.2. INSTRUMENTOS.....	48
3.4.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	48
3.4.4. ANÁLISIS DE DATOS.....	48
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN....	49
4.1.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARA AFIRMADO	49
a. GRANULOMETRÍA.....	49
b. LÍMITES DE CONSISTENCIA	52
c. PROCTOR MODIFICADO.....	54

d. CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	57
e. EXCESO DE HUMEDAD EN EL SUELO - ACOLCHONAMIENTO	61
4.1.2.RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO CON EXCESO DE HUMEDAD – ACOLCHONAMIENTO Y DOSIFICACIONES DE ÓXIDO DE CAL	65
a)10% Humedad del Suelo – Dosificaciones de óxido de cal de 2% - 10%.....	65
b) 12% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	67
c) 14% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	69
d) 16% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	71
4.1.3.ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	73
4.1.3.1.Saturación del material (Acolchonamiento).....	73
4.1.3.2.Dosificaciones de Cal para la Reducción de Saturación de Humedad .	75
a) 10% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	75
b) 12% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	76
b)14% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	77
d) 16% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	78
4.1.3.3.Dosificaciones de Cal para el incremento de la Densidad Seca	80
a)10% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	80
b)12% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	81
c)14% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	82
d)16% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%.....	84
4.1.4.ANÁLISIS ECONÓMICO.....	85
A.Caso 1: Situación Normal	86
B.Caso 2: Remoción del material para afirmado:.....	89
C.Caso 3: Secado de material para afirmado:	89
D.Caso 4: Dosificaciones de cal en material para afirmado:.....	91
4.1.5.ANÁLISIS DE TIEMPOS.....	93

A.Caso 1: Situación Normal	93
B.Caso 2: Remoción del material para afirmado:.....	94
C.Caso 3: Secado de material para afirmado:	95
D.Caso 4: Dosificaciones de cal en material para afirmado:.....	96
4.2.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
4.2.1.ACOLCHONAMIENTO:.....	98
4.2.2.RELACIÓN DOSIFICACIONES DE CAL - CONTENIDO DE HUMEDAD EN FASE DE SATURACIÓN	99
4.2.3.RELACIÓN DOSIFICACIONES DE CAL – DENSIDAD SECA EN FASE DE SATURACIÓN.....	101
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	108

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Gradación del Material de Afirmado	15
Tabla N° 2: Ensayos y Frecuencias	17
Tabla N° 3: Clasificación de suelos según Índice de Grupo.....	23
Tabla N° 4: Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS	24
Tabla N° 5: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad	28
Tabla N° 6: Análisis granulométrico por tamizado.....	50
Tabla N° 7: Resultados de Límite Líquido.....	52
Tabla N° 8: Resultados de Límite Plástico	54
Tabla N° 9: Proctor Modificado - Método B.....	55
Tabla N° 10: Tipo de Suelo según Método SUCS.....	59
Tabla N° 11: Tipo de Suelo según Método AASHTO.....	60
Tabla N° 12: Valores de Acolchonamiento del suelo	63
Tabla N° 13: Ensayo de Proctor 10% Humedad y Cal de 2% a 10%.....	65
Tabla N° 14: Ensayo de Proctor 12% Humedad y Cal de 2% a 10%.....	67
Tabla N° 15: Ensayo de Proctor 14% Humedad y Cal de 2% a 10%.....	69
Tabla N° 16: Ensayo de Proctor 16% Humedad y Cal de 2% a 10%.....	71
Tabla N° 17: Análisis económico – 1° Caso.....	86
Tabla N° 18: Transporte de Material Granular $D \leq 1$ km	87
Tabla N° 19: Transporte de Material Granular $D > 1$ km	88
Tabla N° 20: Análisis económico – 2° Caso.....	89
Tabla N° 21: Análisis económico – 3° Caso.....	90
Tabla N° 22: Análisis económico – 4° Caso.....	91
Tabla N° 23: Identificación Visual y Manual del suelo.....	111
Tabla N° 24: Angulosidad de las partículas gruesas.....	112
Tabla N° 25: Formas de las partículas	112
Tabla N° 26: Condiciones de Humedad	113
Tabla N° 27: Criterios para describir la consistencia.....	113
Tabla N° 28: Criterios para describir la Cementación	114
Tabla N° 29: Criterios para describir la Estructura	115
Tabla N° 30: Criterios para describir la Resistencia en Seco.....	116

Tabla N° 31: Criterios para describir la Tenacidad.....	117
Tabla N° 32: Criterios para describir la Plasticidad	117
Tabla N° 33: Método de uso para el Ensayo de Proctor Modificado	132

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Clasificación de Suelos	21
Figura N° 2: Límites de Consistencia	27
Figura N° 3: Curvas de compactación para Proctor Estándar y Modificado.....	29
Figura N° 4: Curvas de Proctor según tipo de suelo	29
Figura N° 5: Proceso de Fabricación de la cal	39
Figura N° 6: Ciclo de la Cal	40
Figura N° 7: Curva Granulométrica	51
Figura N° 8: Representación Gráfica de Limite Líquido	53
Figura N° 9: Curva de MDS – OCH.....	56
Figura N° 10: Carta de Plasticidad	58
Figura N° 11: Curva Proctor de suelo Saturado 9% -14%	64
Figura N° 12: Curva Proctor 10% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%	66
Figura N° 13: Curva Proctor 12% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%	68
Figura N° 14: Curva Proctor 14% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%	70
Figura N° 15: Curva Proctor 16% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%	72
Figura N° 16: Acolchonamiento del Suelo.....	74
Figura N° 17: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal, para 10% de Humedad del suelo	76
Figura N° 18: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal para 12% de Humedad del suelo	77
Figura N° 19: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal para 14% de Humedad del suelo	78
Figura N° 20: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal, para 16% de Humedad del suelo.	79
Figura N° 21: Relación de Densidad Seca Vs %Cal para 10% de Humedad del suelo	80
Figura N° 22: Relación de Densidad Seca Vs %Cal para 12% de Humedad del suelo	82
Figura N° 23: Relación de Densidad Seca Vs % Cal para 14% de Humedad del suelo	83

Figura N° 24: Relación de Densidad Seca – %Cal para 16% de Humedad del suelo	84
Figura N° 25: Resumen de Costos Vs Casos Posibles	92
Figura N° 26: Cuadro de Resumen Contenido de Humedad - %Cal.....	100
Figura N° 27: Cuadro de Resumen Densidad Seca - %Cal	102

RESUMEN

El presente trabajo de investigación plantea una alternativa de solución para afirmados que poseen niveles altos de humedad, cercanos a la saturación (acolchonamiento), donde se propone la adición de óxido de calcio.

El acolchonamiento es un problema común que sucede en la construcción de carreteras a nivel de afirmado; este se da cuando existe un exceso de humedad en el suelo, normalmente mayor al óptimo contenido de humedad, que no excede su límite plástico; produce ablandamiento y deformación del material extendido; y puede deberse a múltiples factores como lluvias, exceso de agua en la compactación, entre otros.

Para ello, se trabajó con material extraído de las Canteras de Chaclas - Sapallanga y Palián – Huancayo y se caracterizó este material a través de ensayos en laboratorio como granulometría, Límites de Consistencia y Proctor Modificado, obteniendo el Óptimo Contenido de Humedad – OCH, cuyo valor es de 7.9% y la Máxima Densidad Seca – MDS, cuyo valor fue de 1.974 gr/cm³, además de los porcentajes de humedad a partir de los cuales se produce la saturación (acolchonamiento).

Una vez caracterizado el material en estudio, se moldeó muestras con contenidos superiores al OCH, incrementando para cada muestra los contenidos de humedad a razón de 2%; es decir, con humedades de 9,10,12,14 y 16%. Al mismo tiempo, se adicionó porcentajes (%) de óxido de calcio en 2, 4, 6,8 y 10% y se monitoreó el nuevo contenido de humedad, y la densidad resultante de la mezcla.

De la investigación se pudo concluir que la saturación del suelo es controlable solo cuando está en 10% de humedad y dosificaciones de cal de 8 a 10%; se han obtenido valores razonables, cercanos a los resultados de densidad seca del Proctor modificado y se recuperan las humedades óptimas de suelo; sin embargo, cuando el suelo está saturado, con humedades mayores a 12%, es imposible recuperar el suelo, incluso cuando las dosificaciones de cal superan el 10% para cada muestra.

INTRODUCCIÓN

La red vial en el Perú es uno de los temas más álgidos, debido a que nuestra configuración geográfica es diversa y accidentada; sin embargo, es indispensable contar con carreteras que puedan solucionar el problema de comunicación entre ciudades, pueblos, distritos u otros. Es por ello que, para carreteras de baja transitabilidad, es frecuente proponer la utilización de afirmados que constituyen una superficie de rodadura, cuyo material debe contar con gradación específica, ya que va a soportar las cargas y esfuerzos del tránsito vehicular como peatonal y que, además, deben contener la cantidad apropiada de material fino que sirve como aglutinante para el afirmado.

Es por ello que se realizan los ensayos correspondientes para garantizar la capacidad de soporte del suelo. Además de la caracterización del material, el ensayo de compactación de suelos (realizado a través del Proctor Modificado) es el que se considera de mayor importancia para un suelo a nivel de afirmado.

La compactación representa un proceso mecánico que densifica un suelo mediante energía de compactación, mejora su resistencia al corte y reduce la relación de vacíos, o se reduce el volumen de aire, por lo tanto, espacios entre partículas, mientras se mantiene el volumen de agua. Cuando un suelo es compactado con diferentes condiciones de humedad, se emplea la curva de compactación que muestra la relación entre densidades y porcentajes de humedad. Esta curva es distinta para cada tipo de suelo y de ésta misma se obtiene el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca.

Entonces, cuando la relación de agua- suelo sobrepasa en proporción, se produce un exceso de humedad en el suelo, que cuando no excede del límite plástico se encuentra en etapa de Acolchonamiento, lo cual produce el ablandamiento y debilitamiento del suelo y se manifiesta en las principales propiedades físicas de los materiales componentes. Es decir, el suelo puede cambiar de estado sólido al plástico y aún al estado líquido, y esto reduce la resistencia del suelo al corte y, sobre todo, a la cohesión del material.

En este sentido, la presente investigación, que lleva como título “APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO”, analizará el fenómeno anteriormente descrito en los siguientes capítulos:

- Capítulo I, donde se plantea el Estudio, según la realidad observada y que se transmitirá a través de la formulación del problema, objetivos, hipótesis justificación e importancia del estudio.
- Capítulo II, donde se describen las bases teóricas, como investigaciones relacionadas, fundamentos teóricos y conceptos para el mejor entendimiento del estudio.
- Capítulo III, abarca la metodología de la investigación desde tipo, nivel, método y diseño de investigación.
- Capítulo IV, analiza los resultados obtenidos de los Ensayos realizados en laboratorio y la contrastación de las hipótesis planteadas, y finalmente, se plantearán las Conclusiones y Recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño de la estructura de pavimentos se hace teniendo en consideración su resistencia, que es la capacidad de soporte del pavimento a la deformación bajo las cargas de tráfico y la capacidad para transmitir esfuerzos de manera más eficiente; o también gracias a parámetros probabilísticos como el módulo de elasticidad o el módulo de resiliencia, los cuales describen el comportamiento y la respuesta de la estructura. Sin embargo, en la práctica, el uso más común para determinar la resistencia del suelo compactado es a través del peso específico máximo seco, que se manifiesta en lo siguiente: a mayor densidad, mayor resistencia.

Asimismo, en el proceso de la compactación de suelos, el agua es de gran importancia y su reacción depende de las características físicas de cada tipo de suelo. Entonces, se conoce que por cada material existe una cantidad de agua (contenido de humedad) que ayuda a maximizar sus propiedades y, en general, mientras más pequeñas sean las partículas, mayor será la influencia del agua en el proceso de compactación.

Para el proceso de compactación, se considera un poco complicado trabajar con material de un suelo que contenga poco contenido de humedad, debido a que sus partículas carecen de lubricación necesaria para reorganizarlas en un estado más denso. Además que dichas partículas no tendrán la cohesión suficiente para permanecer en donde se hayan asentado; es decir, la adición de agua mejora la cohesión y lubricación, pero el exceso de ésta puede ocasionar la saturación, y cuando el suelo se satura los vacíos se llenan con agua y debilitan la capacidad de resistencia a la carga de la estructura y las partículas también se sobrelubrican y desplazan con facilidad, provocando la inestabilidad del suelo, y este fenómeno es conocido como acolchonamiento. Este fenómeno es bastante común en obra, sucede cuando se ha extendido el material para su compactación y se presenta una precipitación atmosférica que, dependiendo del tipo de suelo, produciría exceso de humedad,

plasticidad y ablandamiento del material, haciendo imposible su compactación e imposibilitando al suelo quedar en estado óptimo para su uso como material de afirmado.

Es por ello que se busca la recuperación del material extendido a través de agentes como cal, cenizas volcánicas, escorias, arenas, cemento u otros, que permitan reducir el exceso de humedad y recuperar el suelo para los fines propuestos.

En esta investigación se aplicará el óxido de calcio como agente reductor de saturación de humedad o acolchonamiento en material para afirmado, pues la cal viva es un elemento económico que posee propiedades que aumentan la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el efecto producido por la adición de óxido de calcio durante la saturación en el material de afirmado – Huancayo, 2019?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el porcentaje de humedad a partir del cual se produce la saturación (acolchonamiento) en el material de afirmado, Huancayo - 2019?
- ¿Cuál es el porcentaje óptimo de óxido de calcio para la reducción del exceso de humedad en el material de afirmado, Huancayo - 2019?
- ¿Cuál será el incremento del costo por la aplicación del óxido de calcio, para la recuperación de la condición del afirmado saturado?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la adición de óxido de calcio en el control de la saturación del afirmado con material híbrido de las canteras Chaclas de Sapallanga y Palián, Huancayo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el porcentaje de humedad a partir del cual se produce la saturación (acolchonamiento) en material de afirmado.
- Calcular el porcentaje óptimo de óxido de calcio para la reducción de la saturación (acolchonamiento) en el material de afirmado.
- Calcular el incremento del costo por la aplicación del óxido de calcio, para la recuperación de la condición del afirmado saturado.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de investigación se va a realizar para conocer y determinar el efecto de la cal viva u óxido de calcio en la reducción de la saturación de agua de un suelo, específicamente en el fenómeno de acolchonamiento que es común en obras referidas a carreteras.

Para ello, se hará la caracterización del material híbrido obtenido de las canteras de Chaclas – Sapallanga (material gravoso) y Cantera de Palián (material ligante), y se determinará el óptimo contenido de humedad (OCH) y Máxima densidad seca (MDS) en el ensayo de Proctor modificado y luego se saturará el suelo con cantidades superiores de agua al OCH y se analizará en qué porcentaje de agua en el suelo se produce el fenómeno de

acolchonamiento, cuyo límite será el valor obtenido en el Límite plástico del suelo en estudio.

Posteriormente, se buscará, en laboratorio, la recuperación de este suelo a través de la escarificación con dosificaciones de cal y se analizará hasta qué porcentaje de exceso de humedad se puede recuperar el material.

Se debe tener en cuenta que el contenido de humedad de un suelo es de vital importancia en el proceso de estabilización de un suelo, ya que el agua proporciona cohesión entre partículas; sin embargo, el exceso del elemento líquido tiene otros efectos pues crea inestabilidad en el suelo; entonces, el propósito de la investigación es reducir el exceso de agua en el suelo con el uso de la cal que en todas sus formas constituye uno de los productos alcalinos más efectivos y de menor costo cuando existe exceso de agua en un suelo; sin embargo, la cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, ya que logra la estabilización de suelos, es decir el suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo y en forma permanente.

IMPORTANCIA

La importancia de este estudio radica en que el fenómeno de acolchonamiento es un problema muy común en las obras de carreteras, por lo cual se debe prever que no suceda o, en su defecto, ver cómo se puede solucionar, para lo cual el presente estudio plantea la utilización del óxido de calcio como agente reductor de humedad; debido a la reacción química que produce cuando se mezcla con el suelo.

1.5. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

La adición de óxido de calcio en diversos porcentajes controla positivamente la saturación en el material de afirmado.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La saturación (acolchonamiento) en material afirmado de las canteras Chaclas de Sapallanga y cantera de Palián - Huancayo, se produce a partir de un 20% de humedad.
- La adición de óxido de calcio, en el rango de 2% - 6%, permite solucionar la condición de saturación (acolchonamiento) en el material afirmado.
- El incremento del costo por la aplicación del óxido de calcio es de un 20% más de costo normal para la recuperación de la condición del afirmado saturado.

1.5.3. VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE

Es aquella propiedad, cualidad o característica presente en una realidad, evento o fenómeno, la cual posee la capacidad de influir, incidir o afectar a otras variables. Como su nombre lo dice, no depende de otro factor para estar presente en esa realidad de estudio. Para la presente investigación, la variable independiente es la siguiente:

X: ÓXIDO DE CALCIO.

VARIABLE DEPENDIENTE

Es aquella característica, propiedad o cualidad presente en una realidad o evento que se encuentra investigando. La variable dependiente sufre cambios como resultado de la manipulación de la variable independiente por parte del experimentador. Como su nombre lo dice, de manera explícita, depende de otro factor que como resultado va a hacer que esta variable varíe. La variable dependiente es la que se mide.

Y: NIVELES DE HUMEDAD DEL MATERIAL DE LAS CANTERAS.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	Unidad de Medida
Variable Independiente: ÓXIDO DE CALCIO.	Porcentaje de óxido de calcio.	Es un material obtenido de la calcinación de rocas calizas o dolomías, que reacciona químicamente al contacto con el agua; es decir, se hidrata o apaga y desprende calor.	2% 4% 6% 8% 10%	Dosificación porcentual de óxido de calcio respecto al peso del suelo
Variable Dependiente: NIVELES DE HUMEDAD Y DENSIDAD, DEL MATERIAL DE AFIRMADO	Índice de Plasticidad	La adición de agua en el suelo seleccionado de cantera mejora la cohesión y lubricación de éste; sin embargo, el exceso puede ocasionar saturación y por consiguiente inestabilidad del suelo.	Índice de Plasticidad %	% (porcentual)
	Proctor Modificado		Proctor modificado método B	OCH % Densidad (g/cm ³)

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Existen estudios similares respecto al tema de investigación tratado en este capítulo, relacionados al efecto del exceso de humedad en un suelo y los efectos de la cal para disminuir el exceso de humedad.

ANTECEDENTE INTERNACIONAL

En la tesis de pregrado, cuyo título es **“INCIDENCIA DE RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR POR LA INFLUENCIA DE CLIMA, HUMEDAD, EQUIPO Y SUPERFICIE DE BASE DE COMPACTACIÓN DURANTE SU DESARROLLO”**, el autor guatemalteco (Revolorio Gonzáles, 2013), planteó su objetivo principal que fue determinar y cuantificar la incidencia en los resultados del ensayo de compactación de suelos por la influencia de factores climáticos, equipo utilizado y base de compactación. Además de establecer las mejores condiciones para el desarrollo del ensayo Proctor Modificado en el laboratorio, determinar qué factores tienen más incidencia en la obtención de los resultados, proponer las condiciones óptimas para disminuir el efecto negativo de los factores de incidencia en el ensayo Proctor Modificado y cuantificar el factor de cada una de las incertidumbres en los resultados que producen las variables durante el desarrollo del ensayo.

Los resultados fueron los siguientes: un factor determinante que proporciona el mayor porcentaje de error al ensayo de Proctor es el estado del equipo que varía en función a factores de clima y desgaste. Además, se obtienen mayor control sobre las variables que inciden si se controla la humedad y temperatura del ambiente durante el ensayo.

ANTECEDENTE NACIONAL

En la tesis de pregrado de la ciudad de Cajamarca, que lleva como título **“INFLUENCIA DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN EL ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD Y LA MÁXIMA DENSIDAD SECA EN LOS SUELOS GRANULARES”** y cuyo autor es (Ocas de la Cruz, 2013) se planteó determinar la influencia de la energía de compactación en el óptimo contenido de humedad y la densidad seca máxima en los suelos granulares.

Los resultados de esta investigación afirman que la curva de compactación a diferentes energías indica que es necesario utilizar una energía de compactación de 29,18 kg/ cm². Sin embargo, al incrementar la energía de compactación hasta los 30,15 kg/cm², la densidad seca tiende a disminuir y el contenido de humedad tiende a aumentar, pero ello significa que el suelo se fragmenta en partículas cada vez más pequeñas.

Asimismo, la tesis de pregrado, denominada **“EFECTO DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN LA DENSIDAD SECA MÁXIMA Y CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD DEL SUELO GRANULAR DE LA CANTERA EL GAVILÁN”**, elaborada en la ciudad de Cajamarca por el autor (Chirinos Quispe, 2015), plantea, determinar el efecto que tiene la energía de compactación en la densidad máxima seca y el óptimo contenido de humedad del suelo granular de la cantera el Gavilán,

Al realizar la variación de la energía de compactación aumentando el número de golpes por capa, se obtuvo que la densidad seca máxima aumentó a 2.18 gr/cm, mientras que el óptimo contenido de humedad fue menor, siendo 3.5% mayor la Densidad Seca Máxima, demostrando que la hipótesis planteada fue correcta.

La energía de compactación durante la realización de los ensayos fue desde 27.27 kg/cm² encontrada según la norma técnica hasta

los 29.70 kg/cm², siendo la energía necesaria de 28.24 kg/cm² para poder determinar los valores de la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad.

Con la variación de la energía de compactación, se observó un incremento de 0.05 gr/cm en la densidad seca máxima obteniendo 2.18 gr/cm y 0.8% en el contenido de humedad obteniendo 3.5%, con respecto a la densidad seca de 2.13 gr/cm y 2.7% del contenido de humedad obtenidos de acuerdo a la norma técnica ASTM D1557.

Del mismo modo, existen investigaciones que ayudan a un mejor entendimiento del material para afirmado, como la tesis de pregrado, que lleva como título **“ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS CANTERAS HUALANGO COMO MATERIAL DE AFIRMADO EN CARRETERAS – PROVINCIA DE UTCUBAMBA”**, cuyo autor es (Lozada Tiglla, 2018), donde se realizó estudios respecto de las características físicas y mecánicas de las canteras de Hualango como material de afirmado en carreteras de la provincia de Utcubamba.

Este estudio concluye en que la cantera es de tipo arcillosa con arena y la caracterización del material es importante, considerando su granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado, cuyo óptimo contenido de humedad de 5,91% y su máxima densidad seca 2,237 gr/cm³ y CBR que cumplen con los requisitos para comportarse como material afirmado.

2.2. BASES TEÓRICAS

AFIRMADO

Según (Rico, y otros, 1999), una vía afirmada es una carretera cuya superficie de rodadura está constituida por una capa de material granular natural o procesado, que debe ser compactada, la cual soporta las cargas y esfuerzos ocasionados por el tránsito. Además, debe contener la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas.

Según el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes (MTC, 2013), el afirmado es una carretera no pavimentada para un bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de Ejes Equivalentes de hasta 300,000 EE en un periodo de 10 años. El afirmado está conformado por una superficie de rodadura que a su vez está compuesta por material natural o procesado de canteras que cumplan con las especificaciones técnicas, que también pueden contener estabilizadores de suelos y se colocan en una superficie previamente preparada.

Según el Manual para Diseño de Caminos No Pavimentados (Provias, 2005), el afirmado es una capa de material natural selecto procesado o semiprocesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la subrasante de un camino. Funciona como capa de rodadura y de soporte al tráfico en carreteras no pavimentadas y puede tener tratamiento para su estabilización. Además, debe tener un mantenimiento periódico, que permita mantener la condición del afirmado, reducir la rugosidad y el proceso de deterioro y mejorar el drenaje superficial como se tenía inicialmente.

Clasificación para carreteras con afirmado:

- a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes.

- b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
- c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm.

Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o zarandeadas o Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.

- d) Carreteras con superficie de rodadura tratada con materiales industriales:
 - ✓ Afirmados con superficie tratada para el control de polvo, con materiales como cloruros, aditivos, productos asfálticos (imprimación reforzada o diferentes tipos de sello asfáltico), cemento, cal u otros estabilizadores químicos.
 - ✓ Suelos naturales estabilizados con emulsión asfáltica, cemento, cal, cloruros, geosintéticos y otros aditivos que mejoren las propiedades del suelo.

El material afirmado es una mezcla de tipos de material: piedra, que servirá para soportar las cargas; un porcentaje de arena que sirve para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa; y otro porcentaje de finos plásticos o arcilla para cohesionar los materiales del afirmado, ya que, cuando no existe una buena combinación de éstos, el afirmado será pobre.

Material usado en Afirmados

Los materiales que se usan para la conformación de afirmado varían dependiendo de la región y dependen del tamaño máximo de los agregados (materiales granulares, cuyas partículas deben ser duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas,

blandas o desintegrables y sin materia orgánica) y porcentaje de material fino.

La gradación del Material de Afirmando según norma MTC, puede ser:

Tabla N° 1: Gradación del Material de Afirmando

PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ	GRADACIÓN C	GRADACIÓN D	GRADACIÓN E	GRADACIÓN F
50 mm (2")				
37.5 mm (1½")				
25 mm (1")	100	100	100	100
19 mm (¾")				
12.5 mm (½")				
9.5 mm (3/8")	50-85	60-100		
4.75 mm (N° 4)	35-65	50-85	55-100	70-100
2.36 mm (N° 8)				
2.0 mm (N° 10)	25-50	40-70	40-100	55-100
4.25 um (N° 40)	15-30	25-45	20-50	30-70
75 um (N° 200)	5-15	5-20	6-20	8-25
Índice de Plasticidad	4-9	4-9	4-9	4-9
Límite Líquido	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%
CBR [referido al 100% de la Máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5mm)]	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%

Fuente: MTC

El material deberá cumplir con los ensayos siguientes, según Norma:

- ✓ Límite Líquido: 35% máximo (MTC E 110)
- ✓ Índice de Plasticidad: 4 -9 % (MTC E 111)
- ✓ CBR: 40% mínimo (MTC E 132)

Requerimientos de construcción:

1. Preparación de la superficie existente:

El material de afirmado se coloca cuando la superficie donde se va a colocar tiene la densidad apropiada y las cotas indicadas según las especificaciones.

2. Transporte y colocación de material:

Se debe transportar y depositar el material para que no exista segregación, evitando que se derrame el material, entre otros.

3. Extensión, mezcla y conformación del material:

El material se extiende en una sección uniforme, en la cual es verificada la homogeneidad. Y en algunos casos es necesaria la mezcla de varios materiales.

Si fuera necesario humedecer el material a utilizar, se deben usar los equipos adecuados para compactar, de manera que no perjudique la capa adyacente; y se permita extender en una capa el espesor de modo uniforme y grado de compactación requerido.

4. Compactación:

Una vez que el material tenga la humedad apropiada, se compacta con el equipo apropiado hasta lograr obtener la densidad especificada.

Para la compactación, se comienza por los bordes exteriores, hacia los interiores, sin embargo, antes se realizan los controles topográficos y de compactación.

Tabla N° 2: Ensayos y Frecuencias

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Normas ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de muestreo
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	C 136	T 27	1 cada 750 m3	Cantera Híbrido
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m3	Cantera Híbrido
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2000 m3	Cantera Híbrido
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2000 m3	Cantera Híbrido
	Densidad – Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m3	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D2922	T191 T238	1 cada 250 m3	Pista

Fuente: (MTC, 2013)

Características de los materiales para Afirmado:

Según la (Secretaría de Comunicaciones & Transportes, 2011), los materiales para afirmados, bases y sub-bases se clasifican así:

✓ **Materiales Naturales**

Las arenas, gravas, limos y rocas muy alteradas que al extraerlas queden sueltas o se disgreguen usando maquinarias y no contienen más de 5% de partículas mayores de 75 cm. ni más del 25% de material que pasen la malla No. 200 (0.075mm).

✓ **Materiales Cribados**

Se consideran arenas, gravas, limos o rocas alteradas y fragmentadas que para hacerlas utilizables requieren de un tratamiento de cribado para satisfacer la composición granulométrica.

✓ **Materiales Parcialmente Triturados**

Son los pocos o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

✓ **Materiales Totalmente Triturados**

Aquellos extraídos de un banco o pepenados que requieren de trituración total y cribado.

✓ **Materiales Mezclados**

Son mezcla de dos o más materiales en las proporciones necesarias para satisfacer la norma.

Proceso constructivo para un afirmado:

1. **Colocación y Extendido**

El material de afirmado será colocado sobre la capa de sub-base o sub- rasante debidamente preparada y será compactada en capas no mayores de 35 cm. Además, debe ser extendido en una capa uniforme por medio de una motoniveladora, de tal forma que forme

una capa suelta de mayor espesor que el que debe tener la capa compactada.

2. Mezcla

Para la conformación de la base, se batirá todo el material por medio de la cuchilla de la motoniveladora en toda la profundidad de la capa, llevándolo en forma alternada hacia el centro y los bordes de la calzada.

3. Escarificado de material

El escarificado del material se deberá realizar para poder uniformizar con el riego de agua que se le aplicará y poder tener una humedad homogénea en todo el material colocado en la calzada.

4. Grado Humedad de material

El agua que se utilizará en el proceso de compactación deberá cumplir con los requisitos especificados por norma.

5. Compactación

Luego de haber distribuido y emparejado el material, cada capa del afirmado deberá ser compactada en su ancho total por medio de rodillos lisos vibratorios con un peso mínimo de 10 toneladas.

El emparejamiento con el rodillo debe avanzar en forma progresiva, desde los bordes hacia el centro, en sentido paralelo al eje de la vía, hasta que toda la superficie haya recibido este tratamiento. Cualquier irregularidad o depresión que surja durante la compactación deberá corregirse aflojando el material en esos lugares, agregando o quitando material hasta que la superficie resulte lisa y uniforme.

El material será tratado con motoniveladora y rodillo hasta que se haya obtenido una superficie lisa y uniforme. La cantidad de apisonado se considerará según especificaciones técnicas, para

obtener una compactación adecuada. En caso de no alcanzar el porcentaje de compactación exigido, deberá completar un cilindrado o apisonado adicional en la cantidad que fuese necesaria para obtener la densidad que indica el proyecto. Y en caso de tener saturación de suelo por exceso de agua, deberá considerarse métodos de reducción de agua, que pueden lograrse gracias a agentes como cal, cemento, entre otros.

2.2.1. ENSAYOS

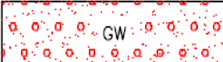

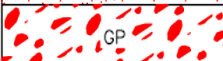

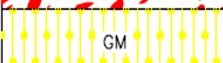
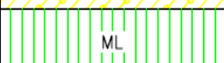

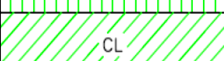

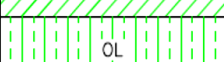

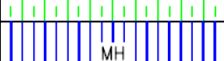
Los ensayos realizados para la determinación de los niveles de humedad del suelo son muy necesarios e importantes para conocer qué tipo de suelo es y para identificar uno de los parámetros más importantes de la presente investigación, como es el grado de saturación del terreno que nos permitirá conocer los niveles máximos de humedad con los que se puede trabajar en la práctica.

Los ensayos a tener en cuenta son los siguientes:

- Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS) - NTP 339.134
- Ensayo de Granulometría - NTP 339.128
- Límites de Atterberg - NTP 339.129
- Ensayo de compactación Proctor modificado - NTP 339.141
- Ensayo de valor de soporte de California o CBR - NTP 339.145

2.2.1.1. Muestreo de Suelos y Rocas

Esta norma se basa en la Norma ASTM 420, que facilita los procedimientos adecuados para el muestreo de suelo o la roca; para lo cual se elabora un Perfil del suelo a través de calicatas de profundidad de 1.5 m., o se extrae material de cantera y se analiza visualmente según la siguiente gráfica. (MTC, 2014)

	GW	Gravas bien mezcla arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		SM	Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja.
	GP	Grava mal graduados, mezcla de arena-grava con poco nada de material fino.		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcillosa.
	GM	Gravas limosas mezclas de grava arena limosa.		ML	Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas o limos arcillosos con ligera plasticidad.
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla gravas con material fino cantidad apreciable de material fino.		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o mediana, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas magras.
	SW	Arena bien graduados, arenas con grava, poco o nada de material fino. Arenas limpias poco o nada, amplia variación en tamaño granulares y cantidades de partículas en tamaño intermedios.		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.
	SP	Arena mal graduados con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas internas.		MH	Limo inorgánicas suelos finos granosos o limosos, micáceos o diatometáceos, limos elásticos.

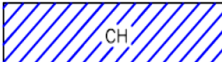
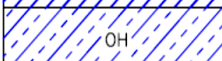
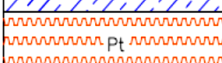
	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasosas.
	OH	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicas.
	Pt	Turba, suelos considerablemente orgánicos.

Figura N° 1: Clasificación de Suelos

Según lo que se observe en el suelo, se va identificar el material, para ello se analizan algunas características:

- ✓ Angulosidad: Se refiere si el material (grano, grava, guijarros y fragmentos) es anguloso, sub-anguloso, sub-redondeado o redondeado.
- ✓ Forma: Se refiere a si el material tiene forma plana, alargada o como plana y alargada.
- ✓ Color: Es una propiedad importante para la identificación de los suelos; por ejemplo, si la muestra contiene capas o parches de colores variables, deberán anotarse y describir los colores que las representan.
- ✓ Olor: Se describe el olor del suelo; si contiene una cantidad significativa de material orgánico, generalmente tiene un olor de vegetación en putrefacción, el cual se hace más perceptible en muestras frescas. Cuando las muestras están secas, a menudo puede revivirse el olor calentando una muestra previamente humedecida.

- ✓ Condición de humedad: Se describe si el suelo está seco, húmedo o saturado.
- ✓ Reacción con HCl.: Se refiere a la reacción del suelo con HCl y se describe como nula, débil o fuerte.
- ✓ Consistencia: Para suelos intactos de grano fino, describese la consistencia como muy blanda, firme, dura o muy dura.
- ✓ Cementación: Se refiere a la cementación de los suelos que puede ser débil, moderada o fuerte.
- ✓ Estructura: Si el material es estratificado, laminar, lenticular u homogéneo.
- ✓ Rango de los tamaños de las partículas: Se describe el rango de tamaños de partícula para identificar si es grava, arena, arcilla o limo.
- ✓ Dureza: Sucede cuando las partículas son golpeadas y se clasifican según su desmoronamiento; por ejemplo, las partículas de grava se fracturan con considerable número de golpes de martillo, mientras que las arcillas se desmoronan con el simple tacto.

2.2.1.2. Índice de Grupo:

El Índice de Grupo (IG), según El Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del (MTC, 2013) es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos; está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01 (bd)$$

Donde:

a = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras), que es expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

$b = F-15$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras), que es expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

$c = LL - 40$ (LL = límite líquido), que es expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

$d = IP-10$ (IP = índice plástico), que es expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El Índice de Grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más.

Se conoce que cuanto menor sea el valor de IG. de un suelo, mejores son las cualidades del suelo. Además, cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice \geq a 20, un suelo no utilizable para caminos.

Tabla N° 3: Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Índice de Grupo	Suelo de Sub-rasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1- 2	Bueno
IG está entre 0 - 1	Muy bueno

Fuente: (MTC, 2013)

2.2.1.3. Método de Clasificación AASHTO

Para la clasificación AASHTO, se utilizan los datos de límite líquido e índice de plasticidad que corresponden a las propiedades del suelo que se va analizar; para su correcta ejecución se considera una

porción de muestra que es el pasante de la malla tamiz N° 200 según su granulometría y toda la caracterización del suelo hecha con anterioridad, que ayudarán a estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos

La clasificación de los suelos se efectuará según el cuadro que se muestra en la parte inferior del párrafo.

Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico

A continuación, se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

Tabla N° 4: Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GC, SM, SC
A – 2	GM, GC, SM, SC
A – 3	SP
A – 4	CL, ML
A – 5	ML, MH, CH
A – 6	CL, CH
A – 7	OH, MH, CH

Fuente: (MTC, 2013)

Según el Manual de carreteras de Suelos, Geología y Pavimentos del (MTC, 2013), las propiedades fundamentales del suelo para afirmado son las siguientes:

2.2.1.4. Ensayo de Granulometría

Según el Manual de Ensayo de Materiales del (MTC, 2013), el ensayo de Granulometría consiste en la determinación del tamaño de partículas que se presentan en un suelo y son representadas como un porcentaje de peso seco total y para ello se coloca la muestra total de suelo en tamices ordenados sistemáticamente según norma, y se pesan las cantidades retenidas en cada malla por separado, debiéndose llegar a la porción de muestra inicial en peso. Posteriormente, se grafica estos resultados en la curva granulométrica que es una representación gráfica en escala logarítmica de lo que se ha obtenido y que además puede facilitar la comparación de diferentes suelos.

Adicionalmente, con estos datos se pueden obtener tres parámetros básicos del suelo, necesarios para clasificar suelos granulares: Diámetro efectivo, Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Curvatura.

2.2.1.5. Ensayo de Límites de Consistencia

Según el Manual de ensayo de materiales (MTC, 2013), este ensayo, conocido también como Límites de Atterberg, sostiene que los suelos finos contenidos en el suelo natural pueden representar diferentes estados dependiendo de la cantidad de agua que contengan, como estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso.

✓ Límite Líquido

El límite líquido se da cuando existe exceso de agua en un suelo, se anulan las fuerzas de atracción interparticular (cohesión), que lo

mantenían unido, y este suelo se transforma en un líquido viscoso que no posee capacidad resistente.

✓ Límite Plástico:

El límite plástico se presenta cuando el suelo se deforma cuando se le aplican pequeños esfuerzos; es decir, es fácilmente moldeable. Entonces, dado que su comportamiento es plástico no vuelve a recuperar su estado inicial luego de concluido el esfuerzo, por lo cual, mecánicamente, no es apto para resistir cargas adicionales.

✓ Límite Semisólido

El límite semisólido se presenta cuando el suelo es fácilmente moldeable, pero se quiebra o resquebraja antes de cambiar de forma. Es mecánicamente aceptable; sin embargo, no es un sólido puro, puesto que al ir secándose o perdiendo agua va disminuyendo su volumen.

Dependiendo del tipo de suelo, el nivel de agua que contenga lo hace variar de un estado a otro. Y para la mecánica de suelos lo fundamental es conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico; es decir, el contenido de agua que puede tener el suelo generando deformaciones en éste, sin que se pierdan las propiedades del suelo, sin que se rompa y se pierda la plasticidad.

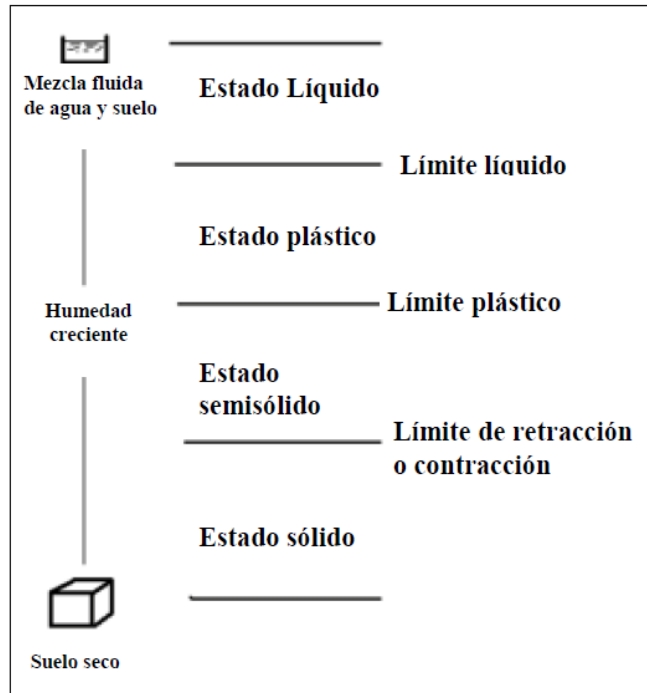


Figura N° 2: Límites de Consistencia

✓ Índice de plasticidad (IP)

Se halla a través de la diferencia entre ambos límites y se denomina índice de plasticidad, que en términos generales otorga una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo.

$$IP = LL - LP$$

Según en Manual de Carreteras, Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos del (MTC, 2013), el índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo.

Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

Tabla N° 5: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelos Muy Arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	Suelos Arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos Poco Arcillosos
IP = 0	No Plástica (NP)	Suelos Exentos de Arcilla

Fuente: (MTC, 2013)

2.2.1.6. Ensayo de Proctor Modificado

Este ensayo consiste en compactar la muestra en un proceso repetitivo y cuyo objetivo es conseguir una densidad específica para una relación óptima de agua.

Para el ensayo de Proctor, primero, se obtiene una granulometría apropiada y, según ello, se elige el método de compactación adecuado (Métodos A, B o C); seguidamente, se modifica su humedad a través de la adición de agua y, finalmente, se le transmite energía de compactación por medio de golpes o de presión. Para esto, se pueden utilizar diversos tipos de máquinas, generalmente rodillos lisos, neumáticos, pie de cabra, vibratorios, etc., en función del tipo de suelo y dependiendo de su accesibilidad.

Con este ensayo, se pretende determinar los parámetros óptimos de compactación, (Óptimo contenido de Humedad y Máxima densidad seca).

Gracias a la amplia experiencia en este campo, se ha comprobado que el suelo se compacta mejor en la medida en que aumenta su humedad y, sin embargo, la densidad seca va aumentando hasta llegar a un punto de máximo, entonces esa es la humedad óptima.

A partir de este punto, cualquier incremento de humedad no supone mayor densidad seca, sino por el contrario reducción de ésta o presencia del fenómeno de Acolchonamiento (por exceso de agua).

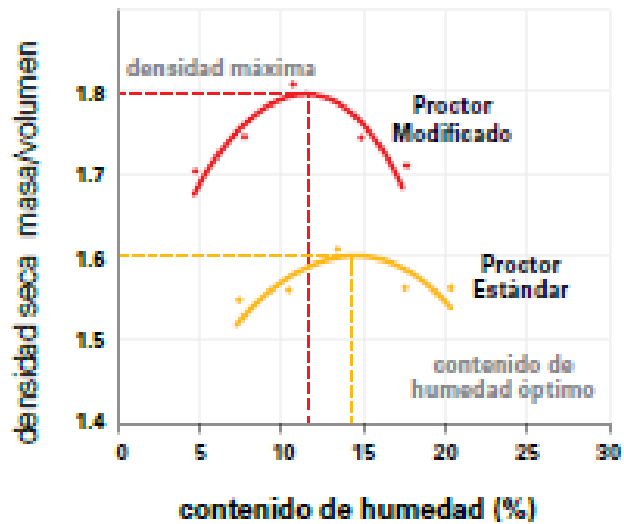


Figura N° 3: Curvas de compactación para Proctor Estándar y Modificado.

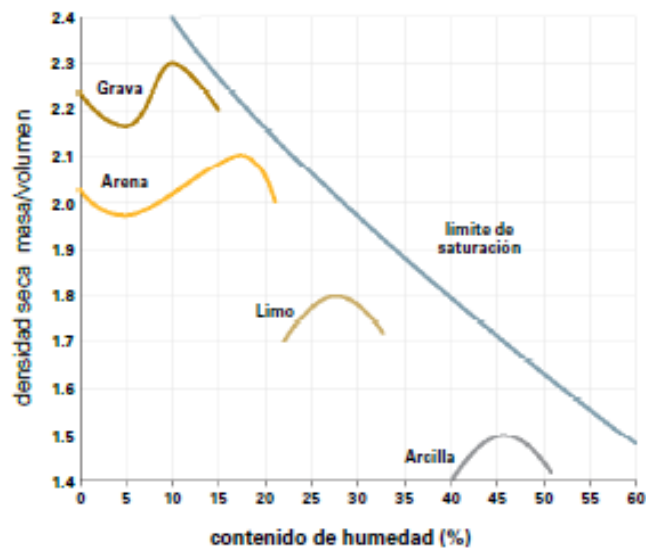


Figura N° 4: Curvas de Proctor según tipo de suelo

Objetivo del Ensayo de Proctor:

El índice obtenido sirve para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de sub- rasante y de las capas de base, sub- base y de afirmado.

Ventajas de la compactación:

- ✓ Aumenta la capacidad para soporte de cargas: Debe existir una buena distribución de material granular y material aglutinante para evitar existencia de vacíos, ya que debilitan el suelo y lo incapacitan para soportar cargas pesadas. Sin embargo, cuando las partículas se encuentran bien distribuidas, el suelo es capaz de soportar cargas mayores debidas a que las partículas mismas soportan mejor.
- ✓ Impide el hundimiento del suelo: Cuando existe una compactación uniforme con la misma cantidad de energía en cada apisonado, se evita el hundimiento y deformación del suelo (asentamientos diferenciales).
- ✓ Reduce el escurrimiento del agua: Un suelo bien compactado reduce la penetración de agua, ya que sus partículas de agregado grueso y agregado fino están bien distribuidas, se busca que el agua fluya para que pueda regularse el drenaje.
- ✓ Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo: Similarmente, se evitan los vacíos con una compactación uniforme y buena distribución de materiales, evitando que el agua pueda penetrar en el suelo y llenar estos vacíos y así producir esponjamiento del suelo; por ejemplo, durante la estación de lluvias y la contracción del mismo durante la estación seca.
- ✓ Impide los daños de las heladas: La compactación también evita que, al infiltrarse el agua y luego congelarse, se expanda y aumente su volumen. Esta acción a menudo causa que el pavimento se hinche y, a la vez, las paredes y losas del piso se agrieten.

Limitaciones del Proctor:

Según (Galindo, 2014), el ensayo de compactación tiene algunas limitaciones que dificultan el ensayo y pueden hacer variar los resultados.

- ✓ Cuando se realiza el ensayo de Proctor, y dependiendo de la energía de quien apisona el molde con material, existe diferencias entre quienes lo compactan, pues unos ejercen más presión que otros, así como unos ejercen mayor inclinación que otros.
- ✓ También existe otra limitación cuando el material tiene exceso de humedad, pues se reduce el volumen de éste, y parece que existiera menor muestra.
- ✓ Asimismo, para obtener resultados exactos, se requiere que los equipos a utilizar se encuentren calibrados y que el molde tenga las medidas establecidas según norma.

Proctor Estándar y Proctor Modificado

La semejanza radica en que en ambos ensayos se utilizan porciones de muestra de suelo mezclándolas con cantidades distintas de agua, colocándolas en un molde y compactándolas con una masa, anotando las humedades y densidades secas correspondientes.

Una vez que se tiene los parámetros, humedad/ densidad seca (humedad en %), se colocan los valores conseguidos en un gráfico cartesiano donde la abscisa corresponde a la humedad y la ordenada a la densidad seca; con estos datos, es posible diseñar una curva suave y conseguir el punto donde se produce un máximo al cual corresponda la densidad seca máxima y la humedad óptima.

La diferencia que existe entre el ensayo Proctor Normal y Proctor Modificado es la energía de compactación usada.

En el Proctor Normal se hace caer un peso de 2.5 kilogramos de una altura de 30 centímetros, compactando la tierra en 3 camadas

con 25 golpes y, en el Proctor Modificado, se hace caer un peso de 5 kilogramo de una altura de 45 centímetros, compactando la tierra en 5 camadas con 50 golpes.

2.2.1.7. Ensayo de CBR

Resistencia al Suelo

El comportamiento mecánico del suelo es el factor más importante, ya que busca encontrar la mayor estabilidad mecánica posible para el suelo, de manera que los esfuerzos se transmitan uniforme y progresivamente, y no se produzcan asentamientos excesivos. Para la obtención de la resistencia del suelo, se usan distintos procedimientos de ensayo y el más empleado es el de capacidad portante.

Capacidad Portante

La capacidad portante de un suelo es definida como la carga que el suelo puede resistir sin que existan asentamientos desmedidos. El indicador que ayuda a obtener ese valor en carreteras es el índice CBR (California Bearing Ratio).

La determinación de este parámetro se realiza en laboratorio, a través del ensayo normalizado MTC E 132. Luego de que se clasifica el suelo con el sistema SUCS y AASTHO, se procede a realizar un perfil estratigráfico para cada tramo en estudio, donde se precisan la cantidad de ensayos para la determinación del CBR, que estará referido al 95% de la Máxima Densidad Seca y a una penetración de carga de 2.54 mm.

El ensayo consiste en la compactación del terreno en moldes establecidos según norma (determinar la carga que hay que aplicar a un pistón circular de 19,35 cm² para introducirlo en una muestra de suelo a una velocidad de 1,27 mm/min y hasta obtener una penetración de 2,54 mm.), y luego se sumergen en agua y se aplica

punzonamiento sobre la superficie del terreno con un pistón normalizado.

Además de los ensayos usuales, se recomienda realizar un ensayo para determinar la erosión del material fino en el afirmado, por la condición de la lluvia.

CONTENIDO DE AGUA EN LA COMPACTACIÓN DE SUELOS

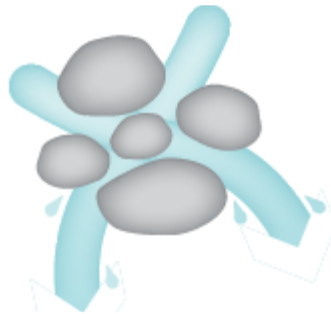
Según (Cat, 2016), el agua es realmente importante en el proceso de la compactación de suelos, y las características físicas de cada tipo de suelo son las que definen cómo reacciona éste con la humedad; es decir, para cada tipo de suelo existe un contenido de humedad que maximiza sus propiedades con la compactación adecuada.

En general, se puede decir que mientras más pequeñas sean las partículas del suelo en estudio, mayor influencia tendrá el agua sobre la compactación. Asimismo, un suelo con poco contenido de humedad es difícil de trabajar, debido a que sus partículas carecen de la lubricación necesaria para reordenarlas en un estado más denso, a través de la compactación; además, las partículas no tendrán la cohesión suficiente para permanecer en donde se hayan asentado.

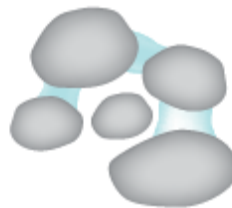
Entonces, se puede decir que la adición de agua mejora la cohesión y lubricación; sin embargo, el exceso de ésta puede ocasionar la saturación del suelo y ocasionar otros efectos como el desplazamiento del material del suelo, causando inestabilidad o si es agua congelada, expande y desplaza el suelo a su alrededor y luego al derretirse ocupa menos volumen, creando un espacio que permite que haya asentamiento.

Se debe tener en cuenta que el agua está presente en todos los suelos (en sus estados naturales) y en una de las siguientes tres maneras.

1. El agua gravitacional se desplaza libremente hacia abajo, debido a la fuerza de gravedad y se drena del suelo de manera natural.

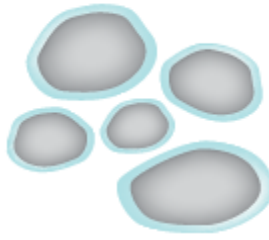


2. El agua capilar permanece en los poros o vacíos del suelo. Se le considera agua libre y solo se puede eliminar mediante la evaporación o reducción del nivel freático.



3. El agua higroscópica es la que permanece en el suelo después de haber eliminado el agua gravitacional y capilar. Esta agua es retenida por la afinidad física y química de los granos del suelo en forma de una película muy delgada.

A este contenido de humedad también se le conoce como “aire-seco”. La eliminación de humedad requiere que el suelo se hornee y de esta manera poder determinar el peso seco real.



La humedad en exceso sobre-lubrica el suelo y lo hace inestable. La poca humedad reduce la cohesión y evita que las partículas se organicen fácilmente para lograr un estado más denso.

Para cada tipo de suelo existe un contenido de humedad ideal para alcanzar la máxima densidad posible por medio de la cantidad adecuada de energía de compactación. El ensayo Proctor se desarrolló como medio para definir el contenido óptimo de humedad con base en los esfuerzos de compactación seleccionados.

CAL

Según (Saavedra Vera, 2013) , la cal es el ligante más antiguo después del yeso y además el único utilizado por las civilizaciones antiguas como los egipcios, griegos y romanos.

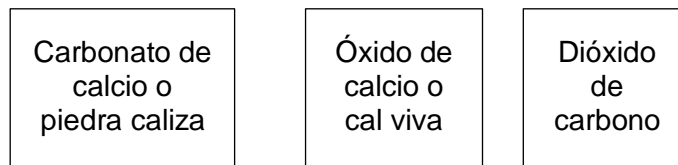
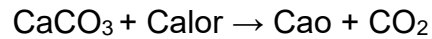
Es un producto químico natural que se obtiene de la roca caliza (piedra calcárea), cuando es sometida a altas temperaturas entre 700° y 900° C, hasta obtener Cal Viva; en esa fase tiene lugar la transformación del Calcio: de Carbonato a Óxido, por desprendimiento del dióxido de Carbono (CO₂), contenido en la piedra.

Al agregar agua o humedad (apagar la cal), el material se hidrata y se denomina hidróxido de calcio; parte del agua se libera a la atmósfera como vapor, ya que en este momento se origina una reacción de calor (exotérmico) no contaminante.

Tipos de cal:

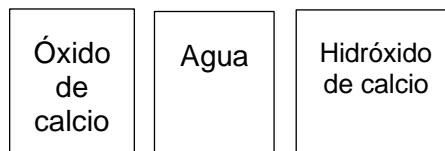
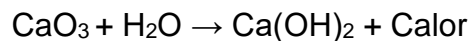
2.2.1.8. Cal viva

Es el resultado de la calcinación del carbonato de calcio (CaCO_3) a más de 1000°C , ya que éste se descompone dando dióxido de carbono y óxido de calcio o cal viva.



2.2.1.9. Cal Hidratada

Es el nombre comercial del hidróxido de calcio, que se forma al agregarse agua al óxido de calcio o cal viva para que una vez apagada (hidratada) pueda utilizarse. La cal apagada es el nombre común del hidróxido de calcio, ya que cuando los albañiles vierten agua sobre la cal viva, dicen que la han apagado. Este término se refiere al apagado exotérmico; es decir, que en este proceso se desprende gran cantidad de calor que evapora parte del agua utilizada. La cal "apagada" tiene un volumen tres veces mayor que el de la cal viva.



2.2.1.10. Cales Aéreas

Se denominan así porque endurecen al aire mediante su reacción con el anhídrido carbónico del mismo u otra fuente de CO₂ (dióxido de carbono). Además, se clasifican a su vez en:

- *Cal dolomítica*: También conocida como cal gris o cal magra. El producto obtenido en la calcinación depende de la composición química de las calizas, por lo que ésta se denomina así por su origen, es decir, por ser el resultado de la calcinación de rocas calizas que contienen dolomita, de donde surge el óxido de calcio y de magnesio, que también es un óxido básico, pero no es recomendable para construcción porque se apaga muy lentamente con agua; en cambio, se usa con éxito en la industria azucarera.
- *Cal cálcica o grasa*: Es una cal muy pura o con muy escaso contenido de arcillas y es muy eficiente en la preparación de las mezclas aéreas. Son llamadas así debido a que la acción cementante se logra por carbonatación de la cal mediante el CO₂ (dióxido de carbono) atmosférico. Las cales grasas fabricadas con piedras calizas de gran pureza contienen 95% o más de óxido de calcio. Cuando se apaga, dan una pasta blanca, untuosa y fuertemente adhesiva, contrariamente a las cales magras, que tienen porcentajes de óxido de calcio comprendidos entre el 80 y el 90%.

2.2.1.11. Cales hidráulicas

Son llamadas así porque fraguan y endurecen con el agua. Contienen entre un 10 y 20% de arcillas y en ellas el efecto cementante se logra tanto por medio de la carbonatación de la cal, como por el proceso de hidratación de los silicatos y aluminatos formados por reacción a bajas temperaturas entre la caliza y la arcilla presente.

Proceso de fabricación de la cal

Tiene 7 etapas, que son descritas a continuación:

1. Extracción. Se retira material vegetal, procediendo a perforar según el plan de minado diseñado, cargando después los explosivos para el tumbe, se carga el material ya fragmentado y se trasporta al sistema triturador.
2. Trituración. Los fragmentos de roca se reducen de tamaño tamizándolos; ya homogéneos, se transportan mediante bandas hacia los hornos; para rotatorios se requieren tamaños pequeños.
3. Calcinación. La cal se produce por cocción de las rocas calizas o dolomitas mediante flujos de aire caliente que circula en los huecos o poros de los fragmentos rocosos; las rocas pierden dióxido de carbono produciéndose el óxido de calcio. Debido al tamaño y forma homogénea de los fragmentos, la cocción ocurre de la periferia hasta el centro quedando perfectamente calcinada la roca.
4. Enfriamiento. Posteriormente, se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresen al horno como aire secundario.
5. Inspección. El proceso siguiente es la inspección cuidadosa de muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar.
6. Cribado. Se somete a cribado separando a la cal viva en trozo y segmentos de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.
7. Trituración y pulverización. Este paso se realiza con el objeto de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.
8. Hidratación. Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio. Únicamente la cal viva

dolomítica pasa por un hidratador a presión y, posteriormente, a molienda para obtener cal dolomítica hidratada a presión.

9. Envase y embarque. La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

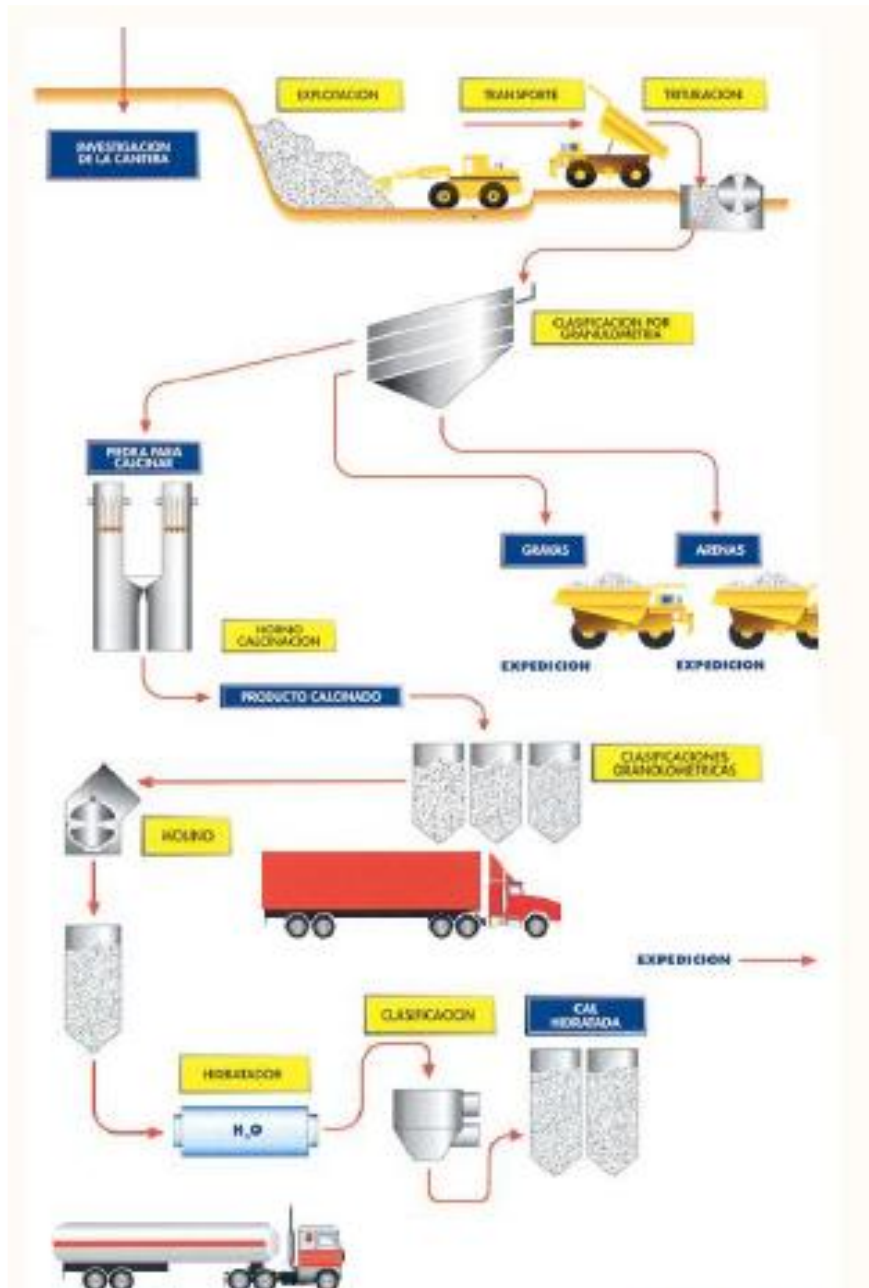
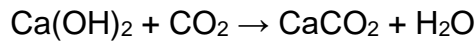


Figura N° 5: Proceso de Fabricación de la cal

Ciclo de la cal

El ciclo de la cal empieza con la explotación de la roca caliza que es triturada y calcinada a una temperatura mayor a los 900 °C para obtener la cal viva, la cual, al contacto con agua en cierta proporción, se hidrata para dar origen a la cal apagada que es muy común. Para las mezclas de albañilería, se le agrega agregado fino y agua; y una vez que la cal ya aplicada en la construcción entra en contacto con el dióxido de carbono de la atmósfera y se recarbonata, se forma la siguiente solución:

*Recarbonatación:



Es decir, la mezcla se convierte en roca, y es muy durable, similar a las edificaciones antiguas, la resistencia que las mezclas de cal alcanzan al paso del tiempo es superior a la de cualquier otra mezcla; además, no produce sales nocivas por su elasticidad y evita retracciones posteriores.

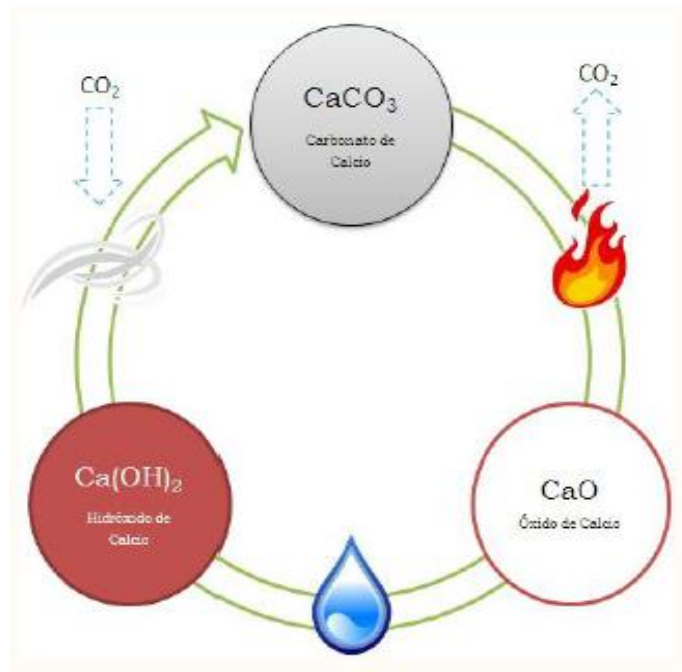


Figura N° 6: Ciclo de la Cal

Usos de la cal

1. En construcción: Se usan para

- ✓ Mezclas para juntas, morteros o mezclas de albañilería.
- ✓ Pintura e impermeabilizante
- ✓ Adobes estabilizados
- ✓ Estabilización de suelos
- ✓ Mezclas asfálticas
- ✓ Restauración

2. En la industria: Se usan para

- ✓ Siderurgia
- ✓ La industria del vidrio
- ✓ La industria del papel
- ✓ La industria del petróleo
- ✓ Metalurgia y minería
- ✓ Acuicultura
- ✓ Agricultura
- ✓ Curtiduría
- ✓ Azúcar
- ✓ Procesos químicos especializados

3. En el medio ambiente: Se usan para

- ✓ Tratamientos de agua
- ✓ Estabilización de lodos residuales
- ✓ Tratamiento de desechos sólidos
- ✓ Desulfuración de gases
- ✓ Viviendas bioclimáticas

- ✓ Tratamiento de aguas negras
- ✓ Tierras contaminadas
- ✓ Alimentación avícola

Ventajas:

- ✓ La cal es producida con menos consumo de energía que el cemento, por lo que es considerada más económica y ambientalmente más aceptable.
- ✓ En morteros y trabajos de enlucido, la cal es muy superior al cemento portland, proporcionando superficies suaves con una mayor probabilidad a deformarse que a agrietarse y ayudan a controlar los movimientos de humedad y la condensación.
- ✓ Como la resistencia generada por el cemento portland, no siempre es necesaria (y a veces incluso puede ser peligrosa); el aglomerante puzolana - cal proporciona un sustituto más barato y estructuralmente más adecuado, conservando así el cemento para usos más importantes.
- ✓ La lechada de cal no sólo son pinturas más económicas, sino que también actúan como un germicida suave.

Desventajas:

- ✓ La estabilización de suelo con cal requiere más de dos veces el tiempo de curado necesario para el suelo estabilizado con cemento.
- ✓ Si la cal viva es guardada en condiciones húmedas (incluso con aire húmedo), se hidratará.
- ✓ La cal hidratada, guardada por mucho tiempo, reacciona gradualmente con el dióxido de carbono en el aire y se vuelve inservible.

- ✓ El hinchamiento de la cal (hidratación de los nódulos de cal viva restantes) puede tener lugar mucho tiempo después de que el componente se haya secado, causando ampollas, grietas y superficies feas.
- ✓ Las lechadas de cal ordinaria tardan en endurecerse y son fáciles de retirar frotándolas.
- ✓ Las cocciones tradicionales de la cal en hornos intermitentes desperdician mucho combustible (generalmente leña) y a menudo producen cales no uniformes, de baja calidad (sobre o sub-cocidas)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

a) Acolchonamiento

Es el estado en el que el suelo no puede ser compactado, debido al exceso de agua; y sucede cuando se ha pasado al límite plástico, o se ha superado el óptimo contenido de humedad.

b) Afirmado

El afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesado, con determinada gradación que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas ((MTC, 2013)

Los ensayos que se realizarán al material a ser usado como afirmado para su control de calidad están establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para construcción.

c) Capa de Rodadura

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

d) Ensayo de Proctor

El ensayo Proctor, sea Estándar o Modificado, se efectúa cinco veces con la misma muestra de suelo. Cada ensayo que se efectúa se hace con base en el mismo procedimiento, pero con diferentes contenidos de humedad.

La serie comienza humedeciendo la muestra por debajo del contenido óptimo de humedad probable. Después de compactarla dentro de un envase cilíndrico, se mide el peso húmedo y retira una porción para colocarla en el horno. Cuando la porción queda completamente seca, se pesa nuevamente. La diferencia entre el peso húmedo y seco produce el contenido de humedad que se expresa en porcentaje de peso seco.

La segunda muestra pasa por el mismo procedimiento (compactar, secar y pesar), pero con más contenido de humedad. Las demás pruebas se procesan de la misma manera, pero con mayor contenido de humedad hasta que la unidad de peso húmedo se reduzca o que sea imposible trabajar con el suelo por exceso de humedad.

Los resultados obtenidos en cuanto a la densidad seca y contenido de humedad de cada muestra se trazan hasta formar una curva continua. El punto más alto de la curva representa la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad para esa muestra.

e) Contenido de Humedad

Según el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la (UNI, 2006), el contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

f) Energía de compactación

La calidad de la compactación depende del contenido de humedad, método de compactación y energía de compactación

g) Óptimo contenido de humedad

Según (Parro, 2019), el OCH es el contenido de agua del terreno que permite obtener una densidad máxima mediante su compactación.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO CIENTÍFICO

Es una serie ordenada de procedimientos que hace uso de la investigación científica, la experiencia y la reflexión, que suministran pautas lógicas generales para realizar y coordinar operaciones orientadas al planteamiento y búsqueda de soluciones adecuadas a los problemas relacionados con la ciencia del modo más efectivo posible; de esa forma, el desarrollo de la investigación se enfoca en un proceso continuo de planeamiento en elaboración de especímenes, para un proceso de ensayos que definan el comportamiento mecánico del concreto, permita resolver los problemas planteados en la investigación. (Gonzales Castro, y otros, 2011)

3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación en la cual se desarrolla se encuentra enfocado en el tipo aplicado; es decir, dentro de su análisis confronta la teoría con la realidad mediante la realización de ensayos para evaluar a partir de qué porcentaje de humedad es afectado el suelo, debido a la saturación (acolchonamiento) y cómo reducir esta humedad con porcentajes de óxido de calcio, con el fin de probar la hipótesis. (HERNANDEZ, 2014)

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación es experimental y cuasi experimental, debido a que se manipulan intencionalmente las variables independientes, adición de porcentajes de óxido de calcio (causa), para analizar las consecuencias que se generen en la variable dependiente, niveles de humedad del material de afirmado, producido por la saturación de éste (acolchonamiento) - (efecto). (HERNANDEZ, 2014)

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población se refiere al universo, conjunto o totalidad de elementos sobre los que se investiga o se hacen estudios, que comparten por lo menos una característica en común, que se encuentren determinados por el problema y objetivo de estudio. (ARIAS, 2006)

El universo de estudio se encuentra constituido por todos los agregados para afirmado existentes en las canteras de Huancayo.

3.3.2. MUESTRA

La muestra es NO PROBABILÍSTICA, dirigida o por conveniencia, ya que la elección de los especímenes que dependen de la característica de la investigación y no de una probabilidad, para la determinación del contenido de humedad óptima en un suelo y el exceso del mismo en porcentajes, que es denominado saturación del suelo (acolchonamiento).

Asimismo, la muestra es el afirmado híbrido elaborado con los materiales de las canteras Chaclas- Sapallanga (material gravoso) y cantera Palián (material ligante) – Huancayo en el periodo actual.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS

- ✓ Para el análisis del material, se recogió la muestra de 2 canteras distintas, la cantera de Chaclas – Sapallanga y la cantera de Palián en Huancayo, departamento de Junín,
- ✓ Se procedió al secado del material extraído de las canteras.
- ✓ Luego, se hizo el ensayo de granulometría con las muestras de material fino y material granular que se han sido extraídos de las canteras respectivas.

- ✓ También se hizo el ensayo de límites de consistencia del material para afirmado.
- ✓ Asimismo, se hizo el ensayo de Proctor modificado para obtener los valores de Máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la muestra.
- ✓ A partir de los datos obtenidos en el ensayo de Proctor, se saturó la muestra con exceso de humedad para conocer hasta que porcentaje de humedad se produce el acolchonamiento del material.
- ✓ Finalmente, se incrementaron dosificaciones de cal en el material para afirmado con exceso de humedad y material que se encuentra en acolchonamiento, para evaluar si con este incremento puede recuperarse el suelo.

3.4.2. INSTRUMENTOS

Los instrumentos que se han utilizado en el desarrollo de la investigación fueron, una serie de tamices normalizados para ensayo de granulometría, equipo de Copa Casagrande luna de reloj y para límites de consistencia y equipo completo para ensayo de Proctor modificado, balanzas, horno, SOFTWARE que se requieran, equipos de cómputo, entre otros.

3.4.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento de los datos obtenidos con los ensayos se hará con el uso de Softwares como Excel, SPSS y Otros.

3.4.4. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos que se logran obtener a partir de la etapa de procesamiento de información es útil porque hará posible la interpretación y análisis de las mismas, con lo cual será posible proporcionar el porcentaje de uso adecuado del óxido de calcio para el control de la saturación en el material de afirmado

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En este capítulo, se van a describir y analizar los resultados de la caracterización de material de afirmado híbrido obtenido de las canteras de Palián - Huancayo y Chaclas de Sapallanga, que se van a realizar a través de los ensayos de laboratorio.

Para poder conocer el Porcentaje óptimo de Grava y Arcilla que debe tener el Afirmado, se van a comparar los resultados de los valores obtenidos en laboratorio que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad exigidos, y sobre todo las características técnicas indicadas en la norma del MTC:

- ✓ Gradación óptima de material para Afirmado
- ✓ Límite Líquido: 35% máximo
- ✓ Índice de Plasticidad: 4 -9 %
- ✓ CBR: 40% mínimo

4.1.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARA AFIRMADO

Los resultados de caracterización de material para afirmado se obtuvieron de la combinación de 70% de material granular – gravoso de la cantera de Chaclas – Sapallanga en Huancayo y 30% de material ligante de la cantera de Palián – Huancayo.

a. GRANULOMETRÍA

La granulometría representa la distribución de los tamaños del material para afirmado, según las especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). A partir de la cual se puede estimar, con

mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar para los fines propuestos.

En la tabla N° 6, se hace referencia a los resultados de los pasantes de tamices seleccionados para la granulometría cuya muestra fue de 1000 gr., donde se observa la distribución de tamaños de partículas del suelo para afirmado conformado por 70% de material gravoso obtenido de las Cantera Chaclas de Sapallanga y 30% de material ligante de las Canteras de Palián.

La granulometría indica que el material cumple los requerimientos para usarse como afirmado de carreteras, pues está dentro de la Gradación C, especificada en la Norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para Afirmados. Los Certificados de Ensayo de Laboratorio para este ensayo se adjuntan en el ANEXO 02.

Tabla N° 6: Análisis granulométrico por tamizado

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050	29.8	3.0	3.0	97.0
1/2"	12.700	48.3	4.8	7.8	92.2
3/8"	9.525	76.0	7.6	15.4	84.6
1/4"	6.350	99.4	9.9	25.4	74.7
No. 4	4.760	98.2	9.8	35.2	64.8
No. 8	2.360	172.6	17.3	52.4	47.6
No. 10	2.000	149.9	15.0	67.4	32.6
No. 16	1.190	105.3	10.5	78.0	22.1
No 20	0.834	25.2	2.5	80.5	19.5
No 30	0.600	23.9	2.4	82.9	17.1
No. 40	0.420	20.7	2.1	84.9	15.1
No. 50	0.300	42.1	4.2	89.1	10.9

No. 60	0.250	29.5	3.0	92.1	8.0
No. 80	0.177	13.3	1.3	93.4	6.6
No. 100	0.149	10.0	1.0	94.4	5.6
No. 200	0.075	5.3	0.5	95.0	5.1
< No. 200		6.2	0.6	100.0	

Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, se traza la curva granulométrica, como se muestra en la figura 7.

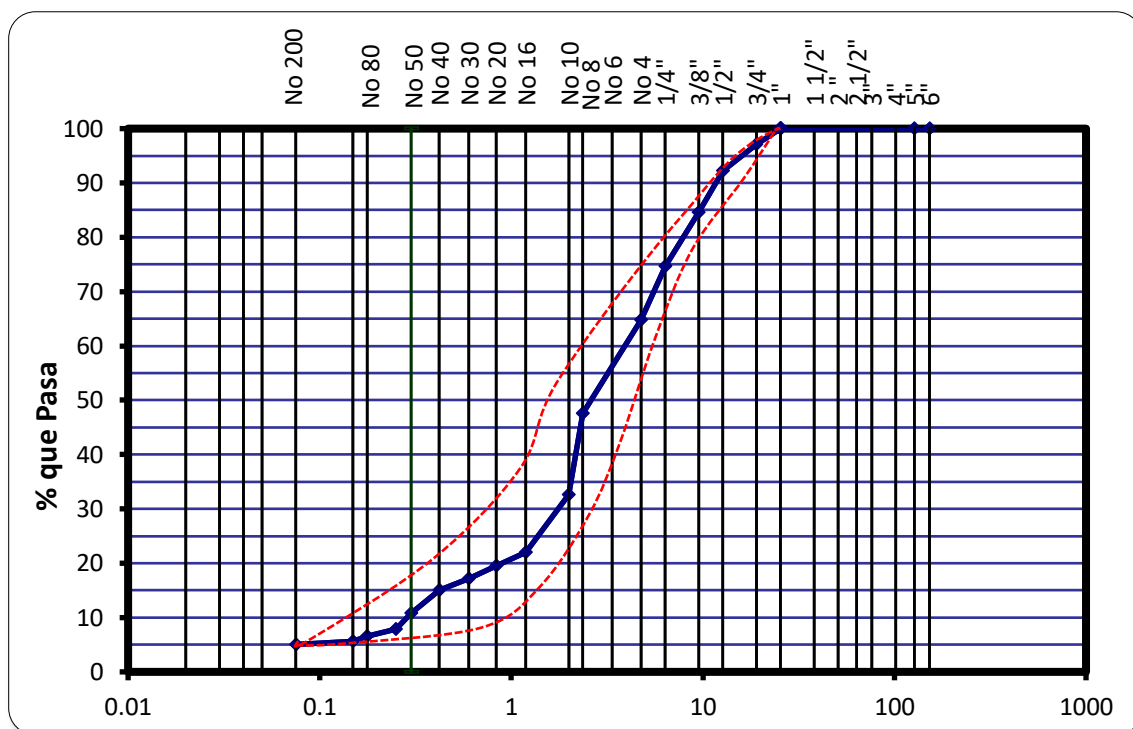


Figura N° 7: Curva Granulométrica

La curva granulométrica se traza, respecto a los datos obtenidos en la tabla anterior, que son el resultado del retenido por cada tamiz normado; se puede observar en la figura N°7 la forma que tiene la gráfica, esta nos indica que el material no es homogéneo. Sin embargo, la curva se encuentra dentro de las franjas granulométricas simbolizadas con líneas puntiagudas rojas. Según lo indicados en la Tabla 301 – 01 de las “ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN” (EG – 2013), DEL MANUAL DE CARRETERAS.

b. LÍMITES DE CONSISTENCIA

Los límites de consistencia o límites de Atterberg se usan para identificar y clasificar al suelo y también ayudan a predecir la máxima densidad seca en estudios de compactación.

Además, contribuyen a conocer cuánto índice de plasticidad posee un suelo, los resultados provienen directamente de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. La plasticidad es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por lo cual la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. Los Certificados de Ensayo de Laboratorio para este ensayo se adjuntan en el ANEXO 03.

Límite Líquido:

Este ensayo basado en MTC EM 110 se resume en la tabla siguiente se muestran los resultados de límite líquido obtenidos en laboratorio gracias al ensayo de Copa Casagrande, cuya abertura se cerró en un máximo de 22 golpes.

Tabla N° 7: Resultados de Límite Líquido

Capsula Nro	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	1	2	3
Peso de la Capsula (g)	38.5	39.5	37.6
Peso de la Capsula + Suelo Húmedo (g)	51.90	56.90	54.70
Peso de la Capsula + Suelo Seco (g)	49.40	53.8	51.90
Numero de Golpes	7	11	22
Peso del agua (g)	2.5	3.10	2.80
Peso del Suelo Seco (g)	10.9	14.3	14.30
Contenido de Humedad (%)	22.94	21.68	19.58
OPTIMO LIMITE LIQUIDO	19.22		

Fuente: Elaboración propia

De los resultados encontrados, se obtiene la figura siguiente:

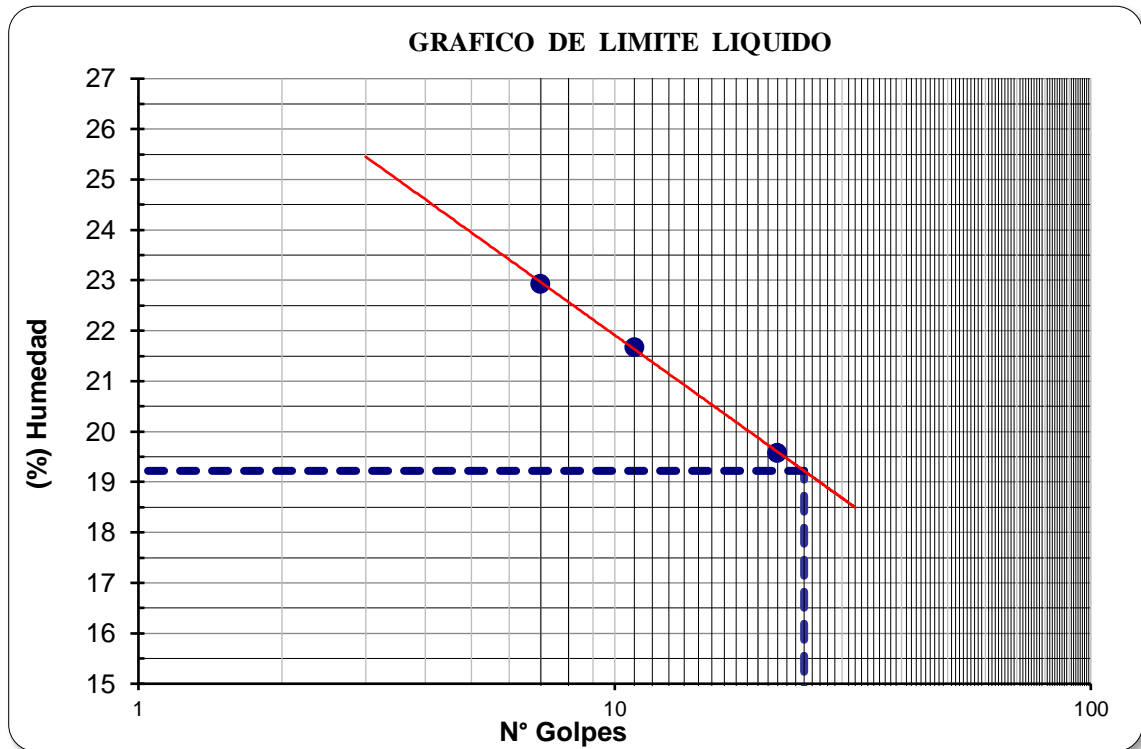


Figura N° 8: Representación Gráfica de Limite Líquido

Esta figura (Figura N° 8) analiza los límites de consistencia, que representa la intersección entre el contenido de humedad de la muestra y el número de golpes por cada muestra que se utilizó para el ensayo.

Límite Plástico:

Este ensayo, basado en MTC EM 111, se resume en la Tabla N° 9 y muestra los resultados obtenidos del ensayo de límite plástico, es decir la formación de rollitos de muestra que no deben fragmentarse hasta lograr un cilindro delgado de 3mm de diámetro, lo cual nos indicará si este suelo contiene plasticidad o no.

Tabla N° 8: Resultados de Límite Plástico

Cápsula Nro	LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111)	
	1	2
Peso de la Capsula (g)	37.90	38.60
Peso de la Cápsula +Suelo Húmedo (g)	42.10	47.3
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (g)	41.70	46.20
Peso del Agua (g)	0.40	1.10
Peso del Suelo Seco (g)	3.80	7.60
Contenido de Humedad (%)	10.53	14.47
PROMEDIO	12.50	

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, de los resultados de Límite líquido y límite plástico, se obtiene el índice de plasticidad, como se muestra a continuación:

- ✓ Límite Líquido : 19.2
- ✓ Límite Plástico : 12.5
- ✓ Índice de Plasticidad : 6.7

El resultado del Índice de Plasticidad indica cuán moldeable o deformable es el suelo según sus características mecánicas, cuando éste es sometido a una tensión que supera su límite elástico. En caso de este suelo, se observa que tiene un porcentaje arcilla que lo hace moldeable y por lo cual se deberá considerar que es un suelo sensible al agua; sin embargo, el material predominante es el gravoso.

c. PROCTOR MODIFICADO

Este ensayo se calcula por compactación del suelo, que para la presente investigación usó el Método de Compactación B, debido

la indicación de la norma del MTC, que dice que cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg), se usará el Método B de compactación, en el cual se usó un molde de 4 pulgadas de diámetro mediante un pistón que ejerce 44.5 N de fuerza, dejándolo caer de una altura de 18 pulgadas, en 5 capas de 25 golpes cada una, donde se produce la energía de compactación de 56000 lb-pie/pie³.

En la tabla siguiente, se observan los datos obtenidos a través del ensayo de Proctor por el método B, para cuatro puntos de muestra, es decir, con 2%, 4%, 6% y 8% de humedad. Los Certificados de Ensayo de Laboratorio para este ensayo se adjuntan en el ANEXO 04.

Tabla N° 9: Proctor Modificado - Método B

Método de compactación		B			
Número de golpes		25			
Número de capas		5			
CÁLCULO DE DENSIDAD HUMEDA		PORCENTAJE DE AGUA			
		2%	4%	6%	8%
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	5774	5919	5987	5932
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo húmedo	g	1974	2119	2187	2132
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	1.911	2.051	2.117	2.064
CÁLCULO DE HUMEDAD		PORCENTAJE DE AGUA			
		2%	4%	6%	8%
6. Cápsula N°		1	2	3	4
7. Peso del suelo húmedo.+ capsula	g	246.3	359.5	286.8	263.7
8. Peso del suelo seco + cápsula	g	238.3	343.1	269.9	247.2

9. Peso del agua	g	8.0	16.4	16.9	16.5
10. Peso de la cápsula	g	94.2	92.6	86.9	89.7
11. Peso del suelo seco	g	144.1	250.5	183.0	157.5
12. Contenido de humedad	%	5.55	6.55	9.23	10.48
13. Promedio de cont. de humedad	%	5.6	6.5	9.2	10.5
CÁLCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.810	1.925	1.938	1.868

Fuente: Elaboración Propia

En la figura siguiente se muestra la representación del ensayo de Proctor para distintas muestras.

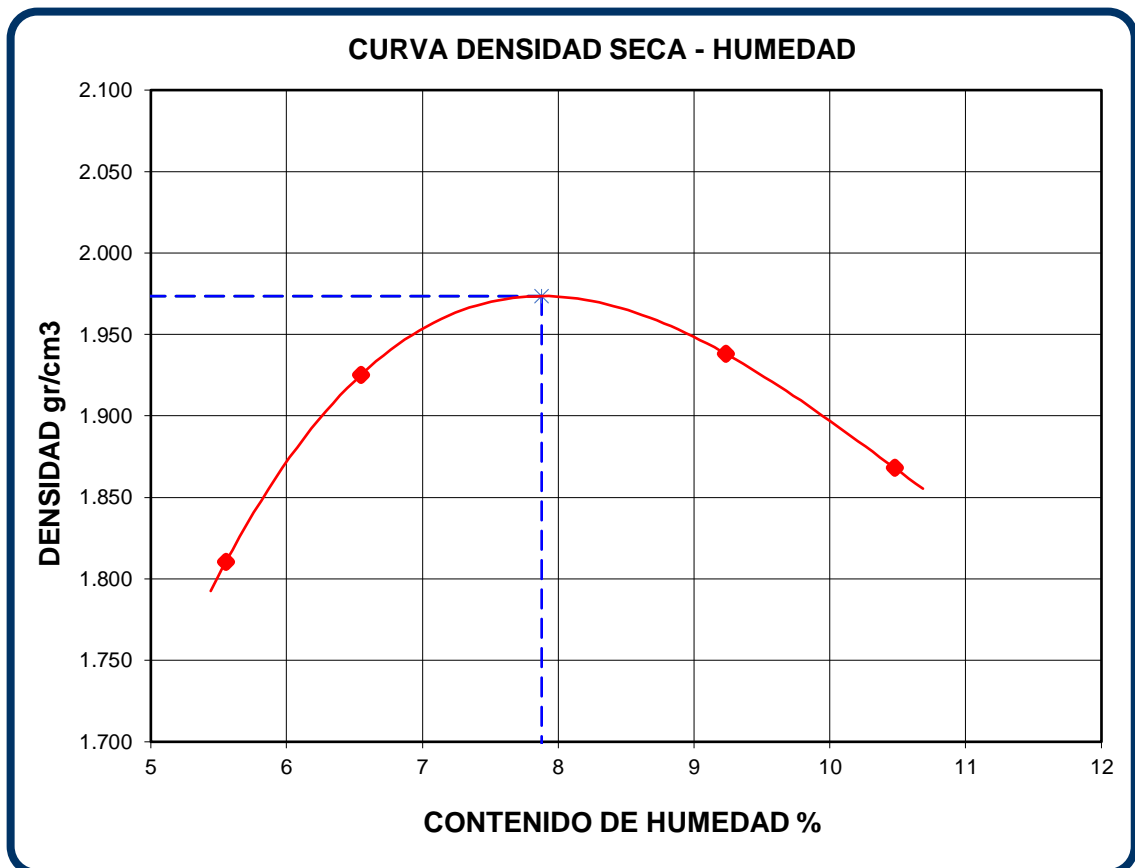


Figura N° 9: Curva de MDS – OCH

Esta figura N° 9, muestra la curva de densidad seca y porcentajes de contenido de humedad, que permiten obtener el máximo contenido de humedad (OCH) para material que se utilizará como afirmado y su máxima densidad seca (MDS), cuyos valores son:

RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	7.9
Densidad Máxima (g/cm ³)	1.974

d. CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Para realizar la clasificación del suelo, se puede utilizar el Método SUCS o el método AASHTO, como se describe a continuación, para el material que se tiene:

Método SUCS

Para hacer la clasificación SUCS se usó el ensayo de Límites de Consistencia, donde se intersectan el resultado de límite líquido e índice de plasticidad (donde se usó material fino entre granular y arcilloso seleccionado en proporción de 70% y 30%), como se muestra en la Figura N° 10, donde se clasifica el material del Afirmado, dentro de los limos o arcillas, (ML) que representa limos o arenas finas y arcillas o limos arcillosos con ligera plasticidad, así como los (CL), que representan arcillas de mediana plasticidad que también cuentan con grava y arena..

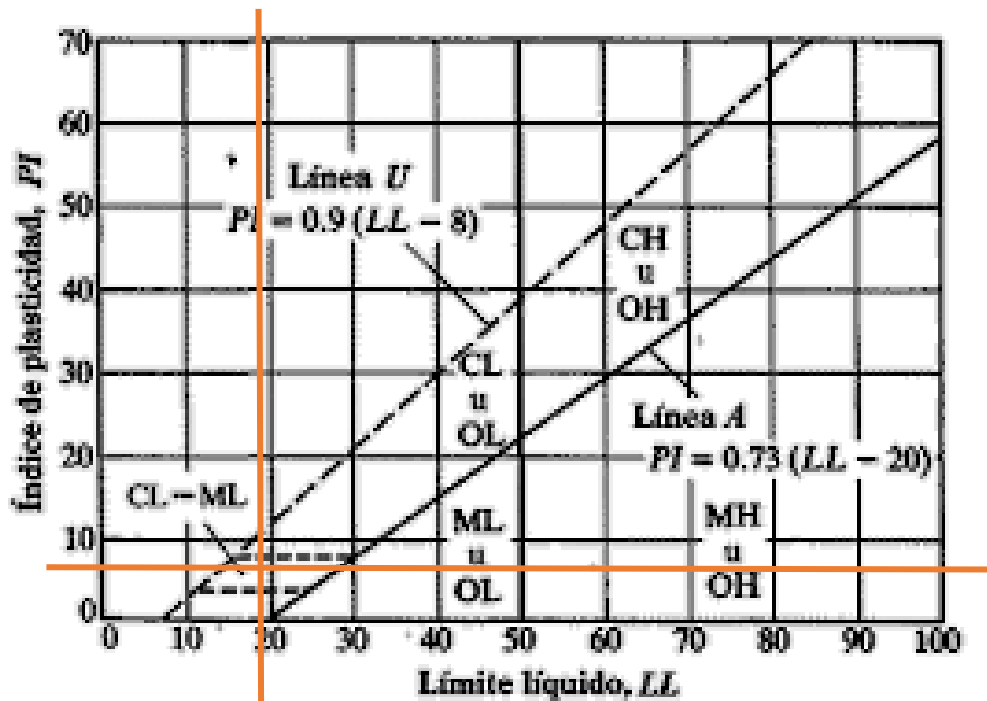


Figura N° 10: Carta de Plasticidad

Sin embargo; al hacer la Clasificación de Suelos con ayuda de la Tabla, se utilizan los valores de Proctor y CBR, donde se utiliza el material en su totalidad incluyendo gravas, arenas y arcillas, por lo cual, la clasificación tomará en cuenta los granos grandes de la muestra, obteniendo (GP) que representa gravas mal graduadas con mezcla de arena – grava y algo de material fino, según lo observado en la Gráfica de la curva granulométrica, señalada con anterioridad.

Tabla N° 10: Tipo de Suelos según Método SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES	SÍMBOLO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	Densidad óptima P.M.	CBR In situ	
SUELOS DE GRANO GRUESO	Gravas	GW	Excelente	Excelente	2.00 - 2.24	60 - 80
		GP	Bueno a excelente	Excelente	1.76 - 2.08	25 - 60
		GM $\left\{ \begin{array}{l} d \\ u \end{array} \right.$	Bueno a excelente	Aceptable a mala	2.08 - 2.32	40 - 80
			Bueno	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	20 - 40
	GC	Bueno	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	20 - 40	
	Arenas	SW	Bueno	Excelente	1.76 - 2.08	20 - 40
		SP	Aceptable a bueno	Excelente	1.60 - 1.92	10 - 25
		SM $\left\{ \begin{array}{l} d \\ u \end{array} \right.$	Aceptable a bueno	Aceptable a mala	1.92 - 2.16	20 - 40
			Aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20
	SC	Malo a aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20	
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas (LL < 50)	ML	Malo a aceptable	Aceptable a mala	1.60 - 2.00	5 - 15
		CL	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.60 - 2.00	5 - 15
		OL	Malo	Mala	1.44 - 1.70	4 - 8
	Limos y arcillas (LL > 50)	MH	Malo	Aceptable a mala	1.28 - 1.60	4 - 8
		CH	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.44 - 1.76	3 - 5
		OH	Malo a muy malo	Casi impermeable	1.28 - 1.68	3 - 5
SUELOS ORGÁNICOS	Pt	Inaceptable	Aceptable a mala	-	-	

Fuente: Adaptación de la Norma SUCS.

Método AASHTO

Para esta clasificación, se usan los límites de consistencia y el pasante por la malla 200, según su granulometría. La teoría indica que mientras menor sea el IG, mejores son las cualidades del suelo.

$$\text{Índice de Grupo (IG)} = (F-35) (0,2 + 0,005 (LL -40)) + 0,01 (F-15) (IP -10)$$

Donde:

F: % que pasa el tamiz N° 200

LL: Limite Líquido

IP: Índice de plasticidad

Por lo tanto:

$$IG = ((1,2 - 35) * (0,2 + 0,005 * (19,2 - 40)) + 0,01 * (1,2 - 15) * (6,7 - 10))$$

$$IG = -2,789 \text{ entonces el } IG = 0$$

Este índice de grupo indica que el suelo es bueno para ser trabajado.

Y se hace la clasificación AASHTO, donde se consideran los datos de Límite Líquido, índice de plasticidad e Índice de Grupo, por lo cual la clasificación final del material según AASHTO indica que el material está compuesto por Grava y Arenas limosas o arcillas, lo cual señala que el material seleccionado para afirmado es bueno.

Tabla N° 11: Tipo de Suelo según Método AASHTO

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20					
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Fuente: AASHTO, 1914

e. EXCESO DE HUMEDAD EN EL SUELO - ACOLCHONAMIENTO

El exceso de humedad producido en un suelo puede tener múltiples causas; sin embargo, la más común es la lluvia que puede darse cuando se está ejecutando la partida de extendido y compactado de material. Y para determinar si este material saturado es recuperable o no; se analiza este material. En las pruebas de laboratorio, se usa el método de observación durante el ensayo de compactación o Proctor; donde se observa que el suelo compactado empieza a deformarse cuando existe saturación o exceso de humedad.

Este estado es también conocido en obra como estado de acolchonamiento; sin embargo, y con fines de control de costos, se procura recuperar este suelo siempre y cuando el exceso de humedad no supere al valor del Límite Plástico del material analizado previamente.

Por lo cual, para la presente investigación se procedió a saturar la muestra con una cantidad de agua superior al óptimo, es decir valores mayores a 7,9%; por lo cual se trabajó con porcentajes de humedad de 9%, 10%, 12%, y 14%; y a través de la visualización, se observó en qué porcentaje de humedad el material empezó a saturarse o acolchonarse; considerando que el valor del límite plástico es de 12,5%, es decir este es el valor que servirá de parámetro para la medición de la saturación y posible recuperación del suelo.

Después de haber evaluado el material visualmente, durante el ensayo de compactación, se observó que el acolchonamiento se presenta a partir de 10% hasta 12,5%. (Parámetro). Los Certificados de Ensayo de Laboratorio para este ensayo se adjuntan en el ANEXO 06.



Material saturado con 10% de Humedad



Ensayo de compactación con 10% de Humedad

Tabla N° 12: Valores de Acolchonamiento del suelo

Método de compactación		B			
Numero de golpes		25			
Numero de capas		5			
CÁLCULO DE DENSIDAD HUMEDA		PORCENTAJE DE AGUA			
		9%	10%	12%	14%
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	6016	5989	5925	5880
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo húmedo	g	2216	2189	2125	2080
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.145	2.119	2.057	2.014
CÁLCULO DE HUMEDAD		PORCENTAJE DE AGUA			
		9%	10%	12%	14%
6. Cápsula N°		1	2	3	4
7. Peso del suelo húmedo.+ cápsula	g	288.2	341.5	238.4	301.9
8. Peso del suelo seco + cápsula	g	268.4	314.9	216.5	275.4
9. Peso del agua	g	19.8	26.6	21.9	26.5
10. Peso de la cápsula	g	89.7	86.9	49.3	85.9
11. Peso del suelo seco	g	178.7	228.0	167.2	189.5
12. Contenido de humedad	%	11.08	11.67	13.10	13.98
13. Promedio de cont. de humedad	%	11.1	11.7	13.1	14.0
CÁLCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.931	1.898	1.819	1.767

Fuente: Elaboración Propia

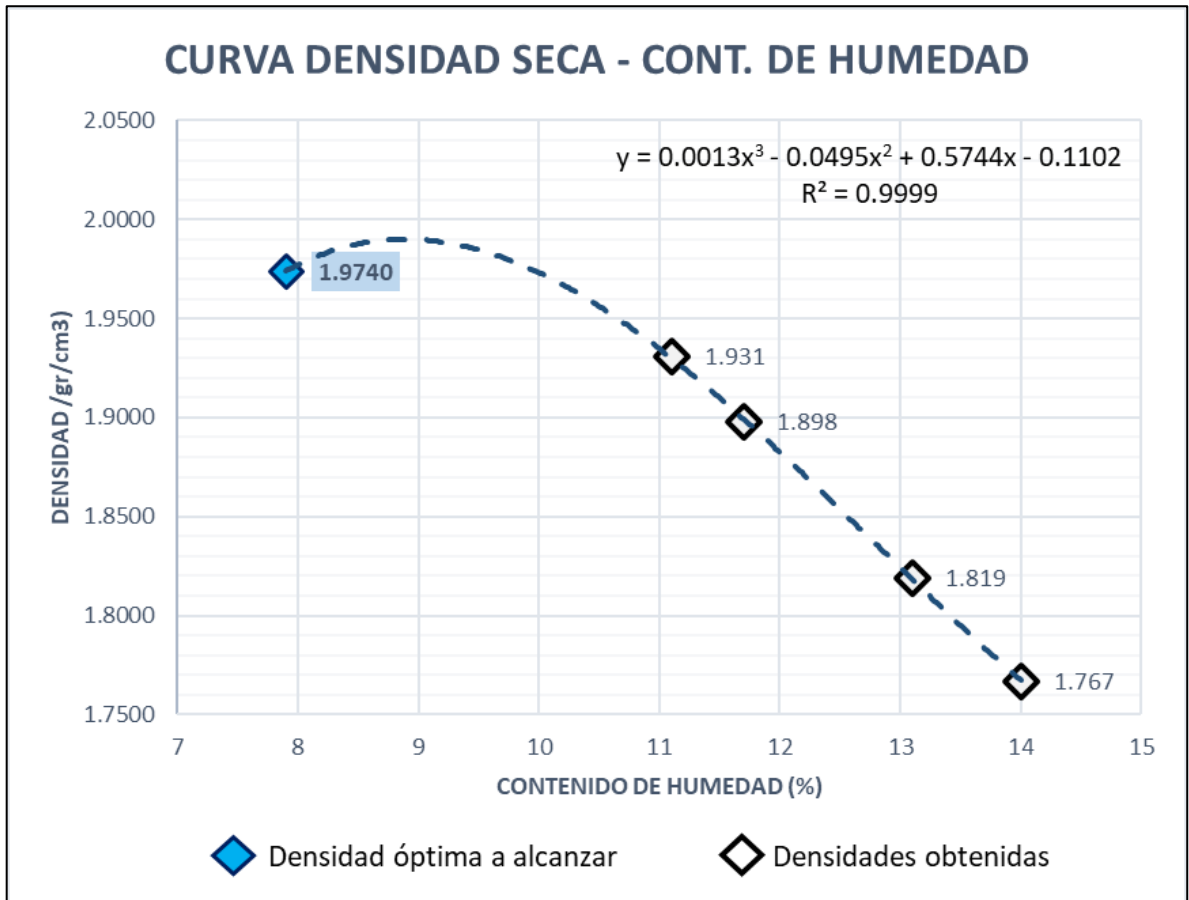


Figura N° 11: Curva Proctor de suelo Saturado 9% -14%

En la figura N°11, se ha podido demostrar que a medida que se incrementa el contenido de humedad de la muestra, la densidad decrece, de 1.974 gr/cm³ con humedad de 7.9% hasta 1.767 gr/cm³ con una humedad de 14%, evidenciándose comportamiento no deseado (acolchonamiento). A partir del 10% de humedad, esta condición se evaluó en forma directa y visual en la muestra al momento de ser compactado, pues a partir de este valor el material presentaba dificultad para compactación, teniendo deformaciones fuertes y poca recuperación.

4.1.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO CON EXCESO DE HUMEDAD – ACOLCHONAMIENTO Y DOSIFICACIONES DE ÓXIDO DE CAL

a) 10% Humedad del Suelo – Dosificaciones de óxido de cal de 2% - 10%

En la tabla siguiente, se observa el suelo para afirmado con un exceso de humedad de 10%, que se encuentra en fase de Acolchonamiento, y se trató de recuperar con incremento de cal viva en 2%, 4%, 6%, 8% y 10%, y los resultados de densidad seca se comparan con el resultado de máxima densidad seca del óptimo obtenido en el suelo natural. Los Certificados de Ensayo de Laboratorio para este ensayo se adjuntan en el ANEXO 07.

Tabla N° 13: Ensayo de Proctor 10% Humedad y Cal de 2% a 10%

Método de compactación						B			
Número de golpes						25			
Número de capas						5			
CÁLCULO DE DENSIDAD HUMEDA					PORCENTAJE DE ÓXIDO DE CAL				
					2%	4%	6%	8%	10%
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	5952	5991	5990	5995	6001			
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800			
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033			
4. Peso suelo húmedo	g	2152	2191	2190	2195	2201			
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.083	2.121	2.120	2.125	2.131			
CÁLCULO DE HUMEDAD					PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAL				
					2%	4%	6%	8%	10%
6. Cápsula N°		1	2	3	4	5			

7. Peso del suelo húmedo.+ capsula	g	451.8	212.1	284.3	302.6	373.5
8. Peso del suelo seco +capsula	g	419.7	202.0	268.8	286.9	353.5
9. Peso del agua	g	32.1	10.1	15.5	15.7	20.0
10. Peso de la capsula	g	93.7	90.0	84.3	89.7	93.6
11. Peso del suelo seco	g	326.0	112.0	184.5	197.2	259.9
12. Contenido de humedad	%	9.85	9.02	8.40	7.96	7.70
13. Promedio de cont. de humedad	%	9.8	9.0	8.4	8.0	7.7
CÁLCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.897	1.946	1.956	1.968	1.978

Fuente: Elaboración Propia

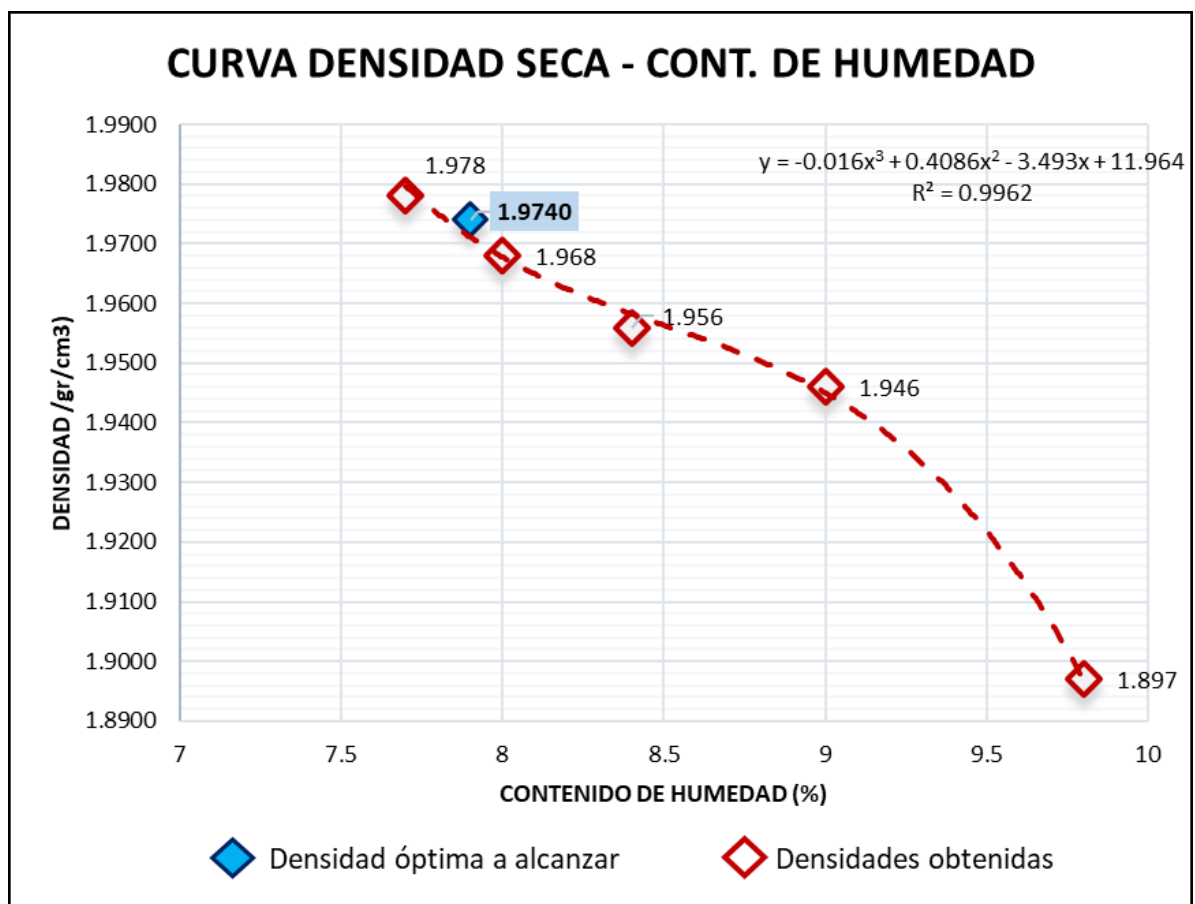


Figura N° 12: Curva Proctor 10% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%

En la figura N° 12, se observa la curva obtenida de intersecar los contenidos de humedad con la densidad seca, según la reacción del suelo con la cal, después del ensayo de Proctor; donde a simple vista se visualiza el incremento de densidad seca, cuando existe menor humedad del material, en una relación inversamente proporcional.

b) 12% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

En la tabla N° 14 se observa el suelo para afirmado con exceso de humedad de 12%, que aún se encuentra en fase de Acolchonamiento ya que no ha sobrepasado el límite plástico; y se trató de recuperar con incremento de dosificaciones de cal viva en 2%, 4%, 6%, 8% y 10%, y posteriormente comparar los resultados de densidad seca con la máxima densidad seca del óptimo obtenido en el suelo natural.

Tabla N° 14: Ensayo de Proctor 12% Humedad y Cal de 2% a 10%

Método de compactación		B				
Número de golpes		25				
Número de capas		5				
CÁLCULO DE DENSIDAD HUMEDA		PORCENTAJE DE ÓXIDO DE CAL				
		2%	4%	6%	8%	10%
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	5834	5856	5935	5960	5968
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo húmedo	g	2034	2056	2135	2160	2168
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	1.969	1.990	2.067	2.091	2.099
CÁLCULO DE HUMEDAD		PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAL				

		2%	4%	6%	8%	10%
6. Capsula N°		1	2	3	4	5
7. Peso del suelo húmedo.+ capsula	g	185.0	190.1	271.7	190.1	272.6
8. Peso del suelo seco + capsula	g	175.2	179.8	253.9	181.2	258.1
9. Peso del agua	g	9.8	10.3	17.8	8.9	14.5
10. Peso de la cápsula	g	94.7	90.2	88.0	90.3	86.9
11. Peso del suelo seco	g	80.5	89.6	165.9	90.9	171.2
12. Contenido de humedad	%	12.17	11.50	10.73	9.79	8.47
13. Promedio de cont. de humedad	%	12.2	11.5	10.7	9.8	8.5
CÁLCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.755	1.785	1.867	1.905	1.935

Fuente: Elaboración Propia

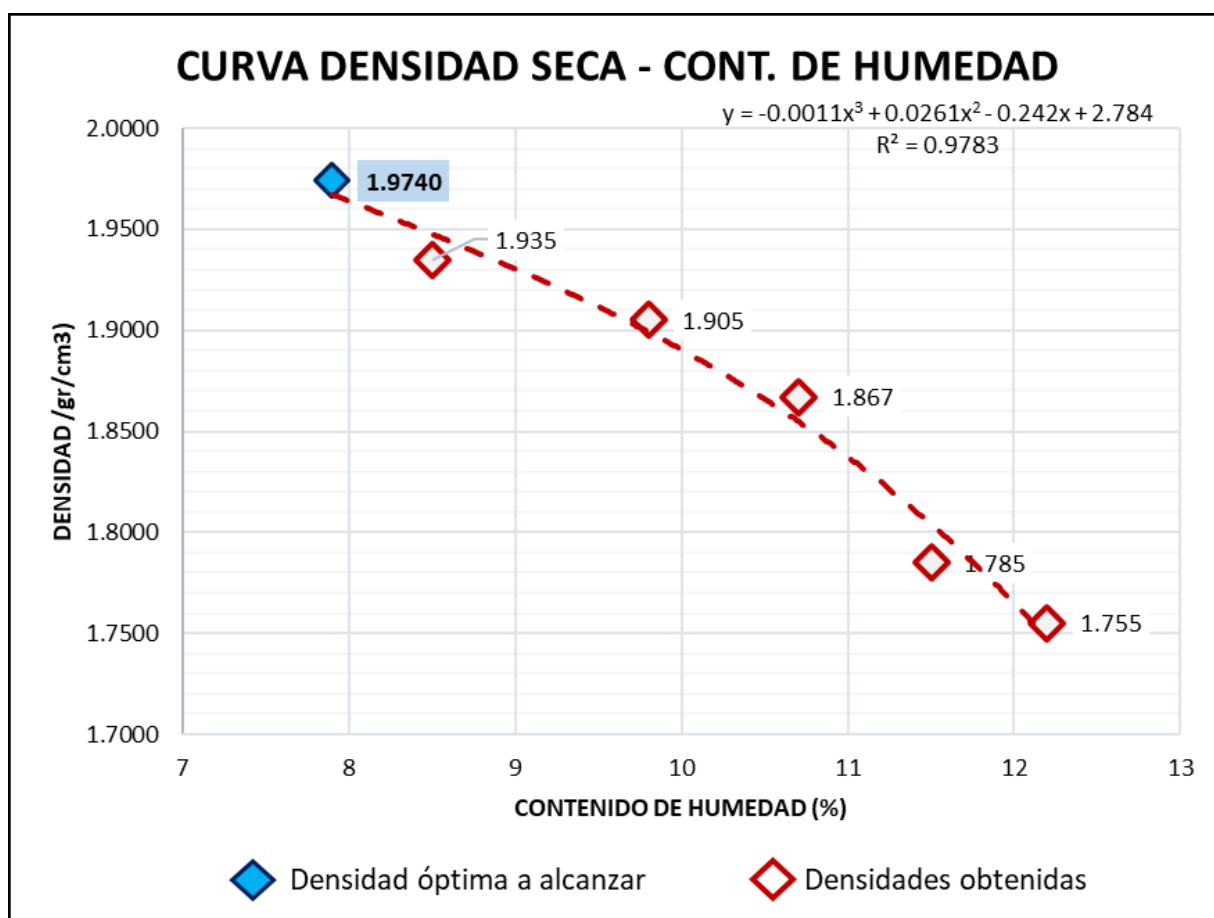


Figura N° 13: Curva Proctor 12% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%

En la figura N° 13, se observa la curva obtenida de intersecar los contenidos de humedad con la densidad seca, según la reacción del suelo con la cal, después del ensayo de Proctor; donde a simple vista se visualiza el incremento de densidad seca, cuando existe menor humedad del material, en una relación inversamente proporcional.

c) 14% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

En la tabla N° 15 se observan los resultados del suelo para afirmado con exceso de humedad de 14%, que, además, ha superado la fase de Acolchonamiento ya que sobrepasó el límite plástico; y se trató de recuperar con incremento de dosificaciones de cal viva en 2%, 4%, 6%, 8% y 10%, y posteriormente comparar los resultados de densidad seca con la máxima densidad seca del óptimo obtenido en el suelo natural.

Tabla N° 15: Ensayo de Proctor 14% Humedad y Cal de 2% a 10%

Método de compactación						B		
Número de golpes						25		
Número de capas						5		
CÁLCULO DE DENSIDAD HÚMEDA				PORCENTAJE DE ÓXIDO DE CAL				
				2%	4%	6%	8%	10%
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	5785	5799	5835	5849	5867		
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800		
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033		
4. Peso suelo húmedo	g	1985	1999	2035	2049	2067		
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	1.922	1.935	1.970	1.984	2.001		
CÁLCULO DE HUMEDAD				PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAL				
				2%	4%	6%	8%	10%
6. Capsula N°		1	2	3	4	5		
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	173.7	153.4	264.0	187.2	258.9		

8. Peso del suelo seco + capsula	g	160.9	138.9	239.8	174.1	239.4
9. Peso del agua	g	12.8	14.5	24.2	13.1	19.5
10. Peso de la cápsula	g	90.2	54.7	86.8	84.2	90.6
11. Peso del suelo seco	g	70.7	84.2	153.0	89.9	148.8
12. Contenido de humedad	%	14.10	13.22	11.82	10.57	9.10
13. Promedio de cont. de humedad	%	14.1	13.2	11.8	10.6	9.1
CÁLCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.627	1.651	1.701	1.731	1.769

Fuente: Elaboración Propia

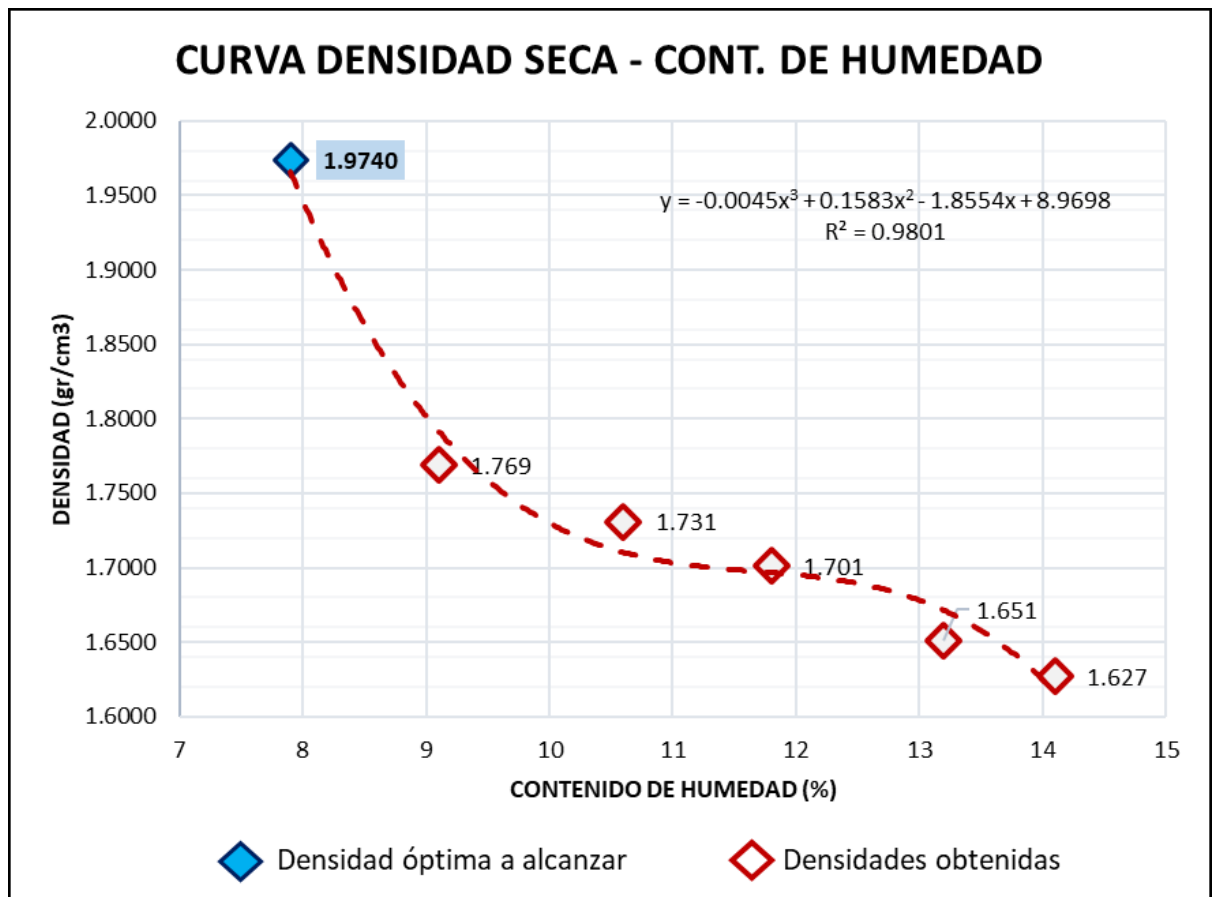


Figura N° 14: Curva Proctor 14% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%

En la figura N° 14, se observa la curva obtenida de intersecar los contenidos de humedad con la densidad seca, según la reacción del suelo con la cal, después del ensayo de Proctor; donde a simple vista se visualiza el incremento de densidad seca, cuando existe menor humedad del material, en una relación inversamente proporcional.

d) 16% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

En la tabla N° 16 se presentan los resultados del suelo para afirmado con exceso de humedad de 16%, que, además, ha superado la fase de Acolchonamiento ya que sobrepasó el límite plástico; y se trató de recuperar con incremento de dosificaciones de cal viva en 2%, 4%, 6%, 8% y 10%, y posteriormente comparar los resultados de densidad seca con la máxima densidad seca del óptimo obtenido en el suelo natural.

Tabla N° 16: Ensayo de Proctor 16% Humedad y Cal de 2% a 10

Método de compactación		B				
Número de golpes		25				
Número de capas		5				
CÁLCULO DE DENSIDAD HUMEDA		PORCENTAJE DE ÓXIDO DE CAL				
		2%	4%	6%	8%	10%
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	5715	5765	5807	5809	5861
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo húmedo	g	1915	1965	2007	2009	2061
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	1.854	1.902	1.943	1.995	2.001
CÁLCULO DE HUMEDAD		PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAL				
		2%	4%	6%	8%	10%

6. Cápsula N.º		1	2	3	4	5
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	244.1	228.3	262.9	142.1	162.8
8. Peso del suelo seco + capsula	g	208.4	198.3	233.9	128.5	145.6
9. Peso del agua	g	35.7	30.0	29.0	13.6	17.2
10. Peso de la cápsula	g	48.7	52.0	85.0	66.1	51.0
11. Peso del suelo seco	g	159.7	146.3	148.9	62.5	94.6
12. Contenido de humedad	%	16.44	14.49	13.45	12.66	11.79
13. Promedio de cont. de humedad	%	16.4	14.5	13.5	12.7	11.8
CÁLCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.515	1.579	1.626	1.638	1.693

Fuente: Elaboración Propia

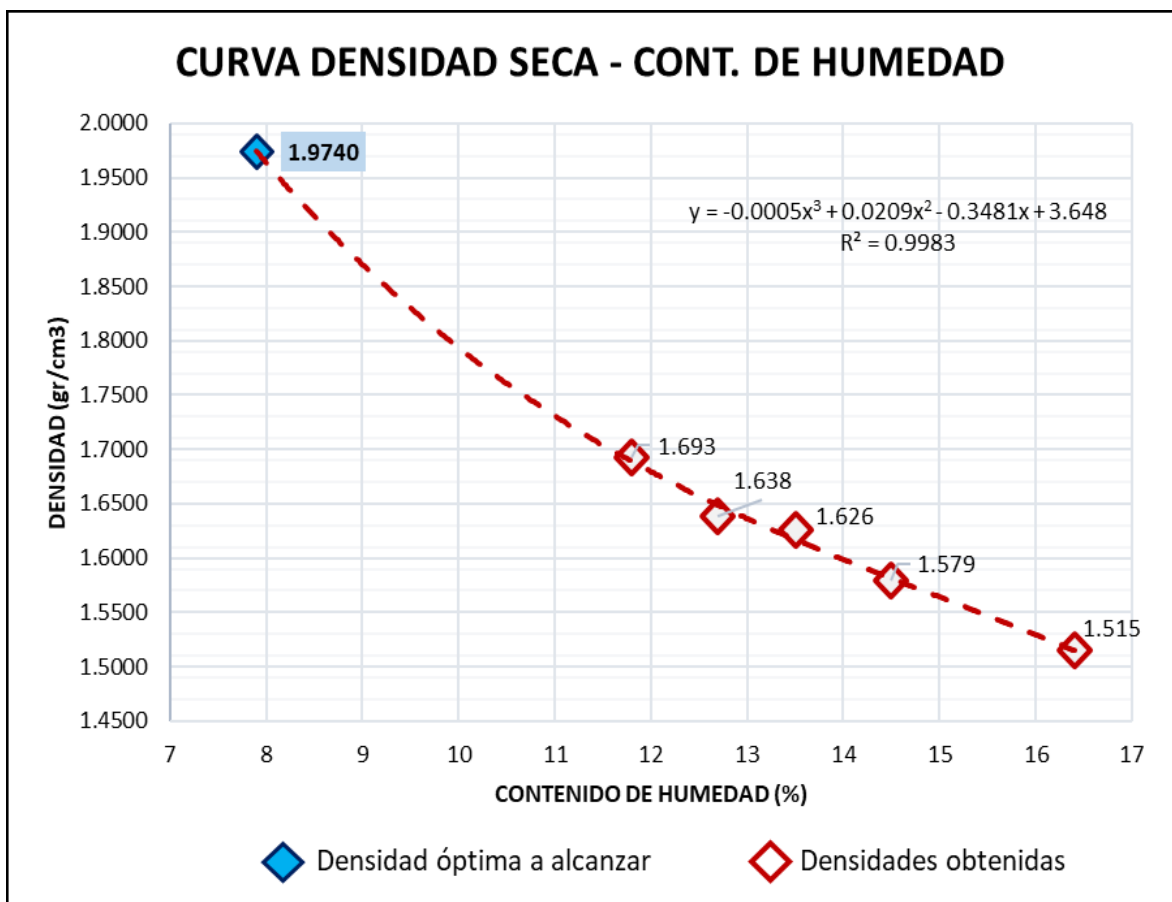


Figura N° 15: Curva Proctor 16% Humedad con Adición Cal de 2% a 10%

En la figura N° 15, se observa la curva obtenida de intersecar los contenidos de humedad con la densidad seca, según la reacción del suelo con la cal, después del ensayo de Proctor; donde a simple vista se visualiza el incremento de densidad seca, cuando existe menor humedad del material, en una relación inversamente proporcional.

4.1.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida de los ensayos realizados previamente para la caracterización y análisis de propiedades del material para afirmado obtenido de las Canteras de Palián – Huancayo y Chaclas – Sapallanga, Huancayo, según el Manual de Ensayos del MTC, permiten analizar las hipótesis planteadas a partir de los datos obtenidos.

4.1.3.1. Saturación del material (Acolchonamiento)

Gracias al ensayo de Proctor Modificado, realizado para contenidos de humedad de 9%, 10%, 12% y 14%, como se muestra en la Tabla N° 06 se observó que existe exceso de humedad en el material a partir de 10%; y que el fenómeno de Acolchonamiento propiamente se da en el Rango de 10% a 12,5%, que es el límite del estado Plástico del material.

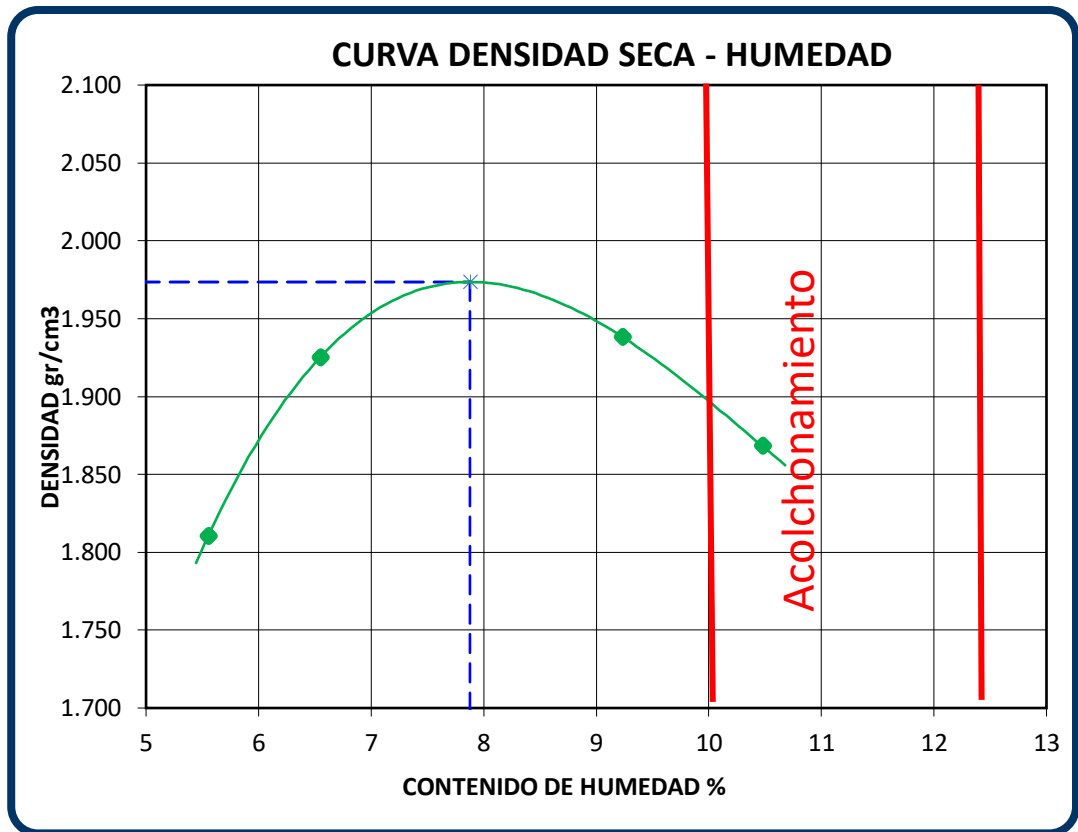


Figura N° 16: Acolchonamiento del Suelo

A continuación, se muestran las fotografías que demuestran el acolchonamiento de material, cuando existe exceso de humedad.



Acolchonamiento con 10%
de humedad



Acolchonamiento con 12%
de humedad



Acolchonamiento con 14%
de humedad

4.1.3.2. Dosificaciones de Cal para la Reducción de Saturación de Humedad

a) 10% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 10 % de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación al Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

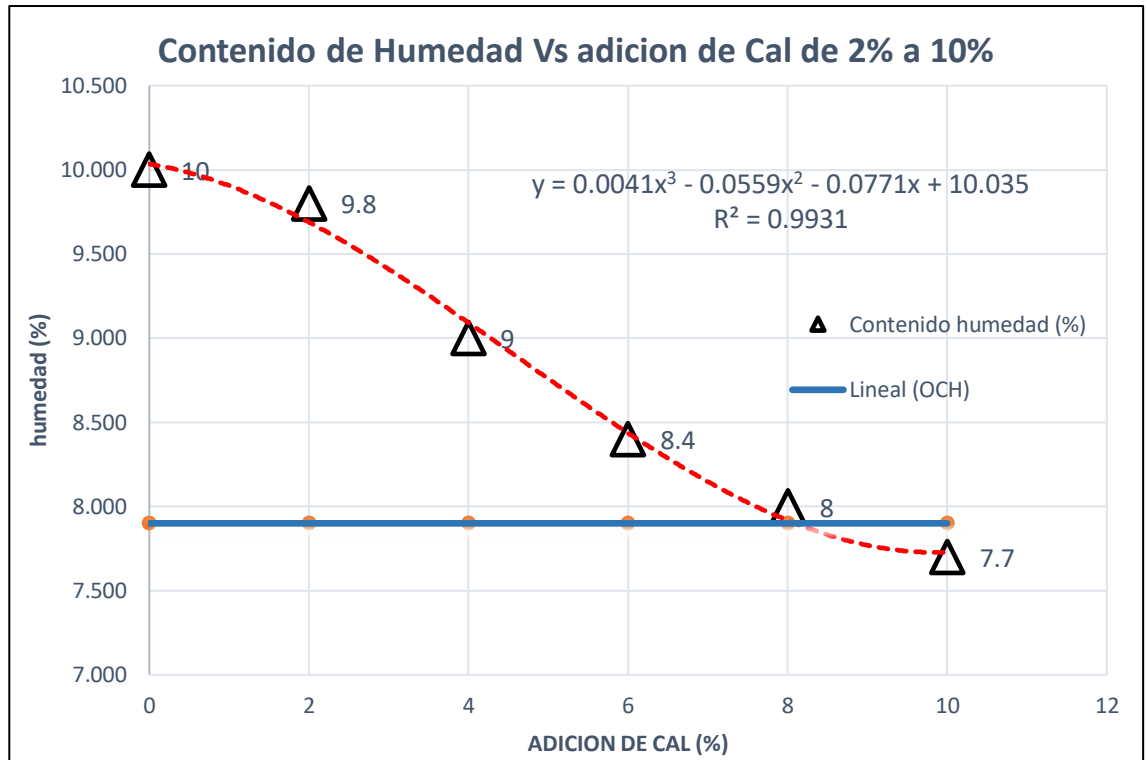


Figura N° 17: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal, para 10% de Humedad del suelo

Como se muestra en la Figura N° 17 se observa que con los incrementos de cal de 8% y 10% el suelo se recupera en el contenido de humedad, llegando al óptimo contenido de humedad de 7,9% obtenido previamente; y con el incremento de 6% de cal el resultado también se acerca al OCH; mientras que con 2% y 4% los resultados se alejan del óptimo contenido de humedad obtenido previamente y ya no se recuperan del Acolchonamiento, por exceso de humedad.

b) 12% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 12% de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación al Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

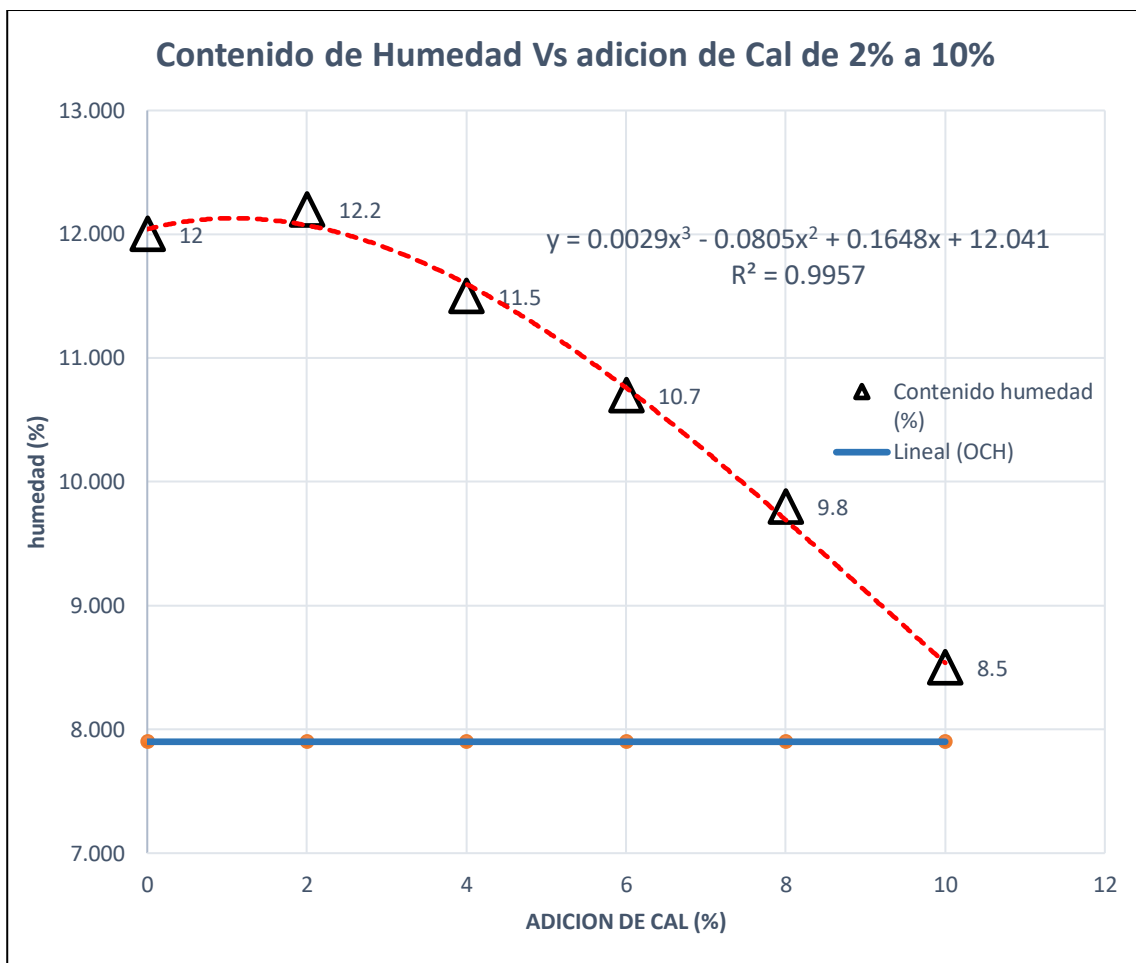


Figura N° 18: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal para 12% de Humedad del suelo

En la Figura N° 18 se muestra que el suelo no recupera el OCH, es decir no se recupera de la fase de acolchonamiento; mientras que con los incrementos de dosificaciones de 2% a 8% de cal, la humedad óptima del suelo no es recuperable.

c) 14% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 14% de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación al Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

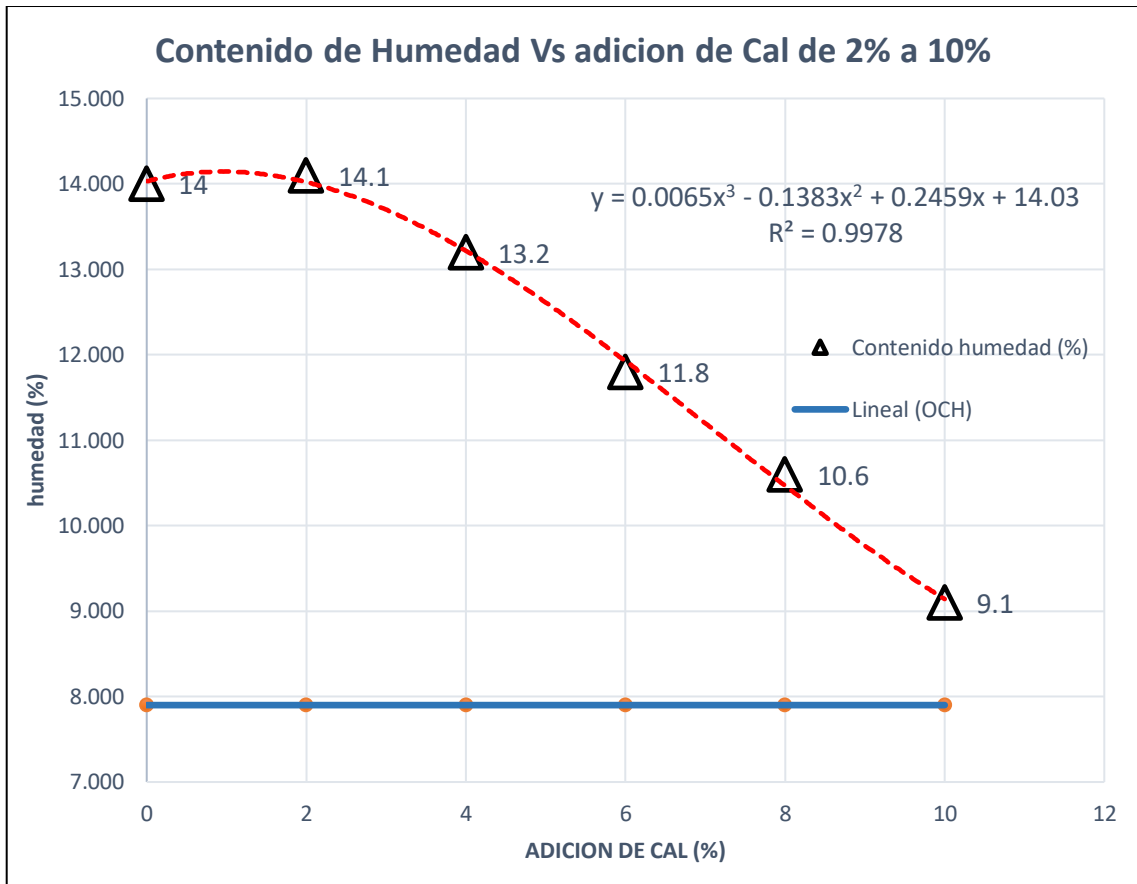


Figura N° 19: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal para 14% de Humedad del suelo

En la Figura N° 19, se analizan los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 14 % de Humedad (exceso de humedad), en relación al Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%, y se observa que, con estos porcentajes de incremento de cal, no se logra recuperar la humedad óptima del suelo, por lo tanto, este suelo es irrecuperable.

d) 16% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 16% de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación al

Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

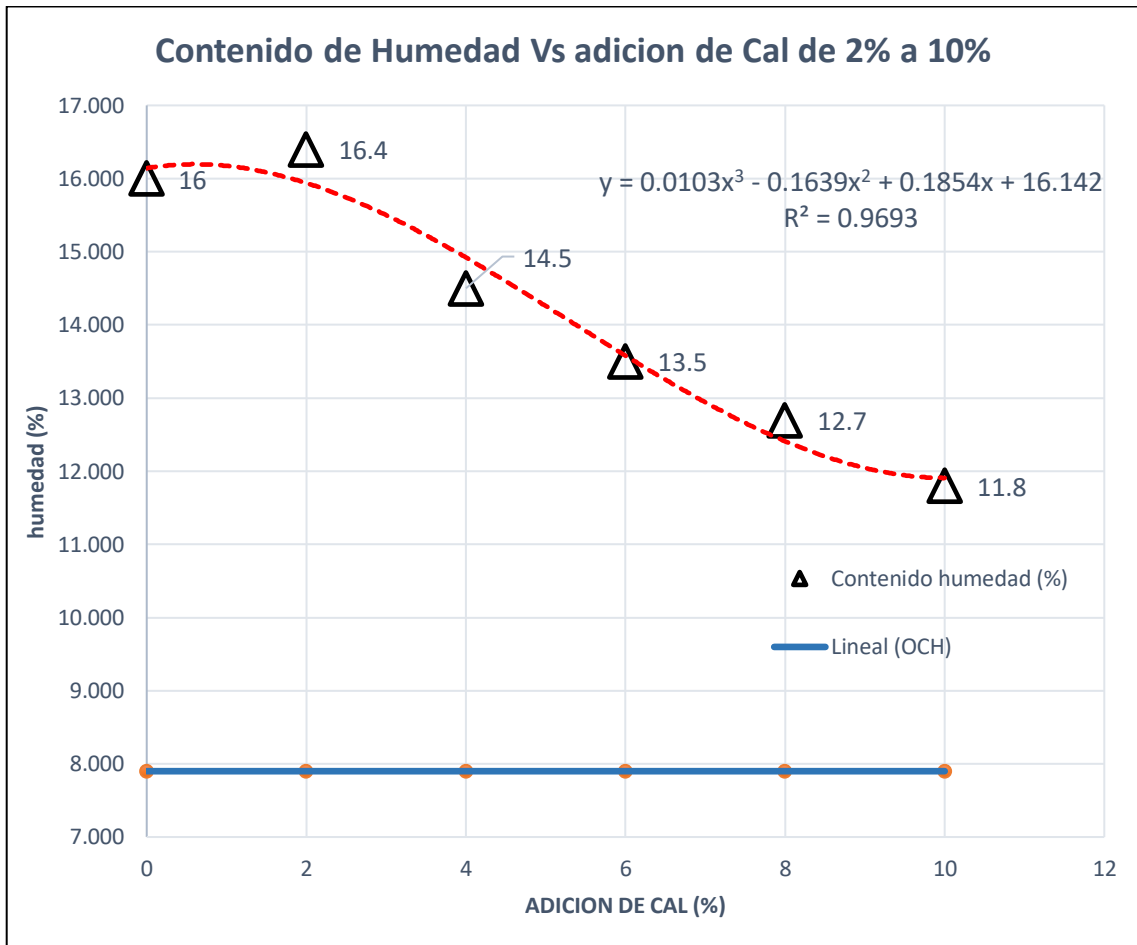


Figura N° 20: Relación de Contenido de Humedad Vs %Cal, para 16% de Humedad del suelo.

En la Figura N° 20, se analizan los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 16 % de Humedad (exceso de humedad), en relación al Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%, y se observa que, con estas dosificaciones de cal, no se logra recuperar la humedad óptima del suelo, por lo tanto, este suelo es irrecuperable.

4.1.3.3. Dosificaciones de Cal para el incremento de la Densidad Seca

a) 10% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 10 % de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación a la Densidad Seca del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

CAL		2%	4%	6%	8%	10%
10% HUMEDAD	MDS	1.89651038	1.94555904	1.95573572	1.96818289	1.97844099
	% SIMILITUD MDS	96.07%	98.56%	99.07%	99.71%	100.22%

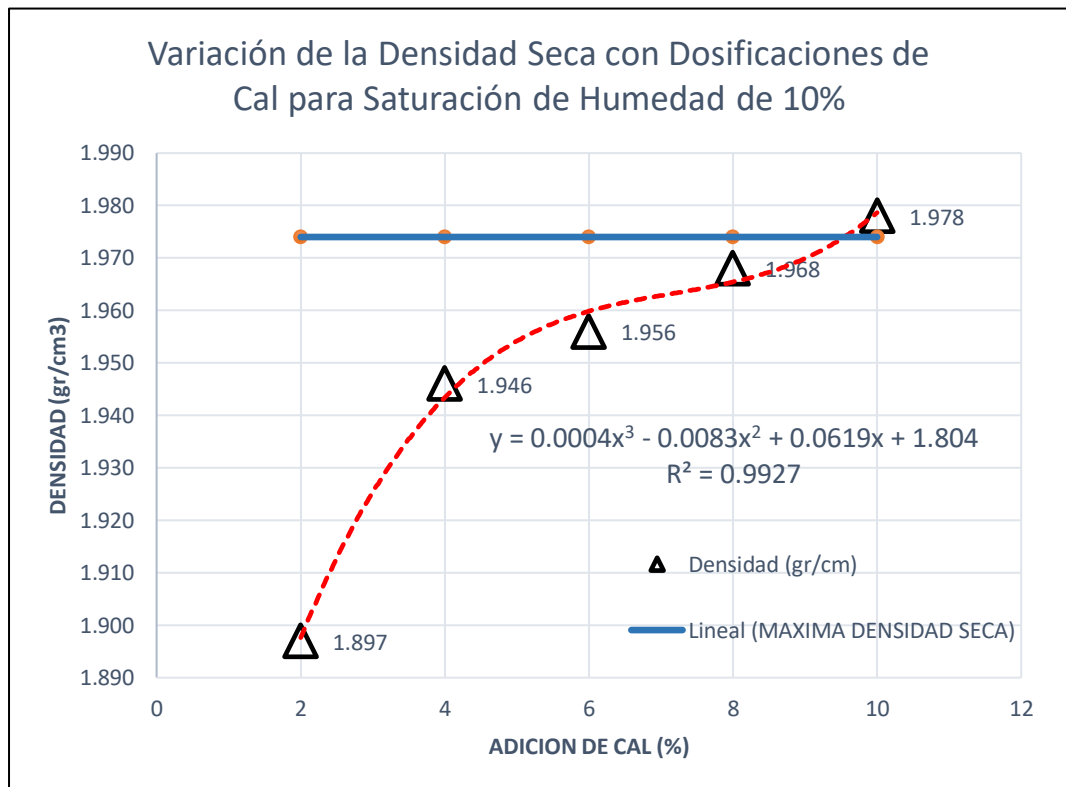


Figura N° 21: Relación de Densidad Seca Vs %Cal para 10% de Humedad del suelo

Como se muestra en la Figura N° 21 se observa que con los incrementos de cal de 8% y 10% el suelo recupera la densidad seca que es muy similar al obtenido en el óptimo, es decir el suelo se recupera al 100%. Asimismo, los valores obtenidos con el incremento de 4% y 6% de cal no son despreciables, pues también se acercan bastante al valor óptimo de densidad seca (entre 98% y 99%), mientras que el valor obtenido con el 2% de incremento de cal, se acerca solamente en 96% a la MDS, es decir con este incremento, el suelo no se recupera del acolchonamiento.

b) 12% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 12% de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación a la Densidad Seca del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

CAL		2%	4%	6%	8%	10%
12% HUMEDAD	MDS	1.75532993	1.78511135	1.8665292	1.90452541	1.93486564
	% SIMILITUD MDS	88.92%	90.43%	94.56%	96.48%	98.02%

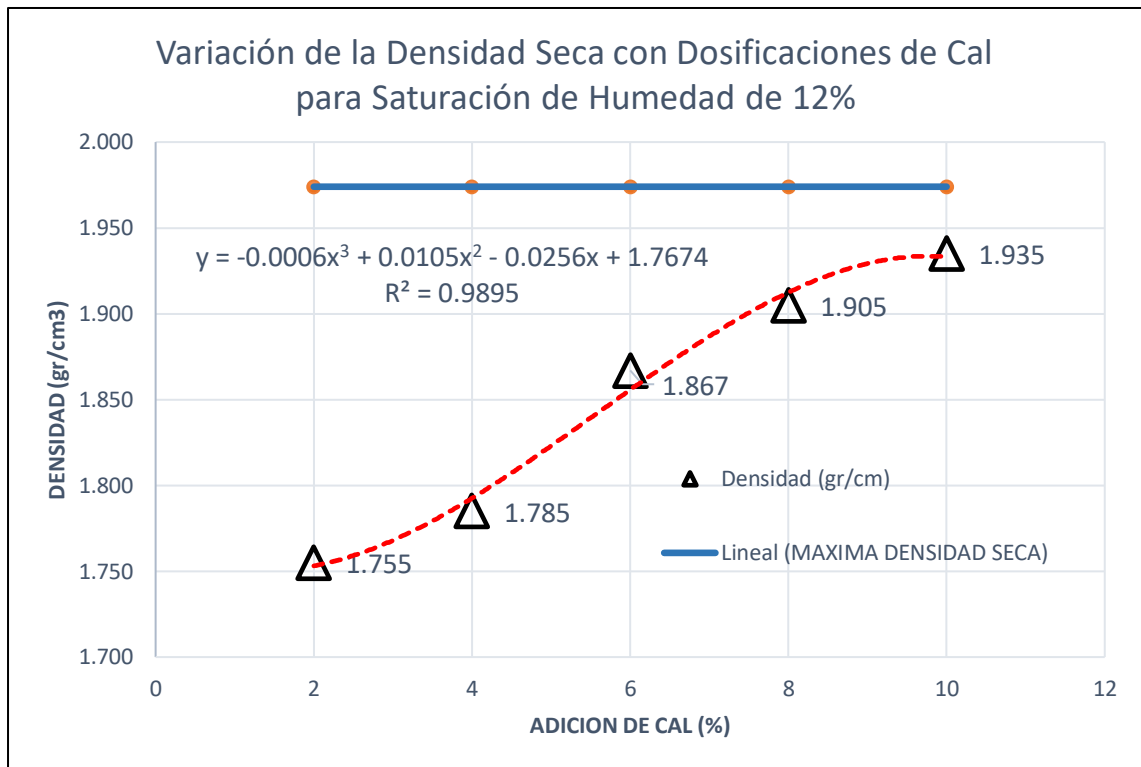


Figura N° 22: Relación de Densidad Seca Vs %Cal para 12% de Humedad del suelo

La Figura N° 22 muestra que el suelo se recupera, pues el valor de Densidad Seca es muy parecido a la MDS en 96% y 98%, es decir se recupera de la fase de acolchonamiento; mientras que con los incrementos de dosificaciones de 2% a 6% de cal, no se logra alcanzar la densidad seca obtenida en el óptimo (en porcentajes es menor a 95%). Entonces, con este exceso de agua y la dosificación de cal dada, el suelo no es recuperable.

c) 14% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 14% de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación a la Densidad Seca del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

CAL		2%	4%	6%	8%	10%
14% HUMEDAD	MDS	1.62702089	1.65084923	1.70095101	1.73126721	1.76912684
	% SIMILITUD MDS	82.42%	83.63%	86.17%	87.70%	89.62%

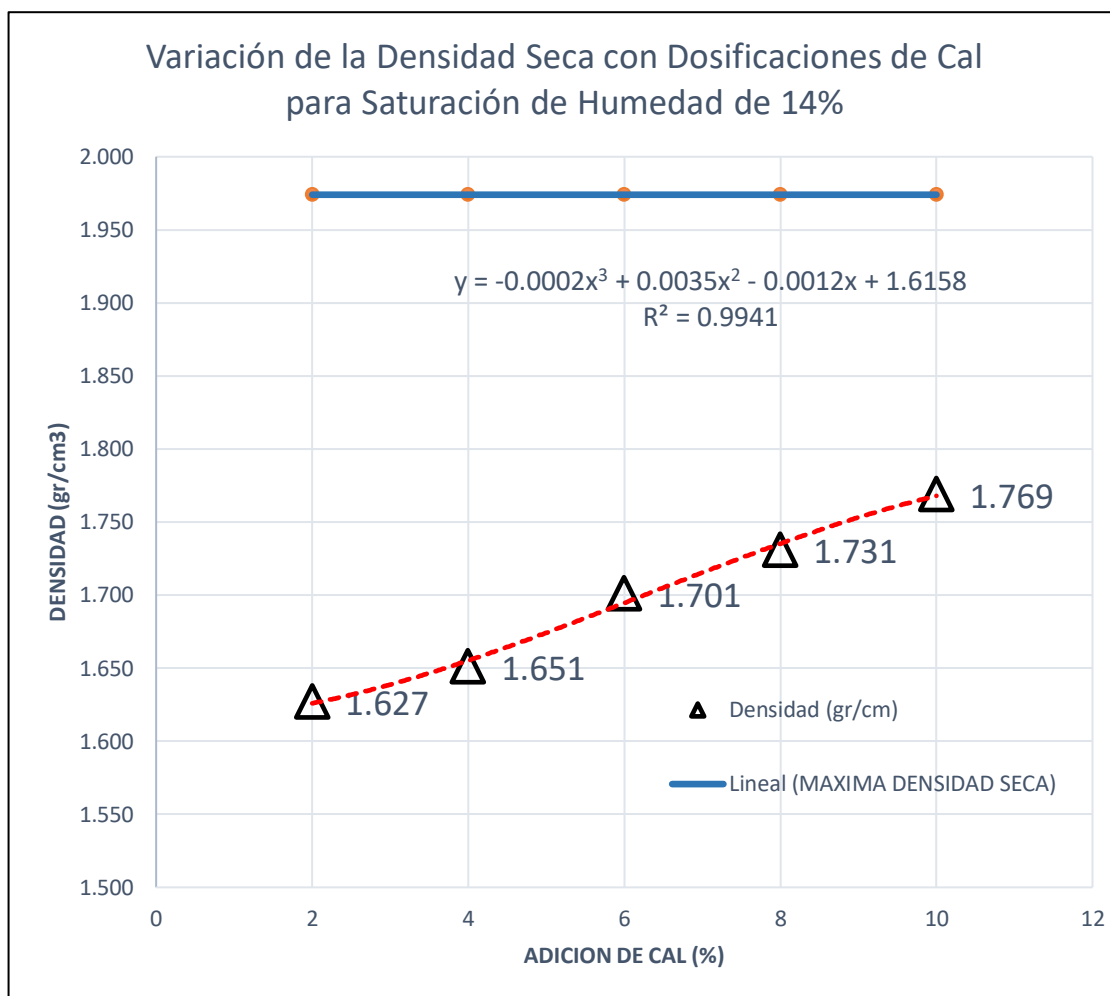


Figura N° 23: Relación de Densidad Seca Vs % Cal para 14% de Humedad del suelo

En la Figura N° 23 se analizan los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 14 % de Humedad (exceso de humedad), en relación al Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%, y se observa que la densidad seca del suelo se va incrementando al incrementar la dosificación de cal viva, y que, a pesar de ello, ninguno de esos incrementos con cal ayuda a recuperar el suelo hasta alcanzar la máxima densidad seca del óptimo o un valor similar a éste. Esto

indica claramente que este tipo de suelo con 14% de humedad, es decir exceso de agua no logra recuperarse y por lo tanto no puede utilizarse para una carretera a nivel de afirmado.

d) 16% Humedad del Suelo – Dosificaciones de Cal de 2% - 10%

De los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 16% de Humedad (en fase de acolchonamiento), en relación a la Densidad Seca del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%.

CAL		2%	4%	6%	8%	10%
16% HUMEDAD	MDS	1.51512622	1.57853511	1.62566205	1.6376946	1.69334137
	% SIMILITUD MDS	76.75%	79.97%	82.85%	82.38%	85.78%

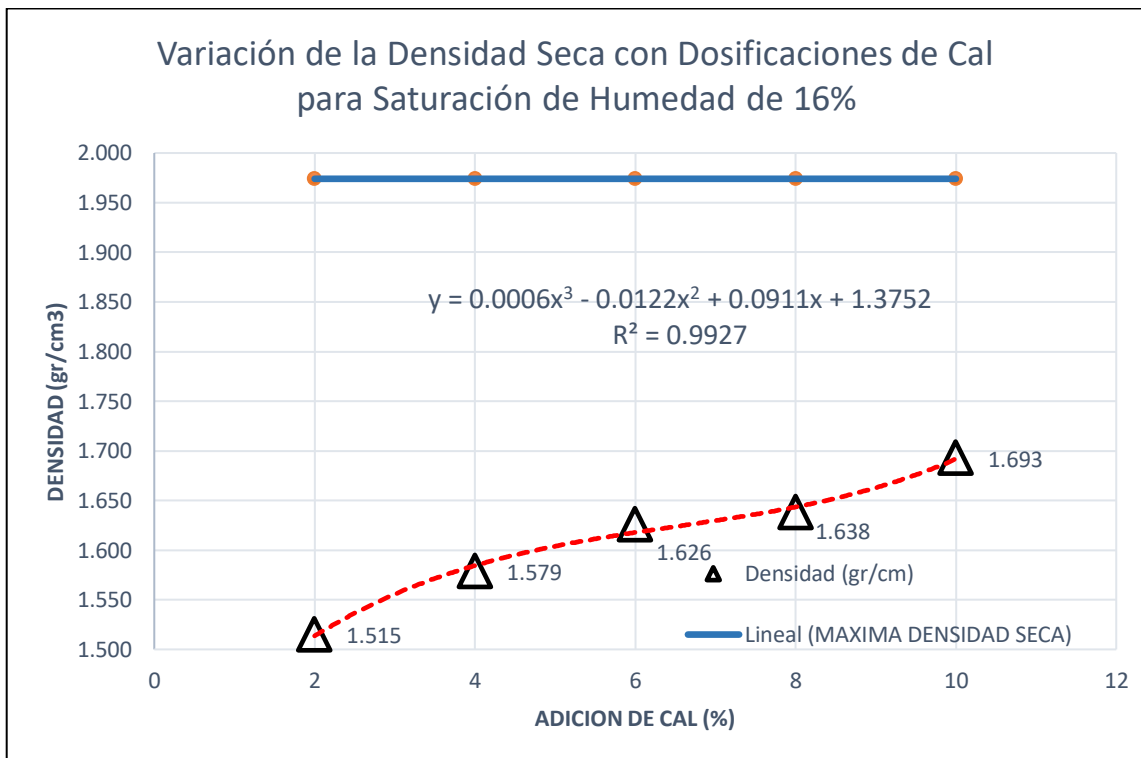


Figura N° 24: Relación de Densidad Seca – %Cal para 16% de Humedad del suelo

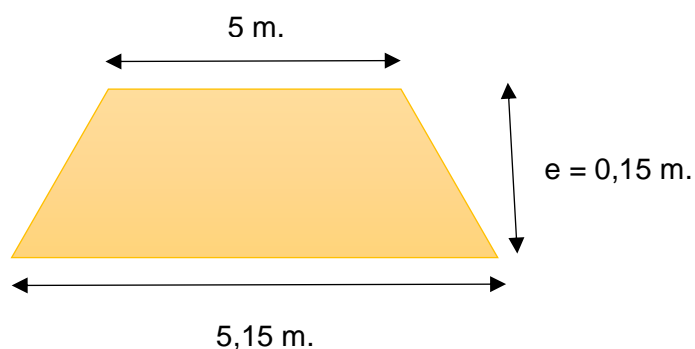
En la Figura N° 24, se analizan los resultados obtenidos con el ensayo de Proctor modificado con 16 % de Humedad (exceso de humedad), en relación al Contenido de Humedad del material, y el incremento de dosificaciones de cal 2% a 10%, y se observa que la densidad seca del suelo se va incrementando al incrementar la dosificación de cal viva, y que, a pesar de ello, ninguno de esos incrementos con cal ayuda a recuperar el suelo hasta alcanzar la máxima densidad seca del óptimo o un valor similar a éste, entonces se puede afirmar que con 16% de humedad, es decir exceso de agua del suelo en 16%, el afirmado no logra recuperarse y por lo tanto no puede utilizarse.

4.1.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis de costos se realizará para la partida de Extendido de Afirmado en el Proyecto, cuya denominación es "Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en la Avenida alameda tramo: Jr. Bolivia - Av. Centenario, Distrito de San Jerónimo de Tunan - Huancayo - Junín", para lo cual se considerarán los siguientes parámetros, que se van a asumir del siguiente modo:

- ✓ Distancia Media de Transporte- DMT de 10 km para Canteras.
- ✓ Distancia Media de Transporte- DMT de 5 km para Botadero.
- ✓ Factor de contracción (c) de: 0,9
- ✓ Factor de esponjamiento (e) de: 1,2

Además, se consideró una sección transversal de la carretera de 5 m. x 0,15 m. (según especificaciones del Proyecto y el Manual de diseño de carreteras de bajo Transito), y también se consideró un Rendimiento de colocación de 2200 m²/día, según el libro de Costos Y Tiempos en Carreteras del autor Walter Ibáñez; el que es equivalente a 350 m³/día, y el que se va analizar.



Posibles Casos:

A. Caso 1: Situación Normal

Este caso analizará los costos unitarios para la partida de Extendido de Afirmado, en una situación Normal; considerando Materiales, Equipos y Herramientas y Mano de Obra, y se dan como sigue:

Tabla N° 17: Análisis económico – 1° Caso

Rendimiento	m3/dia						
MO.	350.0000		EQ.	350.0000		Costo unitario:	24,160.04
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.		
01	CASO 01				24,160.04		
01.01	COLOCACION DE CAPA				16,533.75		
01.01.01	COLOCACION CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m	m3	375.00	44.09	16,533.75		
01.02	TRANSPORTE DE MATERIAL				7,626.29		
01.02.01	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D<1 km	m3k	473.68	5.21	2,467.87		
01.02.02	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D MAYOR 1Km	m3k	4,263.16	1.21	5,158.42		

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que, para este análisis, se consideró las actividades de:

- ✓ Colocación de Capa, que incluyen los ítems de mano de obra, materiales (material para afirmado y agua) y los Equipos (Rodillo Liso autopropulsado 70-100 HP, Motoniveladora de 125 HP y Camión Cisterna)

- ✓ Transporte de Material de Cantera, que incluye el ítem de Equipos (Cargador frontal y Volquetes)

Además, se analizó las Canteras cuando $D < 1$ km y cuando $D > 1$ km, cuyos rendimientos son como se muestra a continuación:

Tabla N° 18: Transporte de Material Granular $D \leq 1$ km

TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR $D \leq 1$ km		
DMT	1	km
Vi	30	km/h
Vv	40	km/h
TIEMPO DE CARGA	5.000	min
TIEMPO DE DESCARGA	4.000	min
TIEMPO RECORRIDO CARGADO	2.00	min
TIEMPO RECORRIDO DESCARGADO	1.50	min
Ciclo	12.500	
Tiempo de Trabajo	480	min
Eficiencia	90%	
Tiempo de Trabajo Útil	432	
Volquete	15	m ³
	34.6	
Número de Viajes	34	
Rendimiento de Transporte	510	m ³ /día

Fuente: MTC

Tabla N° 19: Transporte de Material Granular D >1 km

TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D > 1 km		
DMT	1	km
Vi	30	km/h
Vv	40	km/h
TIEMPO DE CARGA	0.000	min
TIEMPO DE DESCARGA	0.000	min
TIEMPO RECORRIDO CARGADO	2.00	min
TIEMPO RECORRIDO DESCARGADO	1.50	min
Ciclo	3.500	min
Tiempo de Trabajo	480	min
Eficiencia	90%	
Tiempo de Trabajo Útil	432	
Volquete	15	m3
	123.4	
Número de Viajes	123	
Rendimiento de Transporte	1845	m3/día

Fuente: MTC

Finalmente, se observa que, con este análisis en condiciones normales para el afirmado, el precio es de S/. 24,160.04 (Veinticuatro Mil Ciento sesenta con 04/100 Nuevos soles) para un rendimiento de 350 m3/día.

Sin embargo, se pueden presentar varios casos durante la ejecución de esta partida; por ejemplo, que exista exceso de humedad debido a múltiples factores, el más común las lluvias, por lo cual se deberá, evaluar los siguientes casos, como alternativas de solución:

B. Caso 2: Remoción del material para afirmado:

Este caso, presenta como solución al exceso de humedad en el material para afirmado (Acolchonamiento), la remoción total del material, para lo cual se considerará doble carguío de material de Cantera para una distancia propuesta de 10 km. y además se considera la eliminación de material Saturado en un botadero para una distancia propuesta de 5km.

Tabla N° 20: Análisis económico – 2° Caso

Rendimiento	m3/día					
MO.	350.0000	EQ.	350.0000		Costo unitario	55,986.91
Item		Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
02	CASO 02					55,986.91
02.01	COLOCACION DE CAPA					33,067.50
02.01.01	COLOCACION CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m		m3	750.00	44.09	33,067.50
02.02	TRANSPORTE DE MATERIAL					15,252.65
02.02.01	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D<1 km		m3k	947.37	5.21	4,935.80
02.02.02	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D MAYOR 1Km		m3k	8,526.32	1.21	10,316.85
02.03	ELIMINACION DE MATERIAL SATURADO					7,666.76
02.03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO CON EQUIPO T/SO D6D		m3	375.00	7.75	2,906.25
02.03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D<1 km		m3k	473.68	5.21	2,467.87
02.03.03	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D MAYOR 1Km		m3k	1,894.74	1.21	2,292.64

Fuente: Elaboración Propia

Con este análisis, se obtiene el precio de S/. 55,986.91 (Cincuenta y cinco Mil novecientos ochenta y seis con 91/100 Nuevos soles) para un rendimiento de 350 m3/día.

C. Caso 3: Secado de material para afirmado:

En este caso, se presenta como solución al exceso de humedad en el material para afirmado (Acolchonamiento), el secado natural del material con ayuda de la motoniveladora para su escarificado, lo cual mantendrá detenidos los demás equipos durante la espera de secado de material, es decir se considera el costo de posesión de los equipos.

Es decir, para este caso se consideraron las actividades de Colocación de Capa inicial – extendido de afirmado, Transporte de Material de Canteras, escarificado y Colocación de capa secada al aire – Nuevo extendido de material.

Tabla N° 21: Análisis económico – 3° Caso

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
03	CASO 03				29,398.79
03.01	COLOCACION DE CAPA INICIAL				16,533.75
03.01.01	COLOCACION CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m	m3	375.00	44.09	16,533.75
03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL				7,626.29
03.02.01	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D<1 km	m3k	473.68	5.21	2,467.87
03.02.02	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D MAYOR 1km	m3k	4,263.16	1.21	5,158.42
03.03	ESCARIFICADO				3,633.75
03.03.01	ESCARIFICADO CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m	m3	375.00	9.69	3,633.75
03.04	COLOCACION DE CAPA SECADA AL AIRE				1,605.00
03.04.01	COLOCACION CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m SECADA AL AIRE	m3	375.00	4.28	1,605.00

Fuente: Elaboración Propia

Se debe hacer hincapié en que este es un caso meramente hipotético, pues dependería en su totalidad de que exista condiciones favorables del medio ambiente para que el secado dure menor cantidad de tiempo aun con el escarificado, ya que de éste depende el costo de Mano de obra y alquiler de maquinarias con costo de posesión. Después de haber considerado el rendimiento de 350 m3/día para el análisis de. Costos de este caso, se obtiene el precio de S/. 29,398.79 (Veintinueve Mil Trescientos noventa y ocho con 79/100 Nuevos soles) para el avance que debería ejecutarse en un día.

D. Caso 4: Dosificaciones de cal en material para afirmado:

Este caso, analiza las Dosificaciones de cal en el material extendido para afirmado, como solución al exceso de humedad (Acolchonamiento), para lo cual se hará uso de la motoniveladora que ayudara en el proceso de escarificado, mientras tanto los demás equipos permanecen en espera, por lo cual también debe considerarse el costo de posesión de estos equipos.

Las actividades que se tomaron en cuenta para el análisis de este caso fueron: la Colocación de la capa inicial – extendido de material, Transporte de material desde las canteras propuestas a 10 km., Escarificado de material con la adición de cal viva y la nueva colocación del afirmado con la ayuda de equipos.

Tabla N° 22: Análisis económico – 4° Caso

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
04	CASO 04				39,606.29
04.01	COLOCACION DE CAPA INICIAL				16,533.75
04.01.01	COLOCACION CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m	m3	375.00	44.09	16,533.75
04.02	TRANSPORTE DE MATERIAL				7,626.29
04.02.01	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D<1 km	m3k	473.68	5.21	2,467.87
04.02.02	TRANSPORTE DE MATERIAL CON CARGUIO D MAYOR 1Km	m3k	4,263.16	1.21	5,158.42
04.03	ESCARIFICADO + ADICION DE CAL VIVA				13,841.25
04.03.01	ESCARIFICADO CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m + ADICION DEL CAL VIVA	m3	375.00	36.91	13,841.25
04.04	COLOCACION DE CAPA SECADA AL AIRE				1,605.00
04.04.01	COLOCACION CAPA DE AFIRMADO e=0.15 m SECADA AL AIRE	m3	375.00	4.28	1,605.00

Fuente: Elaboración Propia

Para este análisis también se plantea cumplir con el rendimiento de 350 m³/día de colocación de Material afirmado, y se ha considerado un 10% cal (que según laboratorio es el porcentaje donde se recupera el material más rápida y efectivamente), con lo que se obtiene el precio de S/. 39,606.29 (Treinta y Nueve Mil seiscientos seis con 29/100 Nuevos soles)

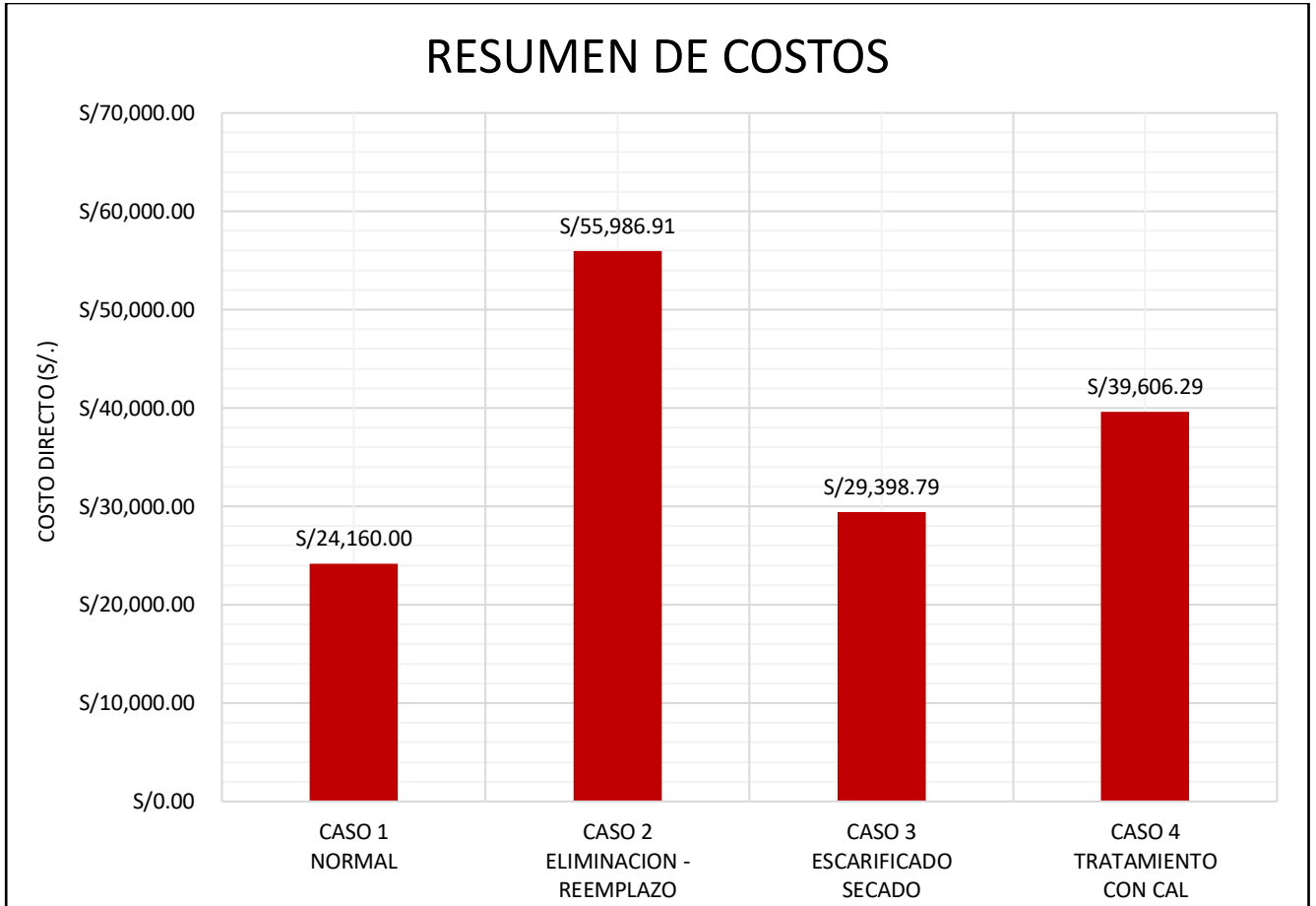


Figura N° 25: Resumen de Costos Vs Casos Posibles

En la figura N° 25 se puede concluir que el caso de tratamiento con cal, que esta investigación propone es superior a la alternativa 3 que supone la posibilidad de escarificar y esperar que la humedad disminuya por acción del calor y viento, caso muy ideal y más barato que la alternativa 2, que plantea la eliminación del material y reemplazo con material con humedad cercano al OCH. En tal caso la alternativa 4, propuesta por esta investigación es una alternativa más segura y, además permite recuperar la capa en menos tiempo. Esta situación se plantea como una solución cuando por diferentes factores se llega a la condición de saturación del material, como última alternativa. Sin embargo, toda la planificación debería estar orientado a no llegar a la misma, es por eso que en condiciones donde es difícil controlar la humedad es mejor parar el lanzamiento.

4.1.5. ANÁLISIS DE TIEMPOS

El análisis de tiempos se realizará para la partida de Extendido de Afirmado en el Proyecto, cuya denominación es "Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en la Avenida alameda tramo: Jr. Bolivia - Av. centenario, Distrito de San Jerónimo de Tunan - Huancayo - Junín", para lo cual se considerarán los siguientes parámetros, que se van a asumir del siguiente modo:

- ✓ Distancia Media de Transporte- DMT de 10 km para Canteras.
- ✓ Distancia Media de Transporte- DMT de 5 km para Botadero.
- ✓ Factor de contracción (c) de: 0,9
- ✓ Factor de esponjamiento (e) de: 1,2
- ✓ Longitud de afirmado: 100 m
- ✓ Numero de volquetes: 4

Además, se consideró una sección transversal de la carretera de 5 m. x 0,15 m. (según especificaciones del Proyecto y el Manual de 2diseño de carreteras de bajo Transito), y también se consideró un Rendimiento de colocación de 2200 m²/día, según el libro de Costos Y Tiempos en Carreteras del autor Walter Ibáñez; el que es equivalente a 350 m³/día, y el que se va analizar.

Posibles Casos:

A. Caso 1: Situación Normal

Este caso analizará los costos unitarios para la partida de Extendido de Afirmado, en una situación Normal; considerando Materiales, Equipos y Herramientas y Mano de Obra, y se dan como sigue:}

Tabla N° 23: Análisis de tiempos – 1er Caso

ITEM	DESCRIPCION	1er DIA												
		1ra HORA		2da HORA		3ra HORA		4ta HORA		5ta HORA		6ta HORA		
		30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	210 min	240 min	270 min	300 min	330 min	360 min	
	AFIRMADO EN ESTADO NORMAL													
01.00.00	TRANSPORTE	████████████████████												
02.00.00	EXTENDIDO				████████████████████									
03.00.00	RIEGO						████████							
04.00.00	COMPACTACION							████████████████████						
												TOTAL	4.8	Hrs
													4 hrs	50 min

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, para este análisis, se consideró las actividades de:

- ✓ Transporte de Material de Cantera, extendido, riego y compactación

Finalmente, se observa que, con este análisis en las condiciones normales para afirmado, el tiempo total a demorarse es de 4.8 horas.

Sin embargo, se pueden presentar varios casos durante la ejecución de esta partida; por ejemplo, que exista exceso de humedad debido a múltiples factores, siendo el más común las precipitaciones en esta zona del país, por lo cual se deberá, evaluar los diferentes casos, como alternativas de solución.

B. Caso 2: Remoción del material para afirmado:

Este caso, se presenta como solución al exceso de humedad en el material para afirmado (Acolchonamiento), la remoción total del material, para lo cual se considerará doble carguío de material de Cantera para una distancia propuesta de 10 km. y además se considera la eliminación de material Saturado en un botadero para una distancia propuesta de 5km.

Para este análisis también se plantea cumplir con el rendimiento de 350 m³/día de colocación de Material afirmado, y se ha considerado un 10% cal (que según laboratorio es el porcentaje donde se recupera el material más rápida y efectivamente), con lo que se obtiene un tiempo total de **5.8 horas (cinco horas con 48 minutos)**

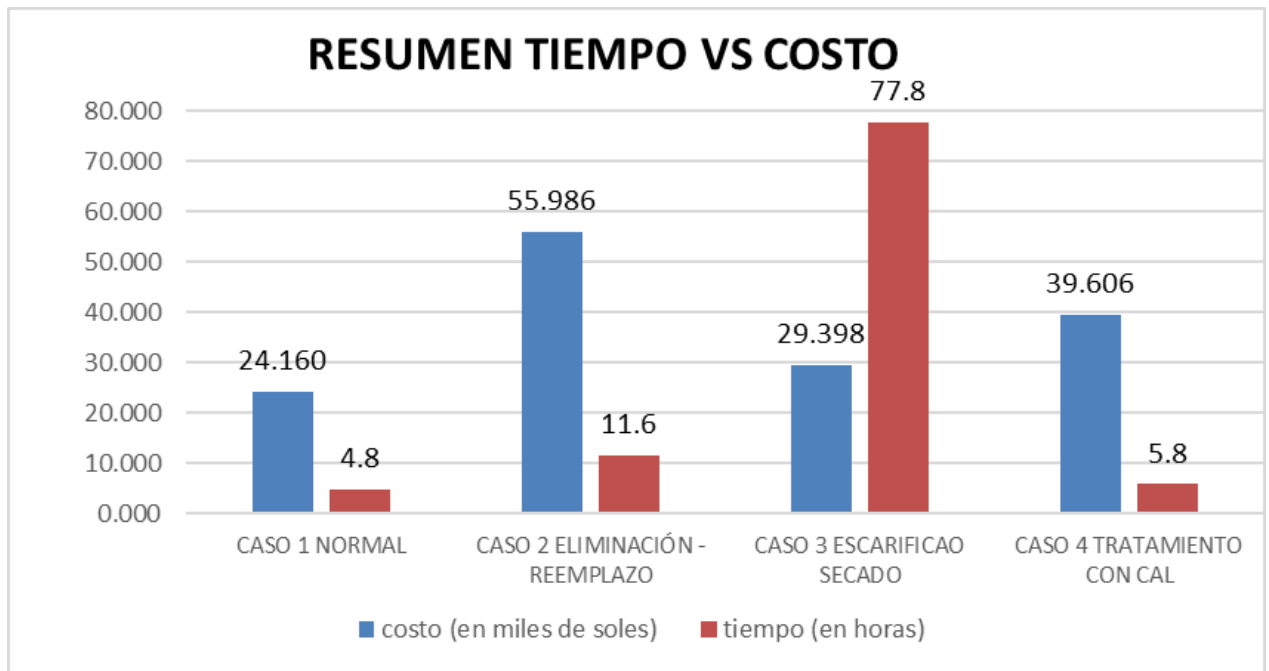


Figura N°26: Resumen de Costos Vs Casos Posibles

En la figura N°26 se puede concluir que el caso de tratamiento con cal, que esta investigación propone, es mejor que las demás alternativas. Por un lado, en comparación al caso 2, es más económico; además de significar un menor tiempo de para la ejecución de la obra. Por otro lado, en comparación al caso 3, a pesar de que dicha alternativa resulta más económica, la prolongación del tiempo de ejecución para la obra desvirtúa dicha alternativa; puesto que, se tiene que esperar las condiciones climáticas favorables lo cual, puede resultar muy impredecible. En consecuencia, el caso 4 es una alternativa más segura que, además permite recuperar la capa en menos tiempo. Esta situación se plantea como una solución cuando por diferentes factores se llega a la condición de saturación del material, como última alternativa. Sin embargo, toda la

planificación debería estar orientado a no llegar a la misma, es por eso que en condiciones donde es difícil controlar la humedad es mejor parar el lanzamiento.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

HIPÓTESIS GENERAL

La adición de óxido de calcio controla la saturación de humedad del material para afirmado, cuando esta se encuentra en la fase conocida comúnmente como acolchonamiento.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La saturación (acolchonamiento) en material afirmado de las canteras Chaclas de Sapallanga y cantera de Palián - Huancayo, NO se produce a partir de un 20% de humedad, sino a partir del 10% de humedad.
- La adición de óxido de calcio en el rango de 2% - 10% permite solucionar la condición de saturación en 10% (acolchonamiento) en el material afirmado; sin embargo, es necesario incrementar las dosificaciones de cal Cuando la Saturación se encuentra en 12%.
- El control mediante el óxido de calcio es de 63.93% más del costo normal para la recuperación de un afirmado saturado.

Respecto a las hipótesis presentadas previamente se puede decir que:

4.2.1. ACOLCHONAMIENTO:

La etapa de acolchonamiento se presenta a partir de 10% de humedad, hasta 12,5% que es el límite de plasticidad que presenta el material y que se debe tomar en cuenta ya que se usará para afirmado.

Según la experiencia teórica y práctica de personas con vasto conocimiento en la materia, se conoce que en algunos casos este material puede recuperarse, con adición de cierto tipo de

sustancias como cal, cemento, entre otros; y lo que se comprobó en la presente investigación es la recuperación del acolchonamiento del suelo con Cal viva.

4.2.2. RELACIÓN DOSIFICACIONES DE CAL - CONTENIDO DE HUMEDAD EN FASE DE SATURACIÓN

Gracias a los ensayos de Proctor con escarificación de suelo para incremento de dosificaciones de cal y posible recuperación del suelo, se obtuvo que:

- ✓ Mientras mayor sea el porcentaje de cal adicionado, menor es el contenido de humedad del suelo, como se muestra en la Figura N° 26.
- ✓ Cuanto más se acerque el contenido de humedad al OCH obtenido para suelo Natural, significará que el suelo se está recuperando, como se observa en la Figura N° 26.

RESUMEN - CONTENIDO DE HUMEDAD VS ADICION DE CAL DE 2% A 10%

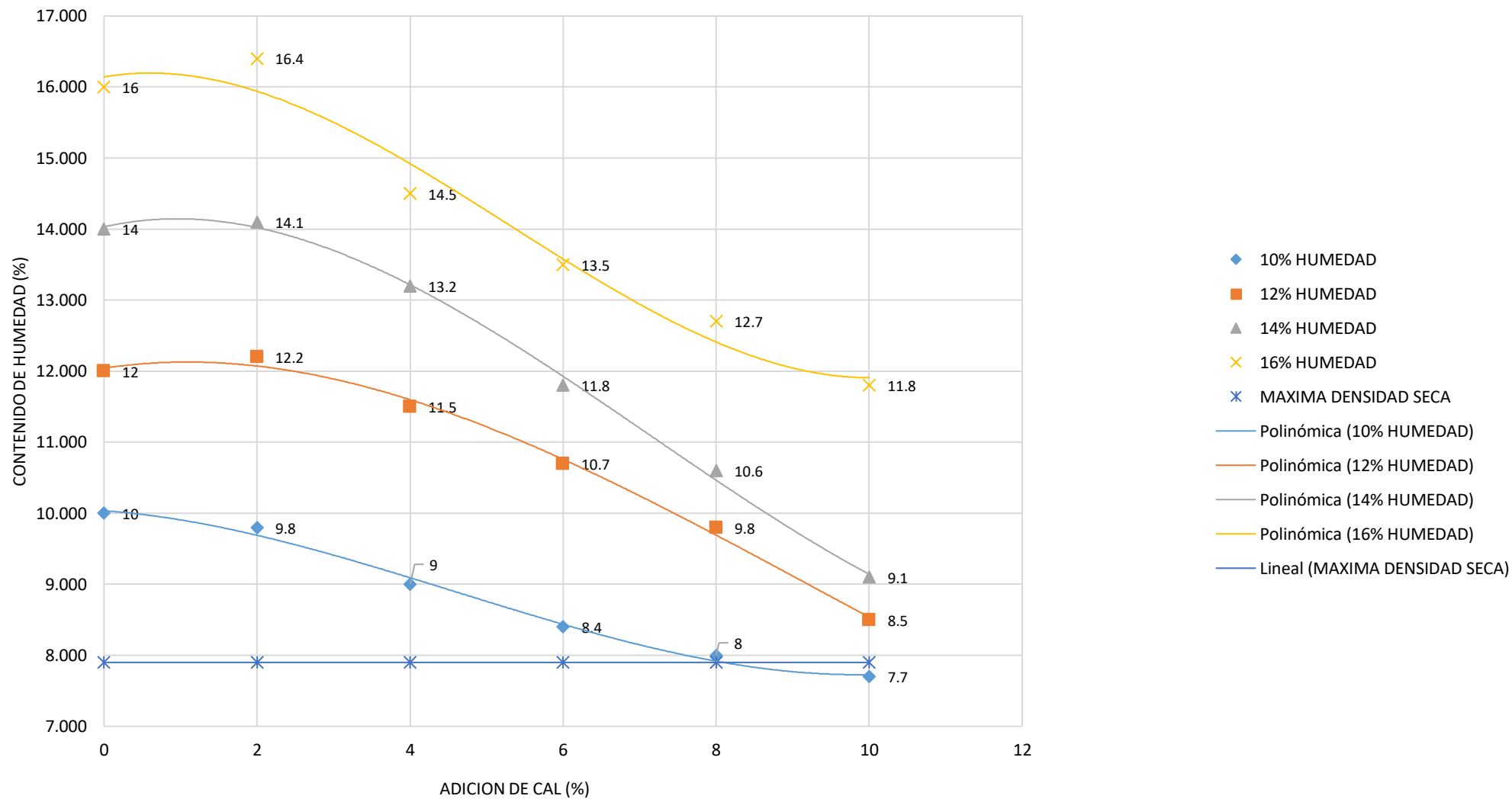


Figura N° 26: Cuadro de Resumen Contenido de Humedad - %Cal

4.2.3. RELACIÓN DOSIFICACIONES DE ÓXIDO DE CALCIO – DENSIDAD SECA EN FASE DE SATURACIÓN

- ✓ Mientras mayor sea el porcentaje de óxido de calcio adicionado, mayor es la Densidad seca del suelo, como se muestra en la Figura N° 27.
- ✓ Cuanto más se acerque el Máxima Densidad Seca obtenido para suelo Natural, significará que el suelo se está recuperando, como se observa en la Figura N° 27.

RESUMEN - DENSIDAD DE SUELOS VS ADICION DE CAL DE 2% A 10%

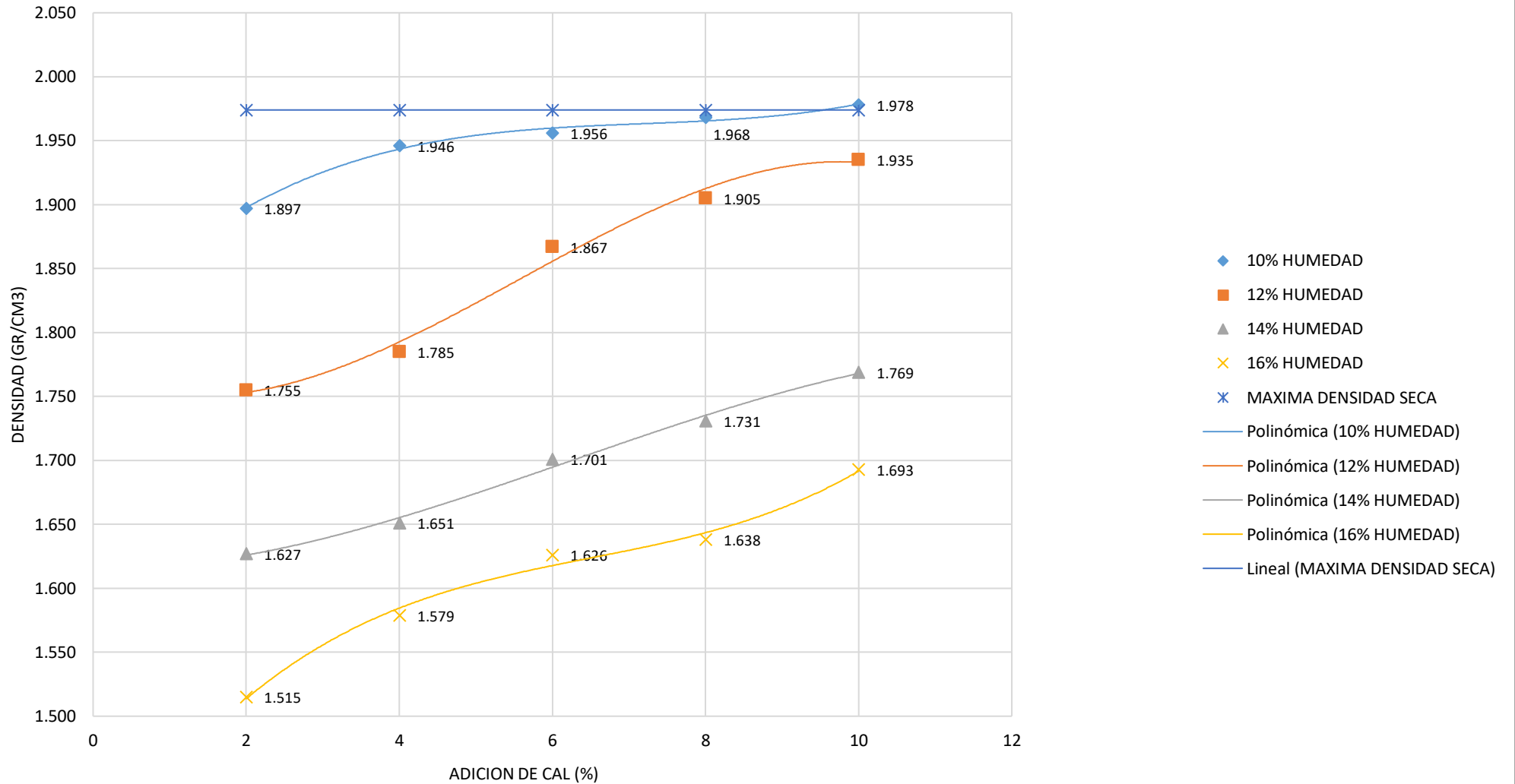


Figura N° 27: Cuadro de Resumen Densidad Seca - %Cal

CONCLUSIONES

- ✓ La adición de óxido de calcio en porcentajes de 8% y 10% en el suelo para afirmado permite controlar la saturación de 10% del suelo, cuando se encuentra en fase de acolchonamiento, sin embargo, cuando la saturación está en 12%, es difícil recuperar el suelo.
- ✓ Para el suelo analizado que servirá como afirmado y contiene 70% de grava y 30% de material ligante, obtenido de las canteras de Chaclas de Sapallanga y Palián, Huancayo, se obtiene que la saturación en fase de acolchonamiento se produce desde 10% a 12,5% de humedad.
- ✓ Los porcentajes óptimos para la recuperación del suelo en acolchonamiento son de 8% y 10% de óxido de calcio, sin embargo, esto no garantiza la recuperación del suelo en el último punto de acolchonamiento.
- ✓ Además, el efecto de la adición de óxido de calcio, cuando existe saturación en el suelo para afirmado, incrementa la densidad seca del mismo.
- ✓ Finalmente, la adición de calcio en el suelo para afirmado analizado permite recuperar el suelo hasta convertirlo en plástico, es decir, evitar que se deforme y llegue a estado elástico cuando existe saturación en el mismo.

RECOMENDACIONES

- ✓ Es necesario contar con material gravoso, arenoso y ligante cuando se trate de afirmados. Y este material debe cumplir a su vez con las especificaciones que indica el MTC en su reglamento.
- ✓ Es necesario evaluar las propiedades del material para afirmado, que nos permitan obtener la información necesaria que indique el tipo de suelo que es y en que valores alcanza su OCH y MDS así como el índice de plasticidad, que es fundamental para este tipo de material.
- ✓ Se recomienda el uso de óxido de calcio o cal viva como agente para la disminución de humedad e incremento de densidad seca del suelo.
- ✓ Se recomienda la verificación de materiales y equipos de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Arias, fidias g. 2006. El proyecto de investigacion. Caracas : s.n., 2006.
- ✓ Astm. 1995. *Asociacion americana de ensayo de materiales - astm*. Estados unidos : EEUU, 1995.
- ✓ Canovas, fernandez. 1981. Hormigones reforzados con fibras de acero. España : s.n., 1981.
- ✓ Carbajal, enrique pasquel. 1988. *Temas de tecnologia del concreto en el peru*. Peru : s.n., 1988.
- ✓ Cat. 2016. *Los principios básicos de la compactación de suelos*. California, usa : caterpillar, 2016.
- ✓ Cuadros surichaque, claudia maría. 2017. *Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la region junin mediante la estabilización química con oxido de calcio - 2016*. Huancayo, Perú : upla, 2017.
- ✓ Galindo, rincon barrera & rocha garnica & florez. 2014. *Ensayo de compactación de proctor*. Bogotá, colombia : universidad de colombia, 2014.
- ✓ Gonzales castro, abel, y otros. 2011. *¿como aprender y enseñar investigacion científica?* Huancavelica : s.n., 2011.
- ✓ Hernandez, sampieri roberto. 2014. *Metodologia investigacion*. Mexico : s.n., 2014.
- ✓ Lina p. Gallego, giovanni peñuela, julian leon. 2013. *Comportamiento del concreto reforzados con fibras de acero zp-306 sometido a esfuerzo de comprension*. Bogota, colombia : s.n., 2013.
- ✓ Lopez, enrique riva. 2000. *Naturaleza y materiales del concreto* . Lima : s.n., 2000.
- ✓ Mtc. 2013. *Manual de carreteras, suelos, geología; geotecnia y pavimentos* . Lima, Perú : mtc, 2013.

- ✓ —. 2014. *Manual de ensayo de materiales para carreteras - em 2000*. Perú : mtc, 2014.
- ✓ Mtc, eg 2013. 2013. *Manual de carreteras - especificaciones técnicas generales para construcción*. Perú : mtc, 2013.
- ✓ Mtc, ministerio transportes & comunicaciones. 1981. *Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Perú : mtc, 1981.
- ✓ Neville, adam n. 2013. *Tecnología del concreto*. Instituto mexicano del cemento y del concreto a.c : s.n., 2013.
- ✓ Ocas de la cruz, jose luis. 2013. *"influencia de la energia de compactacion en eloptimo contenido de humedad y la maxima densidad seca en los suelos granulares"*. Cajamarca, Perú : universidad nacional de cajamarca, 2013.
- ✓ Parro. 2019. *Diccionario de arquitectura y construcción*. *Diccionario de arquitectura y construcción*. Argentina : parro, 2019.
- ✓ Provias. 2005. *Manual para diseño de caminos no pavimentados* . Lima, Perú : provias, 2005.
- ✓ Revolorio gonzáles, fernando José carlos. 2013. *Incidencia de resultados del ensayo proctor por la influencia de clima, humedad, equipo y superficie de base de compactación durante su desarrollo*. Guatemala : universidad de san carlos de guatemala, 2013.
- ✓ Rico, a y y del catillon, h. 1999. *La ingeniería de suelos en la ingeniería terrestre*. México : d.f. Limusa, 1999.
- ✓ Roman, jorge lopez. 2015. *Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionada*. Mexico : s.n., 2015.
- ✓ Saavedra vera, janet verónica. 2013. *La cal*. Perú : uiversidad nacional de santa, 2013.
- ✓ Secretaría de comunicaciones & transportes. 2011. *Materiales para pavimentos*. Mexico : sct, 2011.

- ✓ Uni. 2006. *Ensayos de mecánica de suelos*. Lima, Perú : universidad nacional de ingeniería , 2006.
- ✓ Ureta, Jhony Soldevilla. 2002. Efecto de la fibra metálica en el concreto elaborado con cemento Portland tipo I. Lima, Perú : s.n., 2002.
- ✓ Vicuña C, Christina Mónica Lituma. 2015. Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a la compresión. Ecuador : s.n., 2015.

ANEXOS

ANEXO 01

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL

SUELO

MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS

a) **NORMA APLICABLE:** MTC E 101

b) **PROCEDIMIENTO:**

1. Se obtiene el material de cantera.



2. Se identifica visual y manualmente el suelo, según las tablas descritas en la parte inferior, después de la Tabla N° 11.

Tabla N° 23: Identificación Visual y Manual del suelo

Propiedad	Criterio	Tipos de suelo
1. Angulosidad	Redondeada	Fino
2. Forma	-----	Fino
3. Color	Amarillo - Naranja	Fino – Arcilla
4. Olor	Orgánico	Fino
5. Humedad	Húmedo	Fino
6. Reacción HCl	Fuerte	Fino – Acilla
7. Consistencia	Muy blanda	Fino
8. Cementación	Débil	Fino
9. Estructuración	Homogénea	Fino
10. Resistencia en seco	Baja	Fino
11. Dilatación	Nula	Fino - Arcilla
12. Dureza/Tenacidad	Baja	Fino
13. Plasticidad	Alta	Fino- Arcilla

Criterios:

Tabla N° 24: Angulosidad de las partículas gruesas

Descripción	Criterio
Angulosa	Partículas con bordes agudos y caras relativamente planas o pulidas.
Sub- angulosa	Partículas similares a las angulosas pero con bordes algo redondeados.
Sub- redondeada	Partículas con casi todas las caras planas pero con esquinas y bordes redondos.
Redondeada	Partículas con lados suavemente curvos y sin bordes.

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 25: Formas de las partículas

Descripción	Criterio
Planas	Cuando ancho/espesor >3
Alargadas	Cuando longitud/ancho >3
Planas y alargadas	Cuando se cumplen las dos condiciones de Planas y

	Alargadas.
--	------------

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 26: Condiciones de Humedad

Descripción	Criterio
Seca	Ausencia de humedad, polvorosa, seca al tacto.
Húmeda	Húmeda pero sin agua visible.
Saturada	Generalmente cuando el suelo está bajo el nivel freático - Agua visible.

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 27: Criterios para describir la consistencia

Descripción	Criterio
Muy Blanda	El dedo pulgar penetra en el suelo más de 25 mm.
Blanda	El dedo pulgar penetra en el suelo aproximadamente 25 mm.
Firme	El dedo pulgar hace mella de 6 mm.

Dura	El dedo pulgar no hace mella en el suelo; penetra rápidamente la humedad.
Muy dura	La uña del pulgar no hace mella en el suelo.

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 28: Criterios para describir la Cementación

Descripción	Criterio
Débil	Se desmorona o rompe al tocar o con poca presión de los dedos.
Moderada	Se desmorona o rompe con considerable presión de los dedos.
Fuerte	No se desmorona ni se rompe con la presión de los dedos.

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 29: Criterios para describir la Estructura

Descripción	Criterio
Estratificada	Capas alternadas variables de material o color, con espesor de por lo menos 6 mm. los cuales deben anotarse.
Laminada	Capas alternadas variables de material o color, con espesores menores de 6 mm. los cuales deben anotarse.
Fisurada	Rompimiento según planos definidos de fractura con poca resistencia a ésta.
Lisa	Planos de fractura lisos o lustrosos; algunas veces estriados.
En bloques	Suelo cohesivo que puede romperse en pequeños terrones angulosos resistentes a un rompimiento adicional.
En lentes	Inclusión de pequeñas bolsas de diferentes suelos; tales como pequeños cristales de arena esparcidos en una masa de arcilla; anótese el espesor.
Homogénea	Apariencia y color uniforme.

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 30: Criterios para describir la Resistencia en Seco

Descripción	Criterio
Ninguna	La muestra seca se desmorona a la simple manipulación.
Baja	La muestra seca se desmorona hasta pulverizarse con ligera presión de los dedos.
Mediana	La muestra seca se rompe en fragmentos o se desmorona con presión considerable de los dedos.
Alta	No podrá romperse la muestra seca con la presión de los dedos, pero se romperá en fragmentos al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura.
Muy Alta	No podrá romperse la muestra seca al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura.

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 31: Criterios para describir la Tenacidad

Descripción	Criterio
Baja	Solo se necesita ligera presión para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones son débiles y blandos.
Mediana	Se necesita presión mediana para formar "rollitos" cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones tienen mediana tenacidad.
Alta	Se requiere considerable presión para formar "rollitos" cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones tienen muy alta tenacidad.

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

Tabla N° 32: Criterios para describir la Plasticidad

Descripción	Criterio
No Plástico	No pueden formarse rollos de 3 mm con ningún contenido de humedad.
Baja	Difícilmente pueden formarse rollitos y terrones cuando está más seco que el límite plástico.

Mediana	<p>Es fácil de formar el rollito y pronto alcanza el límite plástico.</p> <p>No puede volverse a enrollar la misma muestra después de que alcanza el límite plástico. Los terrones se desmoronan cuando se secan por debajo del Límite Plástico.</p>
Alta	<p>Toma considerable tiempo formar rollos y remodelarlos para alcanzar el límite Plástico, pero puede volverse a enrollar varias veces la misma muestra después de alcanzar el límite plástico.</p> <p>Pueden formarse terrones sin que se desmoronen cuando están más secos que el Limite Plástico.</p>

Fuente: Adaptación de la Norma (ASTM, 1995) - D 2488 – 00

3. Clasificación Preliminar del suelo: Suelo Fino Arcilloso: C (Arcilla)

ANEXO 02

GRANULOMETRÍA

ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

a) **NORMA APLICABLE:** MTC E 107

b) **PROCEDIMIENTO:**

1. Se hace el cuarteo y se toma los dos lados opuestos elegidos.



2. Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla siguiente:

Tabla 1. Peso mínimo de la muestra según diámetro nominal del material

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 .")	3000

50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2014)



3. Se tamizó el material, según las indicaciones de la norma.

Tabla 2: Tamices de gradación

Tamices	Abertura (mm)
3"	75.000
1 1/2"	38.100
3/4"	19.000
3/8"	9.500
N° 4	4.760
N° 8	2.360

N° 16	1.100
N° 30	0.590
N° 50	0.297
N° 100	0.149
N° 200	0.075

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2014)



4. Se pesó los retenidos por tamiz y se elaboró la gráfica que interseca el diámetro del tamiz y el porcentaje que pasa por cada tamiz.



ANEXO 03

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITES DE ATTERBERG

a) **NORMA APLICABLE:** MTC E 115

b) **PROCEDIMIENTO:**

1. Se tamiza 30% de arcilla y 70% grava del material que se tiene, se tamiza por la malla N° 40; y luego se pesan 100 gr..



2. Luego, se combina el material con agua hasta llegar a conformar una mezcla compacta, de aspecto plano y liso, y se coloca en la copa Casagrande y se ranura la muestra con ayuda del acanalador.





3. Se realizan golpes (levantar y soltar la copa) girando la manija de la copa Casagrande, a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta lograr que la ranura sólo tenga 13 mm de longitud como máximo. En caso del material que se tuvo, la ranura casi se cerró en 15, 20 y 25 golpes.





4. Finalmente se extraen muestras de los ensayos con la copa Casagrande con cada cantidad de golpes obtenido, y se ponen a secar al horno.
5. Después de haber culminado el ensayo de limite líquido, se realiza el ensayo de plasticidad; para lo cual se toman muestras de cada porción con diferente contenido de humedad y se hacen rollitos hasta que se desmorone, o hasta llegar a un diámetro de 3,2 mm, ya que se trata de un suelo plástico





6. Finalmente, se toma una pequeña muestra de cada ensayo, se pesa cada uno con su tara respectiva para después meterla al horno, y se vuelve a pesar las muestras secas después de 24 hrs.





ANEXO 04

PROCTOR MODIFICADO PARA

OBTENCIÓN DE MDS Y OCH

**COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA
ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)**

a) NORMA APLICABLE: MTC E 110 y MTC E 115

b) PROCEDIMIENTO:

1. Se seca el material húmedo al aire libre, disgregando los terrones si es que hubieran y luego se pesa 30% arcilla y 70% de grava y se coloca en una bandeja para realizar el ensayo.



2. Se determina el porcentaje de material retenido en la malla N°4, 3/8” para establecer el método a realizar, según norma.

Tabla N° 33: Método de uso para el Ensayo de Proctor Modificado

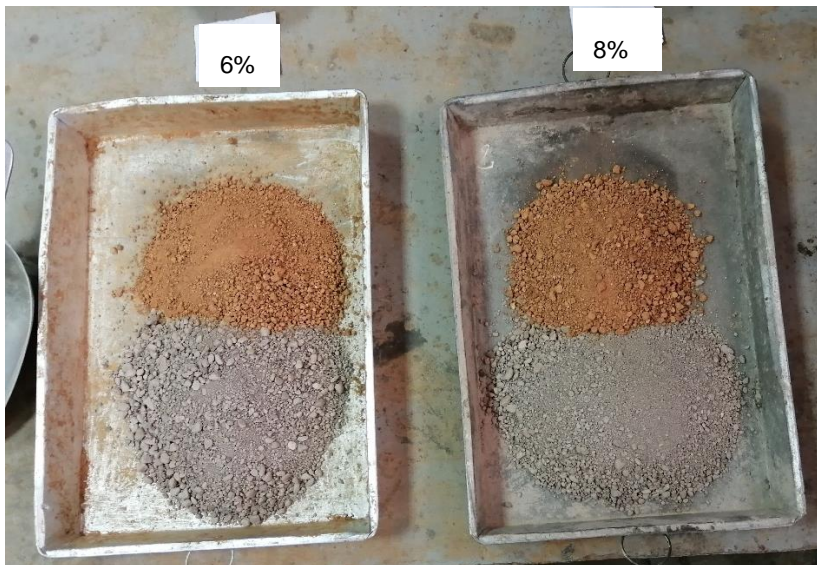
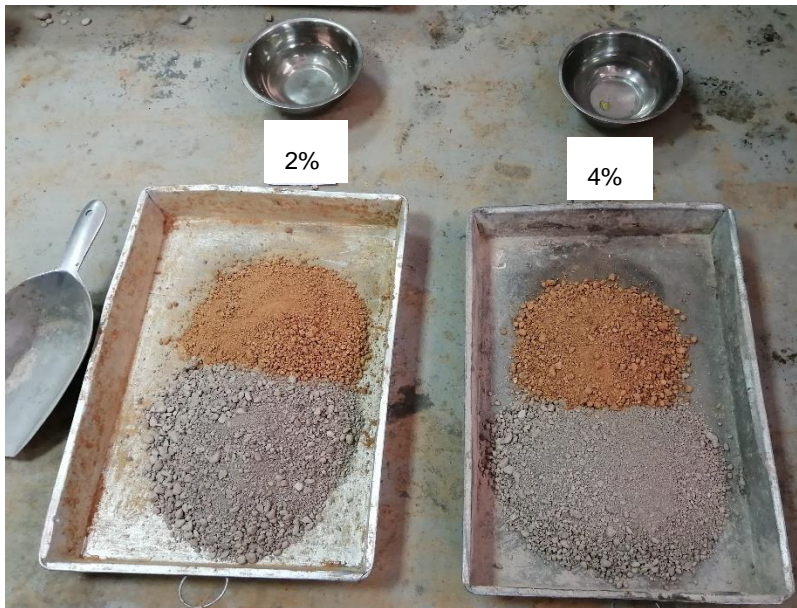
		MÉTODO A	MÉTODO B	MÉTODO C
%Retenido Acumulado	Tamiz 3/4"	-	-	<30
	Tamiz 3/8"	-	≤20	>20
	Tamiz N° 04	>20	-	-
Molde Ø		4"	4"	6"
Material		N° 4	3/8"	3/4"
N° de capas		5	5	5
N° de golpes por capa		25	25	25
Peso de martillo		10 lb	10 lb	10 lb
Altura de caída en pulg.		18"	18"	18"

Fuente: Adaptado del Manual de Ensayo de Materiales - (MTC, 2014)

- Se emplea el material pasante por el tamiz N° 3/8 y se preparan 4 muestras de 2,3 kg para el método B.



4. Agregar agua en un 2%, 4%, 6% y 8% por peso de la muestra.

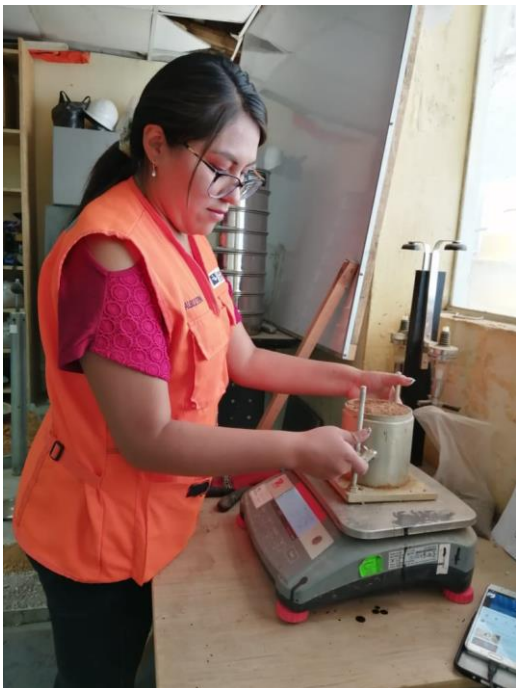


5. Se coloca la muestra humedecida en 5 capas y se compacta cada capa con 25 golpes en el molde de 4" para el Método B. Los golpes deben de ser aplicado en todas las áreas y tiene que ser de caída libre sin forzamiento y con la misma intensidad.





6. Después de haber compactado la última capa, se quita el collarín de tal forma que luego pueda enrasarse el molde con una regla metálica, y se registra el peso del suelo más el molde.





7. Luego de pesado, se extrae una muestra pequeña del centro del molde y se coloca en el horno, para obtener el contenido de humedad.



ANEXO 05

CBR

CBR DE SUELOS

a) **NORMA APLICABLE:** MTC E 132

b) **PROCEDIMIENTO:**

1. Primero, se procede a tamizar el material por la malla N° 04, y se preparan las muestras de 6 kg cada una.



2. Luego de haber preparado el molde con la humedad óptima, se divide la muestra en proporciones iguales y se procede a la compactación de cada una en 12, 25 y 56 golpes.



3. Terminada la compactación, se quita el collar del molde y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador, se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base, se pesa, luego se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y sobre ésta, los anillos necesarios para completar la sobrecarga tal, que se produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 Kg correspondientes a una pesa.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada.



4. Se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra y se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días), con el nivel de agua aproximadamente constante. Al final de periodo de inmersión, se envuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento.

ANEXO 06

PROCTOR MODIFICADO PARA

OBTENCIÓN DE ACOLCHONAMIENTO

**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA
ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)**

a) **NORMA APLICABLE:** MTC E 110 y MTC E 115

b) **PROCEDIMIENTO:**

1. El procedimiento es similar al explicado anteriormente, solo que se van a variar los contenidos de humedad para cada muestra ya que se busca obtener los valores de acolchonamiento.
2. El peso de la muestra para el Proctor modificado, método B es de 2300 gr, que se subdivide en 30% de arcilla (690 gr). y 70% de grava (1610 gr).
3. Los porcentajes de agua utilizados son de:
 - ✓ 9 % - 207 gr.
 - ✓ 10% - 230 gr.
 - ✓ 12% - 276 gr.
 - ✓ 14% - 322 gr.



- Al mezclar el suelo con el agua se puede evidenciar exceso de agua, pues también es dificultoso colocar la muestra en 5 capas, como se observa en las imágenes.



- Se compacta la muestra y se observa que existe acolchonamiento del material, con humedad de 10%, 12% y 14%



Acolchonamiento con 10%
de humedad



Acolchonamiento con 12%
de humedad



Acolchonamiento con 14%
de humedad



8. Después de haber compactado cada muestra, se pesa el molde y se extrae un pedazo pequeño del centro del molde para secarlo.

ANEXO 07

DOSIFICACIONES HUMEDAD - CAL

**COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA
ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)**

a) **NORMA APLICABLE:** MTC E 110 y MTC E 115

b) **PROCEDIMIENTO:**

1. El procedimiento es el normativo para el Proctor modificado; sin embargo, para estos ensayos se trabaja con las humedades que están en acolchonamiento y aquellas que pasan el acolchonamiento para saber si es que este suelo puede ser recuperado cuando se hacen dosificaciones de cal.
2. El peso de la muestra para el Proctor modificado, método B es de 3000 gr, que se subdivide en arcilla, grava y cal, como sigue a continuación.
 - ✓ Para 2% de cal (60 gr.)
 - 30% Arcilla: 882 gr.
 - 70% Grava: 2058 gr.
 - ✓ Para 4% de cal (120 gr.)
 - 30% Arcilla: 864 gr.
 - 70% Grava: 2016 gr.
 - ✓ Para 6% de cal (180 gr.)
 - 30% Arcilla: 846 gr.
 - 70% Grava: 1974 gr.
 - ✓ Para 8% de cal (240 gr.)
 - 30% Arcilla: 828 gr.

- 70% Grava: 1932 gr.
- ✓ Para 10% de cal (300 gr.)
- 30% Arcilla: 810 gr.
- 70% Grava: 1890 gr.

3. Se incrementará la humedad en los siguientes porcentajes de agua:

- ✓ 10 % - 300 gr.
- ✓ 12% - 360 gr.
- ✓ 14% - 420 gr.
- ✓ 16% - 480 gr.

4. Luego de haber obtenido los datos para cada muestra, se procede a pesar y colocar el material en las bandejas con las dosificaciones de material ligante, material gravoso y cal.





6. Luego se mezcla el suelo arcilloso y el suelo gravoso con el porcentaje de agua asignado 10%, 12%, 14% y 16%



10% Humedad



12% Humedad



14% Humedad



16% Humedad



10. Al observarse el fenómeno de acolchonamiento en las muestras con 10% y 12% de humedad y exceso de agua en 14% y 16% de humedad, se procede a escarificar el material e incrementar las dosificaciones de cal de 2%, 4%, 6%, 8% y 10%







11. Al mezclar el suelo con el agua se puede evidenciar exceso de agua, pues también es dificultoso colocar la muestra en 5 capas, como se observa en las imágenes.



10% Humedad



12% Humedad



14% Humedad



16% Humedad

12. Luego de haber compactado las muestras y haberlas pesado se colocan en el horno, para su secado y medición de la humedad del suelo.



CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 08

COMBINACIONES DE GRAVA –

ARCILLA

COMBINACIÓN 70% GRAVA – 30% ARCILLA



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

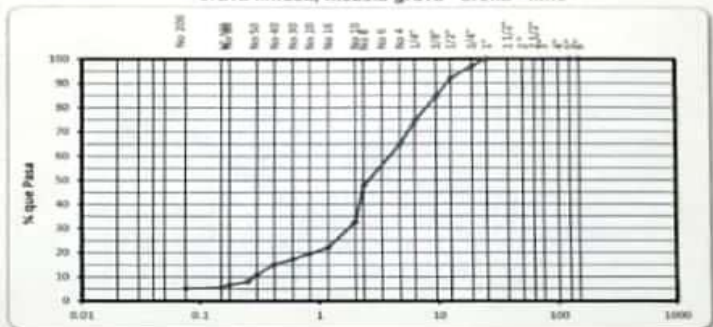
TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
PROVINCIA : HUANCAYO **DEPARTAMENTO :** JUNIN
CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS **FECHA :** 24-06-19
CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO
MUESTRA : 70-30

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050	29.8	3.0	3.0	97.0
1/2"	12.700	48.3	4.8	7.8	92.2
3/8"	9.525	76.0	7.6	15.4	84.6
1/4"	6.350	99.4	9.9	25.3	74.7
No. 4	4.750	98.2	9.8	35.1	64.9
No. 8	2.360	172.6	17.3	52.4	47.6
No. 10	2.000	149.9	15.0	67.4	32.6
No. 16	1.190	105.3	10.5	77.9	22.1
No. 20	0.834	25.2	2.5	80.4	19.6
No. 30	0.600	23.9	2.4	82.8	17.2
No. 40	0.420	20.7	2.1	84.9	15.1
No. 50	0.300	42.1	4.2	89.1	10.9
No. 60	0.250	29.5	3.0	92.1	8.0
No. 60	0.177	13.3	1.3	93.4	6.6
No. 100	0.149	10.0	1.0	94.4	5.6
No. 200	0.075	5.3	0.5	94.9	5.1
< No. 200		6.2	5.1	100.0	

CLASIFICACIÓN SUCS : GP
CLASIFICACIÓN AASHTO : A-2-4(II)

Grava limosa, mezcla grava - arena - limo



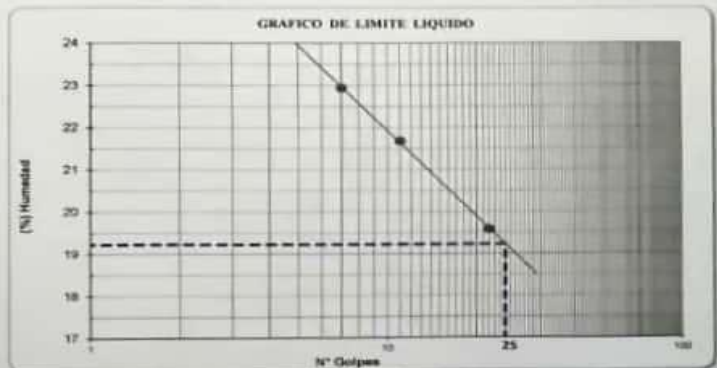
Peso Inicial (g) : 1000.00 **Peso Fracción (g) : 389.80**
 Material Grueso > N° 16: (g) : 701.40
 Material Fino < N° 16: (g) : 182.40

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA Y HUMEDAD NATURAL

	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	1	2	14
Capsula Nro			
Peso de la Capsula (g)	37.90	38.60	264.2
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	42.10	47.3	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	41.70	46.20	2078
Peso del Agua (g)	0.40	1.10	60
Peso del Suelo Seco (g)	3.80	7.60	1794
Contenido de Humedad (%)	10.53	14.47	3.34
PROMEDIO		12.50	3.34

CONSTANTES FÍSICAS
LIMITE LIQUIDO : 19.22 **LIMITE PLÁSTICO : 12.50** **IND. PLASTICIDAD : 6.72**

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	1	2	3
Capsula Nro			
Peso de la Capsula (g)	38.5	39.5	37.6
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	51.90	56.90	54.70
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	49.40	53.8	51.90
Numero de Golpes	7	11	22
Peso del agua (g)	2.5	3.10	2.80
Peso del Suelo Seco (g)	10.9	14.3	14.30
Contenido de Humedad (%)	22.94	21.68	19.58



Observaciones:

Ing. Oscar Aguirre L. Espinoza Espinoza
ICCSAH
 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRAULICA S.A.C.

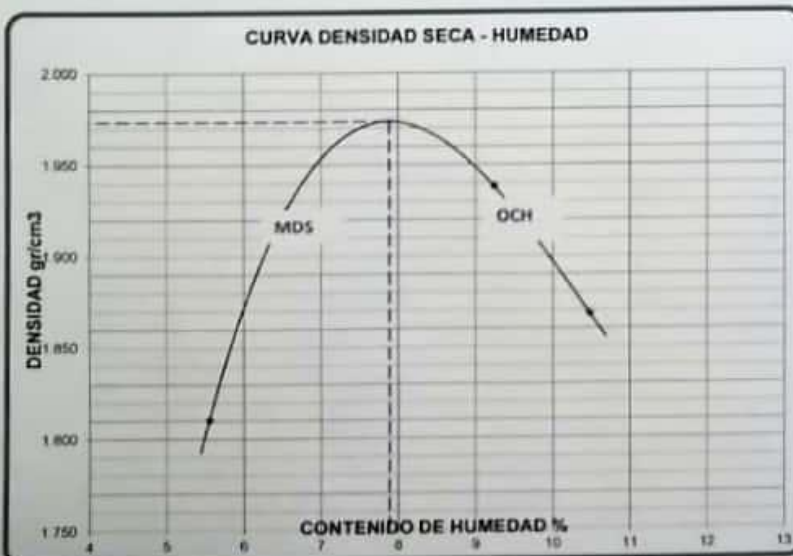
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 25-08-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO
 MUESTRA : 70-30

Metodo de compactacion		8			
Numero de golpes		25			
Numero de capas		5			
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA		1	2	3	4
1. Peso suelo humedo. + molde	g	5774	5919	5987	5932
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	1974	2119	2187	2132
5. Densidad suelo humedo	g/cc	1.911	2.051	2.117	2.064
CALCULO DE HUMEDAD		T-01	T-02	T-03	T-04
6. Capsula N°					
7. Peso del suelo húmedo + capsula	g	246.3	359.5	286.8	263.7
8. Peso del suelo seco + capsula	g	238.3	343.1	269.9	247.2
9. Peso del agua	g	8.0	16.4	16.9	16.5
10. Peso de la capsula	g	94.2	92.6	86.9	89.7
11. Peso del suelo seco	g	144.1	250.5	183.0	157.5
12. Contenido de humedad	%	5.55	6.55	9.23	10.48
13. Promedio de cont. de humedad	%	5.6	6.5	9.2	10.5
CALCULO DE DENSIDAD SECA		1.810	1.925	1.938	1.868
14. Densidad seca del suelo	g/cc				



DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Certificado:	
Gruesos > No 4, < 3/4"	64.9 %
Finos < No 4	35.1 %

RESULTADOS	
Humedad optima (%)	7.9
Densidad Maxima (g/cm³)	1.974

Observaciones:

[Signature]
 Ing. David Alvarado L. Espinosa Espinosa
 CIP 152927
ICCSAH
 PLANTILLA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.S.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO

PROVINCIA : HUANCAYO

DEPARTAMENTO : JUNIN

CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS

FECHA : 29-08-19

ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.)

(MTC E132)

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO

MUESTRA : 70-30

DATOS DEL PROCTOR

MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.974 g/cm ³
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	:	7.9 %

CAPACIDAD ANILLO	10000	Lbs
	1	

Cond. de la muestra	25		32		15	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°						
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Peso molde + suelo húmedo (g)	12457		12362		11900	
Peso de molde (g)	7757		7795		7461	
Peso del suelo húmedo (g)	4700		4567		4439	
Volumen del molde (cm ³)	2134		2134		2134	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.202		2.140		2.08	
Humedad (%)	0.08		0.09		0.091	
Densidad seca (g/cm ³)	2.03		1.97		1.91	
Tarro N°	1.00		2		3	
Tarro + Suelo húmedo (g)	245.60		296.50		958.32	
Tarro + Suelo seco (g)	230.50		279.70		886.1	
Peso del Agua (g)	15.10		16.80		72.22	
Peso del tarro (g)	50.50		89.20		89.5	
Peso del suelo seco (g)	180.00		190.50		796.6	
Humedad (%)	8.39%		8.82%		9.07%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (mm)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (mm)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (mm)	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025		0.64	95.10			0.64	82.20			0.64	71.90		
0.050		1.27	185.40			1.27	116.00			1.27	103.10		
0.075		1.91	324.00			1.91	252.00			1.91	223.50		
0.100	1000.0	2.54	423.00	423.00	42.30	2.54	402.00	402.00	40.00	2.54	377.10	377.10	37.71
0.125		3.18	497.00			3.18	421.00			3.18	382.00		
0.150		3.81	542.58			3.81	481.00			3.81	443.00		
0.200	1500.0	5.08	677.51	677.51	45.20	5.08	648.00	648.00	43.00	5.08	608.00	608.00	40.50
0.300		7.62	978.58			7.62	854.00			7.62	791.00		
0.400		10.16	1381.00			10.16	1094.00			10.16	1058.00		
0.500		12.70	1598.00			12.70	1334.00			12.70	1291.00		


 Ing. Civil Amalia E. Espinoza Ramos
 CIP: 182007
ICCSAH
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y OTRAS DE SUELOS Y SUELOS

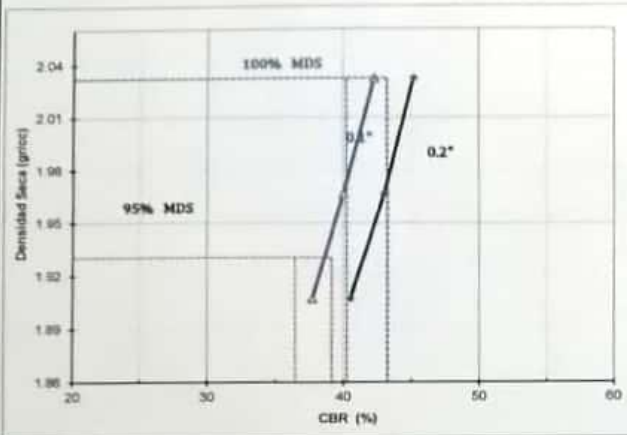
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 29-08-19

**ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.)
 (MTC E132)**

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO
 MUESTRA : 70-30

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



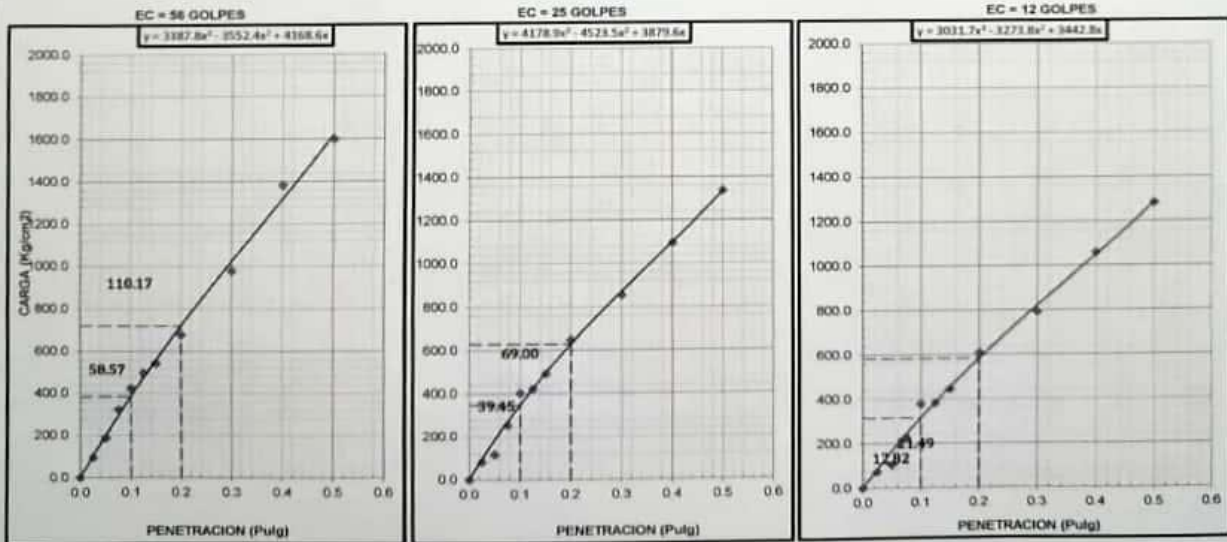
RESULTADOS:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	40.23	0.2"	43.35
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	36.46	0.2"	39.14

Datos del Proctor

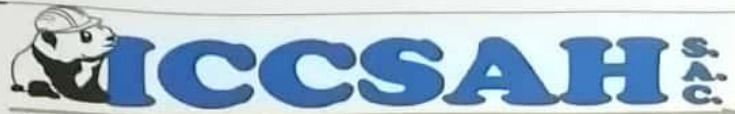
Densidad Seca	1.97	g/cc
Optimo Humedad	7.88	%

OBSERVACIONES:



[Signature]
 Ing. Carol Arnold L. Espinoza Espinoza
 CIP 152927
ICCSAH
 PLANTAS DE CALIDAD CON CERTIFICACION INTERNACIONAL

COMBINACIÓN 80% GRAVA – 20% ARCILLA



INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

BOULEVARD OLIVERO PITEL R00031201691

CASTRO VILLEGAS ESCOBAR

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 17-08-19
 CANTERA :
 MUESTRA : 80-20

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400				
3/4"	19.050	132.8	13.3	13.3	86.7
1/2"	12.700	139.2	13.9	27.2	72.8
3/8"	9.525	141.4	14.1	41.3	58.7
1/4"	6.350	164.0	16.4	57.7	42.3
No. 4	4.760	160.7	16.1	73.8	26.2
No. 8	2.360	78.1	7.8	81.6	18.4
No. 10	2.000	51.1	5.1	86.7	13.3
No. 16	1.190	30.4	3.0	89.8	10.2
No. 20	0.834	15.9	1.6	91.4	8.6
No. 30	0.600	13.8	1.4	92.7	7.3
No. 40	0.420	11.7	1.2	93.9	6.1
No. 50	0.300	18.6	1.9	95.8	4.2
No. 60	0.250	16.4	1.6	97.4	2.6
No. 80	0.177	7.6	0.8	98.2	1.8
No. 100	0.149	5.8	0.6	98.8	1.2
No. 200	0.075	2.8	0.3	99.0	1.0
< No. 200		3.5	1.0	100.0	

CLASIFICACIÓN SUCS : GP
 CLASIFICACIÓN AASHTO : A-1-a(9)

Grava limosa, mezcla grava - arena - limo



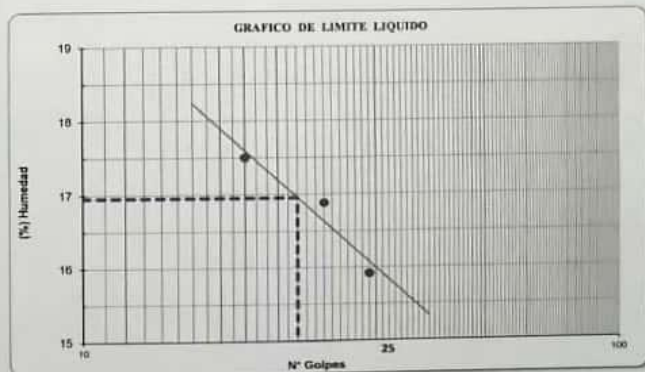
Peso Inicial (g) : 1000.00
 Material Grueso > N° 16 (g) : 738.10
 Material Grueso < N° 16 (g) : 261.90

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA Y HUMEDAD NATURAL

	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	
Capsula Nro	10	35	14
Peso de la Capsula (g)	4.66	4.45	284.2
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	9.48	9.36	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8.96	8.88	2078
Peso del Agua (g)	0.52	0.48	60
Peso del Suelo Seco (g)	4.30	4.43	1794
Contenido de Humedad (%)	12.09	10.84	3.34
PROMEDIO		11.46	3.34

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Capsula Nro	33	9	37
Peso de la Capsula (g)	37.4	47.2	39.47
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	62.90	57.50	74.00
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	59.10	51.68	69.28
Numero de Golpes	20	28	34
Peso del agua (g)	3.798	5.82	4.74
Peso del Suelo Seco (g)	21.702	34.48	29.79
Contenido de Humedad (%)	17.50	16.88	15.91

CONSTANTES FÍSICAS
 LIMITE LIQUIDO : 16.95 LIMITE PLÁSTICO : 11.46 IND. PLASTICIDAD : 5.49



Observaciones:

Albiluz Espinoza Ramos
 Ing. Civil - Junin - Albiluz Espinoza Ramos
 CIP 152821
ICCSAH
 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

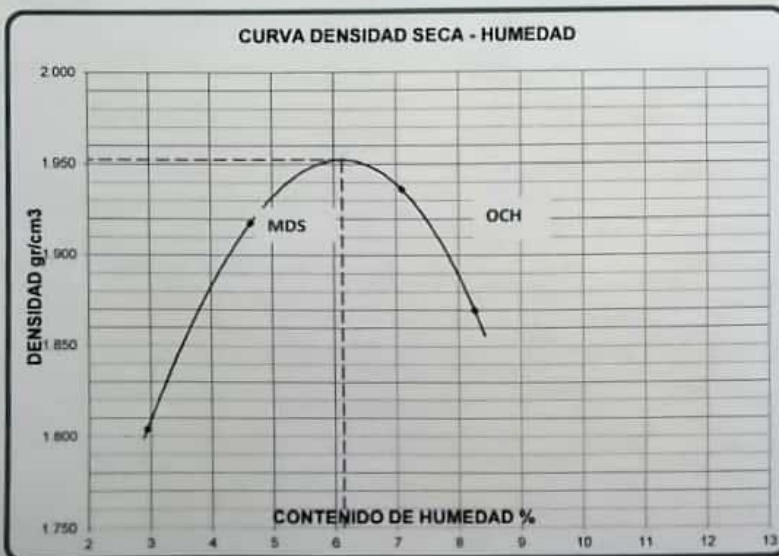
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 18-08-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)

CANTERA :
 MUESTRA : 80-20

Metodo de compactacion					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
		1	2	3	4
1. Peso suelo humedo. + molde	g	5718	5873	5942	5891
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	1918	2073	2142	2091
5. Densidad suelo humedo	g/cc	1.857	2.007	2.074	2.024
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	T-02	T-03	T-04
7. Peso del suelo humedo + capsula	g	248.3	360.5	287.8	262.7
8. Peso del suelo seco+capsula	g	243.9	348.6	274.5	249.5
9. Peso del agua	g	4.4	11.9	13.3	13.2
10. Peso de la capsula	g	94.2	92.6	86.9	89.7
11. Peso del suelo seco	g	149.7	256.0	187.6	159.8
12. Contenido de humedad	%	2.94	4.65	7.09	8.26
13. Promedio de cont. de humedad	%	2.9	4.6	7.1	8.3
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.804	1.918	1.936	1.870



DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Certificado:	
Finos < No 4	26.2 %
Gruesos > No 4, < 3/4"	73.8 %

RESULTADOS	
Humedad optima (%)	6.13
Densidad Maxima (g/cm ³)	1.95

Observaciones:


 Ing. Axel Espinoza Ramos
 CIP 152927


LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 22-08-19

ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.) (MTC E132)

CANtera :
 Muestra : 80-20

DATOS DEL PROCTOR

MAXIMA DENSIDAD SECA : 1.95 g/cm³
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD : 6.13 %

CAPACIDAD 16000 Lbs.
 ANILLO 1


	25	32	15	
Molde N°	5	5	5	
N° Capa	56	25	12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (g)	12461	12,398	11,895	
Peso de molde (g)	7900	7,952	7,563	
Peso del suelo húmedo (g)	4561	4,446	4,332	
Volumen del molde (cm ³)	2134	2,134	2,134	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.137	2.083	2.03	
Humedad (%)	0.07	0.07	0.074	
Densidad seca (g/cm ³)	2.01	1.95	1.89	
Tarro N°	1	2	3	
Tarro + Suelo húmedo (g)	243.88	294.42	953.88	
Tarro + Suelo seco (g)	232.01	280.81	894.5	
Peso del Agua (g)	11.87	13.61	59.38	
Peso del tarro (g)	50.50	89.20	89.5	
Peso del suelo seco (g)	181.51	191.61	805	
Humedad (%)	6.54%	7.10%	7.38%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025		0.64	125.89			0.64	82.25			0.64	71.90		
0.050		1.27	205.12			1.27	113.52			1.27	103.10		
0.075		1.91	354.56			1.91	252.45			1.91	223.50		
0.100	1000.0	2.54	392.62	392.62	39.26	2.54	369.40	369.40	36.94	2.54	334.61	334.61	33.46
0.125		3.18	586.31			3.18	401.57			3.18	382.00		
0.150		3.81	575.40			3.81	473.69			3.81	454.47		
0.200	1500.0	5.08	596.75	596.75	43.12	5.08	648.52	648.52	40.42	5.08	612.58	612.58	37.52
0.300		7.62	997.43			7.62	874.47			7.62	791.00		
0.400		10.16	1401.20			10.16	1194.52			10.16	1038.00		
0.500		12.70	1599.87			12.70	1434.50			12.70	1251.00		

Albiluz Espinoza Ramos
 Ing. Civil y M. L. Espinoza Ramos
 CIP 152927

 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

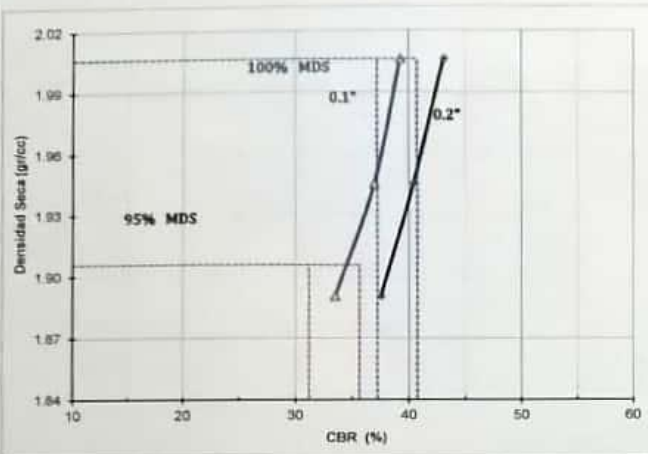
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 22-08-19

**ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.)
 (MTG E132)**

CANTERA :
 MUESTRA : 80-20

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



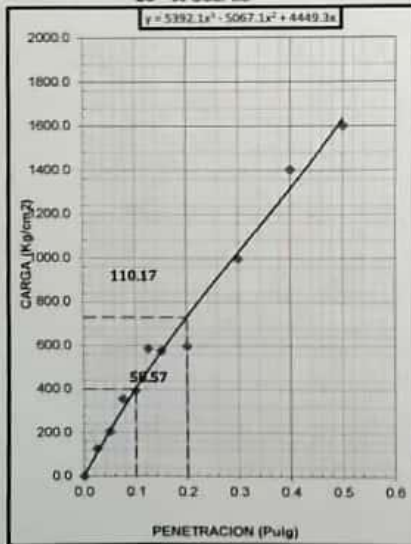
RESULTADOS:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	38.25	0.2"	41.11
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	31.18	0.2"	35.62

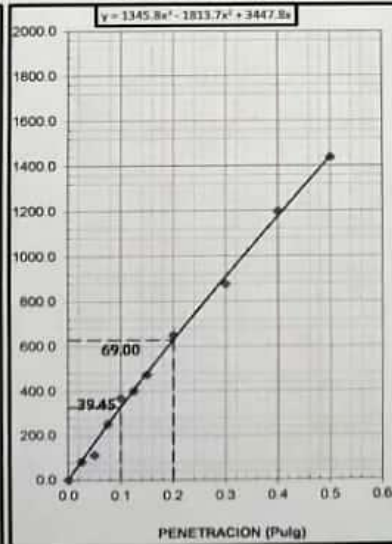
Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.95	g/cc
Óptimo Humedad	6.13	%

OBSERVACIONES:

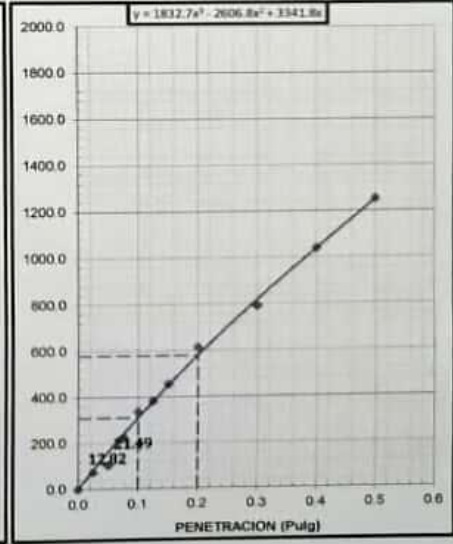
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES




Ing. Carlos Amador C. Espinoza Espinoza
 CIP 152027
ICCSAH
 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

COMBINACIÓN 90% GRAVA – 10% ARCILLA



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNÍN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 10-05-19
 CANTERA :
 MUESTRA : 90 - 10

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050	125.8	12.6	12.6	87.4
1/2"	12.700	140.2	14.0	26.6	73.4
3/8"	9.525	175.4	17.5	44.1	55.9
1/4"	6.350	193.9	19.4	63.5	36.5
No. 4	4.750	185.7	18.6	82.1	17.9
No. 8	2.360	61.5	6.2	88.3	11.7
No. 10	2.000	31.2	3.1	91.4	8.6
No. 15	1.190	20.4	2.0	93.4	6.6
No. 20	0.834	8.9	0.9	94.3	5.7
No. 30	0.600	7.6	0.8	95.1	4.9
No. 40	0.420	4.5	0.5	95.5	4.5
No. 50	0.300	11.6	1.2	96.7	3.3
No. 60	0.250	9.8	1.0	97.7	2.3
No. 80	0.177	7.1	0.7	98.4	1.6
No. 100	0.149	4.6	0.5	98.8	1.2
No. 200	0.075	2.5	0.3	99.1	0.9
< No. 200		3.1	0.9	100.0	

CLASIFICACIÓN SUGS : GP
 CLASIFICACIÓN AASHTO : A-1-a(0)

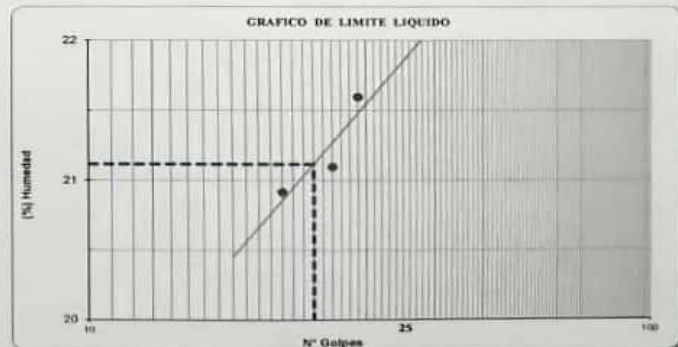
Grava limosa, mezcla grava - arena - limo



Peso Inicial (g) : 1000.00
 Material Grueso > N° 16: (g) : 934.10
 Material Grueso < N° 16: (g) : 86.30
 Peso Fracción (g) : 821.00

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA Y HUMEDAD NATURAL

CONSTANTES FÍSICAS
 LIMITE LIQUIDO : 21.11 LIMITE PLÁSTICO : NP IND. PLASTICIDAD : NP



	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	34	36	21
Capsula H ₂ O			
Peso de la Capsula (g)	37.9	45.3	40.6
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	66.56	75.65	72.40
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	61.47	70.4	66.86
Numero de Golpes	30	22	27
Peso del agua (g)	5.09	5.25	5.54
Peso del Suelo Seco (g)	23.57	25.1	26.26
Contenido de Humedad (%)	21.60	20.92	21.10

Observaciones:

Alb. Espinoza
 Ing. Civil Espinoza L. Espinoza Espinoza
 CIP 152027

 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

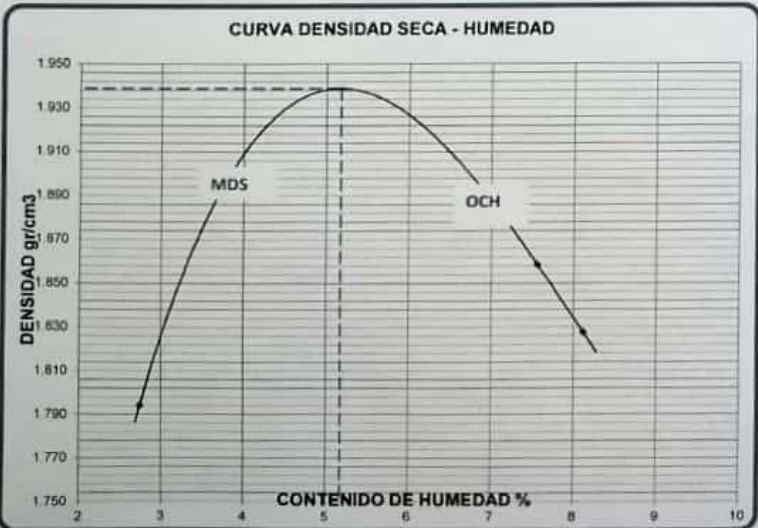
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMA FECHA : 11-08-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)

CANERA :
 MUESTRA : 90 - 10

Metodo de compactacion					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					4
1. Peso suelo humedo. + molde	g	5704	5840	5865	5841
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	1904	2040	2065	2041
5. Densidad suelo humedo	g/cc	1.843	1.975	1.999	1.976
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	TARA P	T -01	T - 02
7. Peso del suelo húmedo + capsula	g	255.3	350.5	286.1	256.2
8. Peso del suelo seco+capsula	g	251.0	340.9	272.1	243.7
9. Peso del agua	g	4.3	9.6	14.0	12.5
10. Peso de la capsula	g	94.2	92.6	86.9	89.7
11. Peso del suelo seco	g	156.8	248.3	185.2	154.0
12. Contenido de humedad	%	2.74	3.87	7.56	8.12
13. Promedio de cont. de humedad	%	2.7	3.9	7.6	8.1
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.794	1.901	1.859	1.827



DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Certificado:	
Finos < No 4	17.9 %
Grosos > No 4, < 3/4"	82.1 %

RESULTADOS	
Humedad optima (%)	5.17
Densidad Maxima (g/cm ³)	1.94

Observaciones:

[Signature]
 Ing. *[Name]*
 CIP 152927




ICCSAH S.A.C.

INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO

PROVINCIA : HUANCAYO

DEPARTAMENTO : JUNIN

CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS

FECHA : 15-08-19

ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.) (MTC E132)

CANTERA :
MUESTRA : 90 - 10

DATOS DEL PROCTOR

MAXIMA DENSIDAD SECA : 1.94 g/cm³
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD : 5.17 %

CAPACIDAD : 10000 Lbs.
ANILLO : 1

Molde N°	25	32	15			
N° Capa	5	5	5			
Golpes por capa N°	56	25	12			
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (g)	12435		12,381		11,831	
Peso de molde (g)	7930		7,990		7,564	
Peso del suelo húmedo (g)	4505		4,391		4,267	
Volumen del molde (cm ³)	2134		2,134		2,134	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.111		2.058		2.00	
Humedad (%)	0.05		0.06		0.062	
Densidad seca (g/cm ³)	2.00		1.94		1.88	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro + Suelo húmedo (g)	241.47		290.26		986.45	
Tarro + Suelo seco (g)	231.59		279.01		934.01	
Peso del Agua (g)	9.88		11.25		52.44	
Peso del tarro (g)	50.50		89.20		89.5	
Peso del suelo seco (g)	181.09		189.81		844.51	
Humedad (%)	5.46%		5.93%		6.21%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025		0.64	85.64			0.64	75.40			0.64	65.90		
0.050		1.27	170.25			1.27	106.58			1.27	95.84		
0.075		1.91	304.52			1.91	235.40			1.91	201.45		
0.100	1000.0	2.54	348.00	348.00	34.80	2.54	324.00	324.00	32.40	2.54	300.56	300.56	30.06
0.125		3.18	452.52			3.18	398.58			3.18	395.25		
0.150		3.81	504.23			3.81	478.20			3.81	429.87		
0.200	1500.0	5.08	624.87	624.87	39.91	5.08	648.00	648.00	37.35	5.08	594.58	594.58	34.84
0.300		7.62	995.00			7.62	854.00			7.62	772.50		
0.400		10.16	1323.00			10.16	1098.20			10.16	968.00		
0.500		12.70	1506.40			12.70	1286.95			12.70	1159.85		

Ing. [Nombre] E. Espinoza Ramos
 CIP 152927

 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

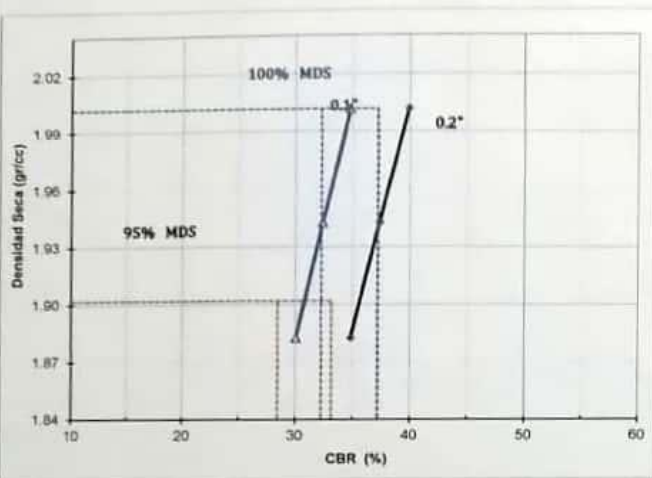
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 15-08-19

**ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.)
 (MTC E132)**

CANTERA :
 MUESTRA : 90 - 10

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

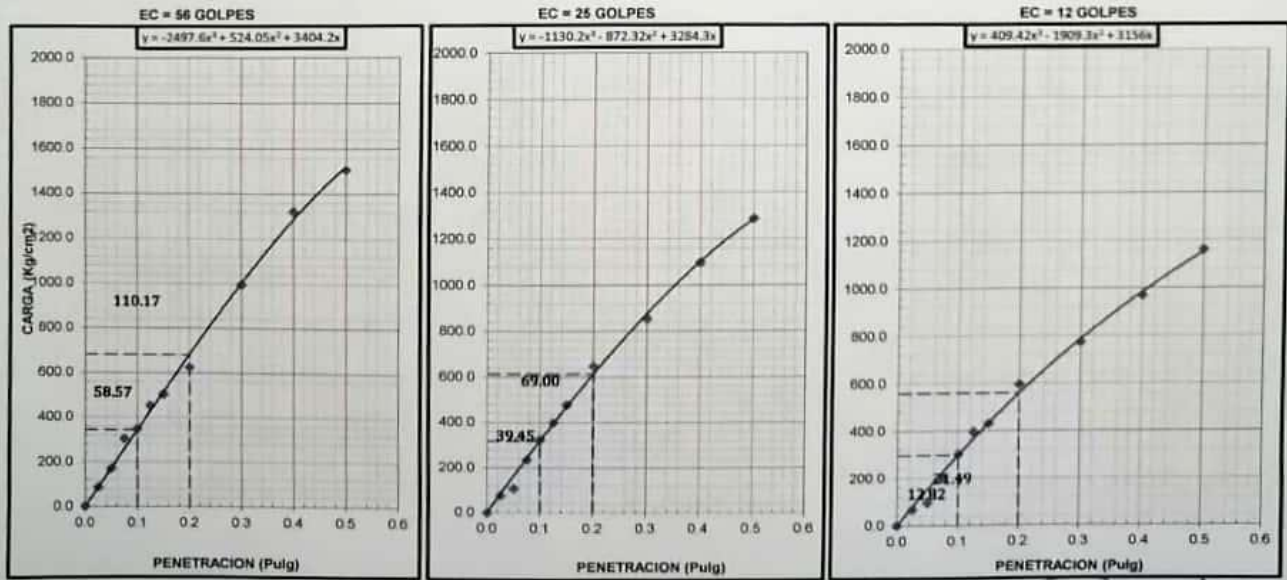


RESULTADOS:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	31.67	0.2":	36.50
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	28.46	0.2":	33.13

Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.94	g/cc
Optimo Humedad	5.17	%

OBSERVACIONES:



Ing. Civil Albiluz Espinoza Espinoza
 CIP: 152027

 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

COMBINACIÓN 100% GRAVA – 0% ARCILLA



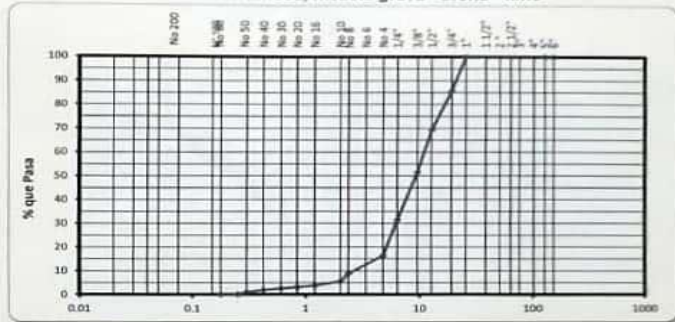
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 03-08-19
 CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO
 MUESTRA : 100-00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050	142.5	14.3	14.3	85.8
1/2"	12.700	165.6	16.6	30.8	69.2
3/8"	9.525	176.0	17.6	48.4	51.6
1/4"	6.350	201.5	20.2	68.6	31.4
No. 4	4.750	151.0	15.1	83.7	16.3
No. 8	2.360	75.0	7.5	91.2	8.8
No. 10	2.000	32.5	3.3	94.5	5.5
No. 16	1.190	18.6	1.9	96.3	3.7
No. 20	0.834	6.2	0.6	96.9	3.1
No. 30	0.600	5.9	0.6	97.5	2.5
No. 40	0.420	5.6	0.6	98.1	1.9
No. 50	0.300	9.5	1.0	99.0	1.0
No. 60	0.250	8.5	0.9	99.9	0.1
No. 80	0.177	0.9	0.1	100.0	0.0
No. 100	0.149	0.5	0.1	100.0	0.0
No. 200	0.075	0.1	0.0	100.0	0.0
< No. 200				100.0	

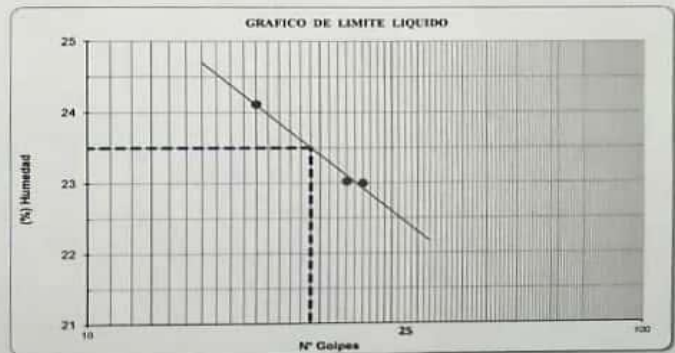
CLASIFICACIÓN SUCS : GP
 CLASIFICACIÓN AASHTO : A-1-a(5)
 Grava limosa, mezcla grava - arena - limo



Peso Inicial (g) : 1000.00
 Material Grueso > N° 16: (g) : 962.70
 Material Grueso < N° 16: (g) : 55.90
 Peso Fracción (g) : 836.60

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA Y HUMEDAD NATURAL

CONSTANTES FÍSICAS
 LIMITE LIQUIDO : 23.50 LIMITE PLÁSTICO : NP IND. PLASTICIDAD : NP



Capsula Nro	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	1	2	3
Peso de la Capsula (g)	38.6	44.2	41.3
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	68.42	74.26	76.34
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	62.84	68.42	69.79
Numero de Golpes	29	20	31
Peso del agua (g)	5.58	5.84	6.55
Peso del Suelo Seco (g)	24.24	24.22	28.49
Contenido de Humedad (%)	23.02	24.11	22.99

Observaciones:

Armed C. Espinoza
 Ing. Civil *Armed C. Espinoza Espinoza*
 CIP 152927
ICCSAH
 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

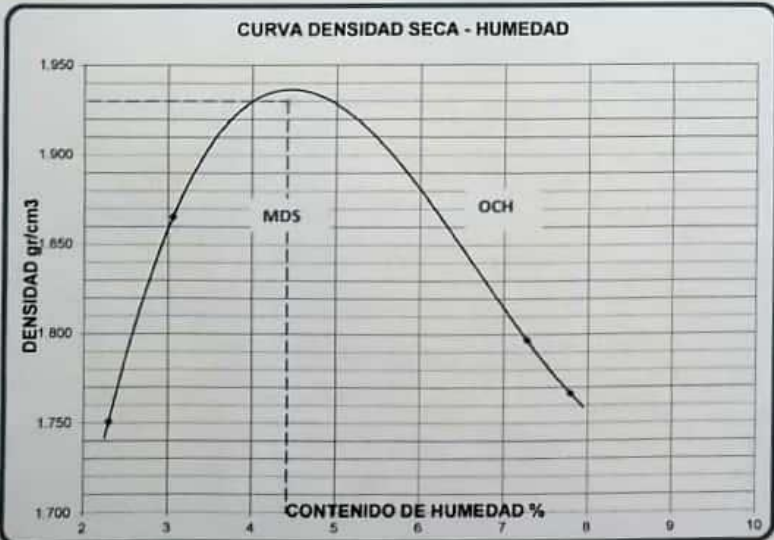
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 04-08-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO
 MUESTRA : 100-00

Metodo de compactacion		C			
Numero de golpes		56			
Numero de capas		5			
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA		1	2	3	4
1. Peso suelo humedo. + molde	g	5650	5786	5791	5767
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	1850	1986	1991	1967
5. Densidad suelo humedo	g/cc	1.791	1.923	1.927	1.904
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	TARA P	T -01	T - 02
7. Peso del suelo humedo.+ capsula	g	253.7	348.6	285.9	255.7
8. Peso del suelo seco+capsula	g	250.1	341.0	272.4	243.7
9. Peso del agua	g	3.6	7.6	13.5	12.0
10. Peso de la capsula	g	94.2	92.6	86.9	89.7
11. Peso del suelo seco	g	155.9	248.4	185.5	154.0
12. Contenido de humedad	%	2.30	3.06	7.28	7.79
13. Promedio de cont. de humedad	%	2.3	3.1	7.3	7.8
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.751	1.865	1.797	1.767



DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Certificado:	
Finos < No 4	16.3 %
Gruesos > No 4, < 3/4"	83.7 %

RESULTADOS	
Humedad optima (%)	4.42
Densidad Maxima (g/cm³)	1.93

Observaciones:

[Signature]
 Ing. César Acosta E. Espinoza Espinoza
 CIP 152927

 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

PROYECTO : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 08-08-19

ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.)
(MTC E132)

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO
 MUESTRA : 100-00

DATOS DEL PROCTOR

MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.93 g/cm ³
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	:	4.42 %

CAPACIDAD	:	10000 Lbs.
ANILLO	:	1

Cond. de la muestra	25		32		15	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°	25		32		15	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Peso molde + suelo húmedo (g)	12439		12,327		11,823	
Peso de molde (g)	7955		7,958		7,585	
Peso del suelo húmedo (g)	4484		4,369		4,238	
Volumen del molde (cm ³)	2134		2,134		2,134	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.101		2.047		1.99	
Humedad (%)	0.05		0.05		0.056	
Densidad seca (g/cm ³)	2.01		1.95		1.88	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro + Suelo húmedo (g)	240.57		288.60		980.02	
Tarro + Suelo seco (g)	232.01		278.68		933.15	
Peso del Agua (g)	8.56		9.92		46.87	
Peso del tarro (g)	50.50		89.20		89.5	
Peso del suelo seco (g)	181.51		189.48		843.65	
Humedad (%)	4.72%		5.24%		5.56%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
NO EXPANSIVO											

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial (div)	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.025		0.64	80.50			0.64	70.14			0.64	60.25		
0.050		1.27	168.93			1.27	100.50			1.27	91.70		
0.075		1.91	265.60			1.91	228.30			1.91	198.60		
0.100	70.3	2.54	338.00	338.00	33.80	2.54	302.50	302.50	30.25	2.54	264.00	264.00	26.40
0.125		3.18	438.95			3.18	388.58			3.18	365.10		
0.150		3.81	498.70			3.81	468.90			3.81	412.60		
0.200	105.0	5.08	614.80	614.80	39.70	5.08	591.80	591.80	35.00	5.08	536.40	536.40	32.40
0.300		7.62	965.80			7.62	786.90			7.62	725.30		
0.400		10.16	1240.80			10.16	1034.80			10.16	930.70		
0.500		12.70	1495.25			12.70	1246.50			12.70	1115.00		


 Ing. Ovidio Amador Espinoza Ramos
 CIP 152927

 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

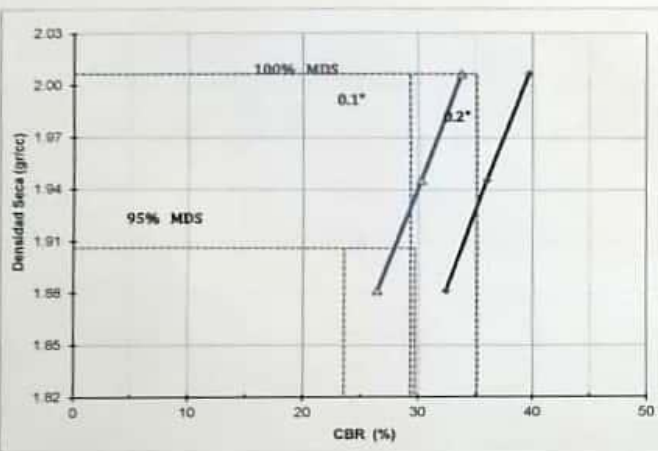
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA F. FECHA : 08-08-19

ENSAYO VALOR DE RELACION DE SOPORTE (C.B.R.) (MTC E132)

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO
 MUESTRA : 100-00

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

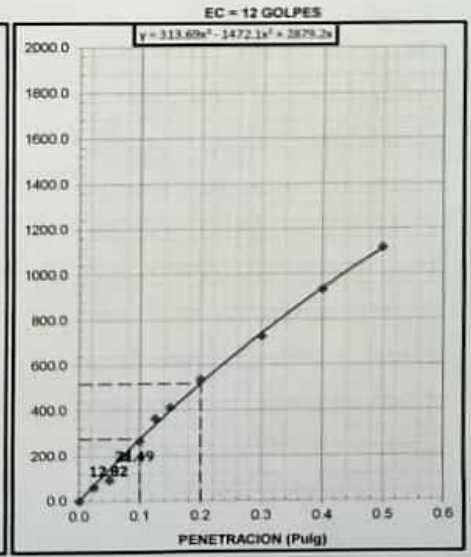
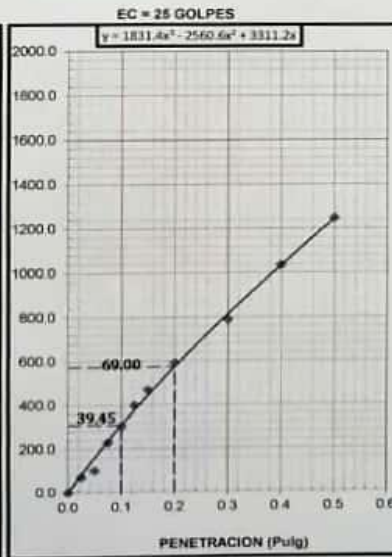
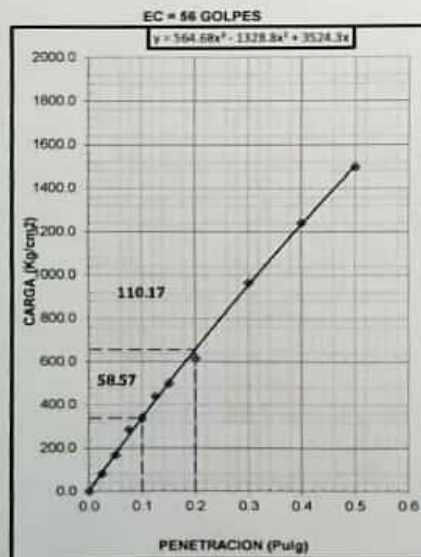


RESULTADOS:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1%:	30.01	0.2%:	35.89
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1%:	23.52	0.2%:	29.71

Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.93	g/cc
Optimo Humedad	4.42	%

OBSERVACIONES:



[Signature]
 Ing. Ovidio Espinoza Espinoza
 CIP 152927

 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

ANEXO 09

PROCTOR CON VALORES DE SATURACION DEL SUELO

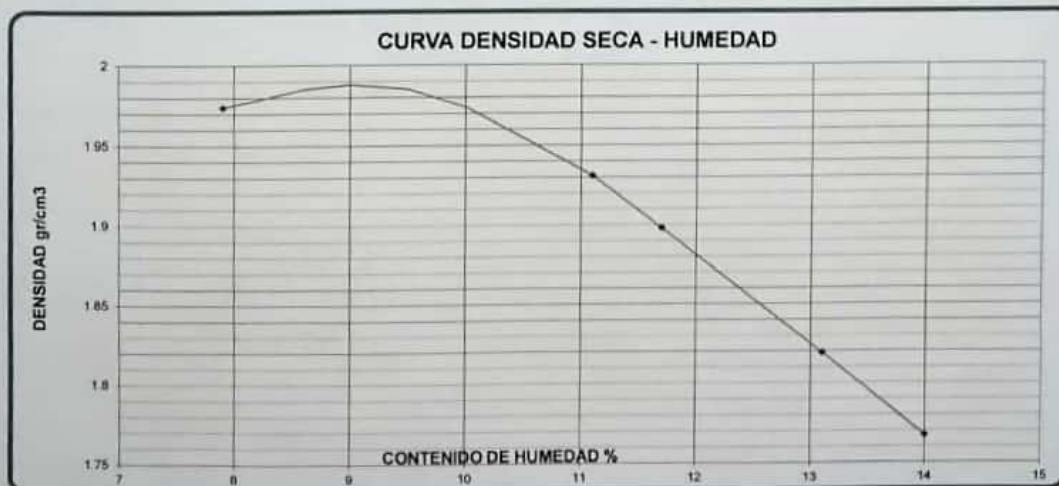
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
PROVINCIA : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN
CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMI **FECHA** : 28-08-19

**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA
(MTC E 116)**
VALORES DE ACOLCHONAMIENTO DEL SUELO

APROBADO POR :

Metodo de compactacion		B			
Numero de golpes		25			
Numero de capas		5			
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA		PORCENTAJE DE AGUA			
		9%	10%	12%	14%
1. Peso suelo humedo. + molde	g	6016	5989	5925	5880
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	2216	2189	2125	2080
5. Densidad suelo humedo	g/cc	2.145	2.119	2.057	2.014
CALCULO DE HUMEDAD		PORCENTAJE DE AGUA			
		9%	10%	12%	14%
6. Capsula N°		1	2	3	4
7. Peso del suelo humedo. + capsula	g	288.2	341.5	238.4	301.9
8. Peso del suelo seco+capsula	g	268.4	314.9	216.5	275.4
9. Peso del agua	g	19.8	26.6	21.9	26.5
10. Peso de la capsula	g	89.7	86.9	49.3	85.9
11. Peso del suelo seco	g	178.7	228.0	167.2	189.5
12. Contenido de humedad	%	11.08	11.67	13.10	13.98
13. Promedio de cont. de humedad	%	11.1	11.7	13.1	14.0
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.931	1.898	1.819	1.767



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO

PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN

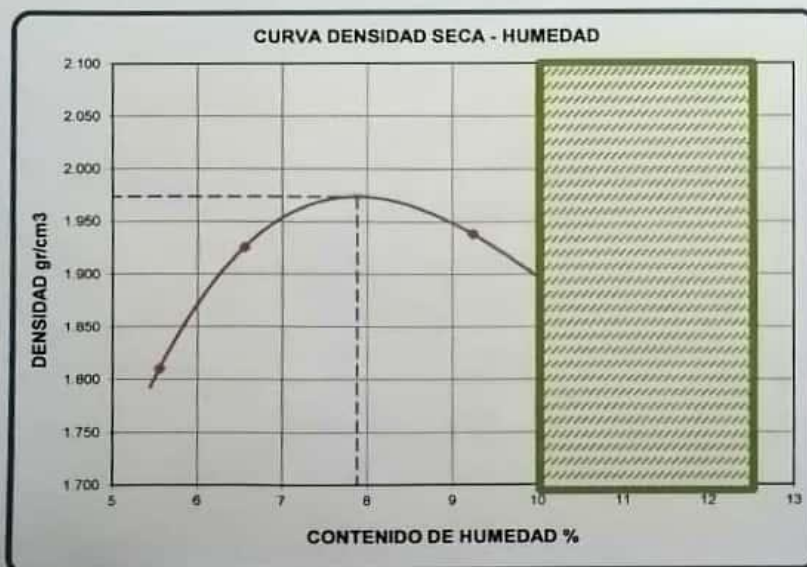
CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 25-08-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO

MUESTRA : M - 1

Metodo de compactacion	B				
Numero de golpes	25				
Numero de capas	5				
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
	1	2	3	4	
1. Peso suelo humedo. + molde	g	6016	5989	5925	5880
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	2216	2189	2125	2080
5. Densidad suelo humedo	g/cc	2.145	2.119	2.057	2.014
CALCULO DE HUMEDAD					
	0.02	0.04	0.06	0.08	
6. Capsula N°	1	2	3	4	
7. Peso del suelo humedo. + capsula	g	288.2	341.5	238.4	301.9
8. Peso del suelo seco+capsula	g	268.4	314.9	216.5	275.4
9. Peso del agua	g	19.8	26.6	21.9	26.5
10. Peso de la capsula	g	89.7	86.9	49.3	85.9
11. Peso del suelo seco	g	178.7	228.0	167.2	189.5
12. Contenido de humedad	%	11.08	11.67	13.10	13.98
13. Promedio de cont. de humedad	%	11.1	11.7	13.1	14.0
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.931	1.898	1.819	1.767



DATOS DE LA GRANULOMETRIA

Certificado:

Finos < No 4 61.4 %
Grosos > No 4, < 3/4" 38.6 %

RESULTADOS

Humedad optima (%) 10.9
Densidad Maxima (g/cm³) 1.944

Observaciones:

- MATERIAL NATURAL

[Signature]
Ing. Civil Arnold E. Espinoza Espinoza
CIP 152827
ICCSAH
INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

ANEXO 10

DOSIFICACIONES HUMEDAD - CAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 25-08-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)

Operador: 01

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO

Metodo de compactacion	B					
Numero de golpes	25					
Numero de capas	5					
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA						
	1	2	3	4	5	
1. Peso suelo humedo + molde	g	5952	5991	5990	5995	6001
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	2152	2191	2190	2195	2201
5. Densidad suelo humedo	g/cc	2.083	2.121	2.120	2.125	2.131
CALCULO DE HUMEDAD - PORCENTAJE DE ADICION DE CAL						
	1	2	3	4	5	
6. Capsula N°		1	2	3	4	5
7. Peso del suelo humedo + capsula	g	451.6	212.1	284.3	302.6	373.5
8. Peso del suelo seco + capsula	g	419.7	202.0	268.8	286.9	353.5
9. Peso del agua	g	32.1	10.1	15.5	15.7	20.0
10. Peso de la capsula	g	93.7	90.0	84.3	89.7	93.6
11. Peso del suelo seco	g	326.0	112.0	184.5	197.2	259.9
12. Contenido de humedad	%	9.85	9.02	8.40	7.96	7.70
13. Promedio de cont. de humedad	%	9.8	9.0	8.4	8.0	7.7
CALCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.897	1.946	1.956	1.968	1.978



DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Certificado:	
Finos < No 4	61.4 %
Gruesos > No 4, < 3/4"	38.6 %

RESULTADOS	
Humedad optima (%)	8.1
Densidad Maxima (g/cm³)	1.962

Observaciones:
 - MATERIAL NATURAL

[Signature]
 Ing. Civil Apollito E. Espinoza Espinoza
 CIP 152927
ICCSAH
 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.S.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
PROVINCIA : HUANCAYO **DEPARTAMENTO :** JUNIN
CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS **FECHA :** 25-08-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)
CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO

Operador: 91

Metodo de compactacion		8				
Numero de golpes		25				
Numero de capas		5				
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA		1	2	3	4	5
1. Peso suelo humedo. + molde	g	5834	5856	5935	5960	5968
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	2034	2056	2135	2160	2168
5. Densidad suelo humedo	g/cc	1.969	1.990	2.067	2.091	2.099
CALCULO DE HUMEDAD		0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
6. Capsula N°		6	1	4	3	
7. Peso del suelo humedo. + capsula	g	185.0	190.1	271.7	190.1	272.6
8. Peso del suelo seco+capsula	g	175.2	179.8	253.9	181.2	258.1
9. Peso del agua	g	9.8	10.3	17.8	8.9	14.5
10. Peso de la capsula	g	94.7	90.2	88.0	90.3	86.9
11. Peso del suelo seco	g	80.5	89.6	165.9	90.9	171.2
12. Contenido de humedad	%	12.17	11.50	10.73	9.79	8.47
13. Promedio de cont. de humedad	%	12.2	11.5	10.7	9.8	8.5
CALCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.755	1.785	1.867	1.905	1.935


DATOS DE LA GRANULOMETRIA
Certificado:

Finos < No 4 61.4 %
 Gruesos > No 4 < 3/4" 38.6 %

RESULTADOS

Humedad optima (%) 10.0
 Densidad Maxima (g/cm³) 1.896

Observaciones:

- MATERIAL NATURAL


 Ing. Civil Agustin L. Espinoza Espinoza
 CIP 152827
ICCSAH
 INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTOS Y HIDRAULICA S.A.S.



INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
 PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNIN
 CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS FECHA : 25-04-19

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (MTC E 115)

Operator: 01

CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO

Metodo de compactacion						B
Numero de golpes						25
Numero de capas						5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA						
1. Peso suelo humedo. + molde	g	5785	5799	5835	5849	5867
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	1985	1999	2035	2049	2067
5. Densidad suelo humedo	g/cc	1.922	1.935	1.970	1.984	2.001
CALCULO DE HUMEDAD						
6. Capsula N°						1 2 3 4 5
7. Peso del suelo humedo.+ capsula	g	173.7	153.4	264.0	187.2	258.9
8. Peso del suelo seco+capsula	g	160.9	138.9	239.8	174.1	239.4
9. Peso del agua	g	12.8	14.5	24.2	13.1	19.5
10. Peso de la capsula	g	90.2	54.7	86.8	84.2	90.6
11. Peso del suelo seco	g	70.7	84.2	153.0	89.9	148.8
12. Contenido de humedad	%	14.06	13.18	11.76	10.59	9.10
13. Promedio de cont. de humedad	%	14.1	13.2	11.8	10.6	9.1
CALCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.627	1.651	1.701	1.731	1.769



DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Certificado:	
Finos < No 4	61.4 %
Gruesos > No 4, < 3/4"	38.6 %

RESULTADOS	
Humedad optima (%)	10.8
Densidad Maxima (g/cm³)	1.730

Observaciones:
 - MATERIAL NATURAL

[Signature]
 Ing. *[Name]* Esp. en Ing. Civil
 CIP 152927
ICCSAH
 INGENIERIA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

TEMA : APLICACIÓN DEL ÓXIDO DE CALCIO COMO PROPUESTA DE CONTROL DE LA SATURACIÓN EN EL MATERIAL DE AFIRMADO
PROVINCIA : HUANCAYO **DEPARTAMENTO** : JUNIN
CLIENTE : ALBILUZ ESPINOZA RAMOS **FECHA** : 25-08-19

**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA
(MTC E 118)**
CANTERA : CHACLAS, SAPALLANGA - PALIÁN - HUANCAYO

Metodo de compactacion						B
Numero de golpes						25
Numero de capas						5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA						
		1	2	3	4	5
1. Peso suelo humedo. + molde	g	5715	5765	5807	5861	5867
2. Peso del molde	g	3800	3800	3800	3800	3800
3. Volumen del molde	cc	1033	1033	1033	1033	1033
4. Peso suelo humedo	g	1915	1965	2007	2061	2067
5. Densidad suelo humedo	g/cc	1.854	1.902	1.943	1.995	2.001
CALCULO DE HUMEDAD						
6. Capsula N°		1	2	3	4	5
7. Peso del suelo humedo + capsula	g	244.1	228.3	262.9	142.1	162.8
8. Peso del suelo seco+capsula	g	208.4	198.3	233.9	128.5	145.6
9. Peso del agua	g	35.7	30.0	29.0	13.6	17.2
10. Peso de la capsula	g	48.7	52.0	85.0	66.1	51.0
11. Peso del suelo seco	g	159.7	146.3	148.9	62.5	94.6
12. Contenido de humedad	%	16.44	14.49	13.45	12.66	11.79
13. Promedio de cont. de humedad	%	16.4	14.5	13.5	12.7	11.8
CALCULO DE DENSIDAD SECA						
14. Densidad seca del suelo	g/cc	1.515	1.579	1.626	1.638	1.693



DATOS DE LA GRANULOMETRIA	
Certificado:	
Finos < No 4	61.4 %
Gruesos > No 4, < 3/4"	38.6 %

RESULTADOS	
Humedad optima (%)	12.9
Densidad Maxima (g/cm³)	1.642

Observaciones:
 - MATERIAL NATURAL

