

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE
ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE
PAVIMENTACIÓN”**

**PRESENTADO POR Bach. Tatiana Dianne ESPINOZA EUSEBIO y
Bach. Gregory Felix HONORES TANTALEAN**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**CHIMBOTE - PERÚ
2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN” para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, presentado por Bach. TATIANA DIANNE ESPINOZA EUSEBIO y Bach. GREGORY FELIX HONORES TANTALEAN, que tienen como Asesor a la docente Mg. Jenisse FERNÁNDEZ MANTILLA designado por resolución decanal N° 615-2017-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 27 de Junio del 2018 por el siguiente jurado evaluador designado mediante la resolución N°220-2018-UNS-CFI.



Ms. Felipe Villavicencio González
Presidente



Mg. Jenisse Fernández Mantilla
Secretario



Ms. María Díaz Hernández
Integrante



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

"Año del Dialogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las once horas del día veintisiete de junio del año dos mil dieciocho, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Felipe Villavicencio González (Presidente), Mg. Jenisse Fernández Mantilla (Secretaria) y Ms. María Estela Jesús Díaz Hernández (Integrante) en cumplimiento a la Resolución N° 220-2018-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 338-2018-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACIÓN"** presentado por los Bachilleres: HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX y ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE quienes fueron asesorados por la Mg. Jenisse Fernández Mantilla, según Resolución Decanal N° 615-2017-UNS-CFI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE	16	Bueno

Siendo las doce horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, y en señal de conformidad, firma el Jurado la presente Acta.

Nuevo Chimbote, 27 de junio 2018


Ms. Felipe Villavicencio González
Presidente


Mg. Jenisse Fernández Mantilla
Secretaria


Ms. María Jesús Estela Díaz Hernández
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las once horas del día veintisiete de junio del año dos mil dieciocho, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Felipe Villavicencio González (Presidente), Mg. Jenisse Fernández Mantilla (Secretaria) y Ms. María Estela Jesús Díaz Hernández (Integrante) en cumplimiento a la Resolución N° 220-2018-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 338-2018-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACIÓN"** presentado por los Bachilleres: HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX y ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE quienes fueron asesorados por la Mg. Jenisse Fernández Mantilla, según Resolución Decanal N° 615-2017-UNS-CFI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
HONORES TANTALEAN GREGORY FÉLIX	16	Bueno

Siendo las doce horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, y en señal de conformidad, firma el Jurado la presente Acta.

Nuevo Chimbote, 27 de junio 2018


Ms. Felipe Villavicencio González
Presidente


Mg. Jenisse Fernández Mantilla
Secretaria


Ms. María Jesús Estela Díaz Hernández
Integrante

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios, que guió mi camino y me dió las fuerzas necesarias para seguir perseverando en mis sueños.

A mi hermosa familia, mis padres Eduardo y Marlene, que siempre creen en mí, son mi apoyo sin condiciones y me brindan hasta hoy sus enseñanzas con amor. Ustedes son mi ejemplo a seguir, les agradezco por enseñarme a luchar y ver en cada dificultad un reto a ser superado. Cada logro mío es también de ustedes, desde pequeña cuidaron de mí y hoy es mi turno de cuidarlos, los amo infinitamente.

A mi hermana Lisette, tú siendo la mayor marcaste el camino. Admiro tu dedicación y empeño en ser mejor. Gracias por darme ánimos cuando el cansancio aparecía. Tus palabras de amor las llevo conmigo, siempre estaré para ti, mi compañera de vida.

A mis familiares, tíos, tías, primos y primas, por siempre tener una palabra de aliento que brindarme. Veo en ustedes a personas con un corazón hermoso y unas ganas de salir adelante admirable, me enseñan a soñar siempre alto y que todo depende de uno mismo.

Tatiana Dianne Espinoza Eusebio

A Dios por permitirme llegar hasta donde estoy, por darme fuerzas y conocimientos para seguir adelante y lograr en cada paso mis objetivos planteados.

A mi madrecita María Tantalean Neciosup por brindarme su apoyo incondicional, por estar en las buenas y en las malas durante mi formación profesional y por darme su amor sin límites en todo momento de mi vida .A mi padre Félix Honores Milla por encaminarme y motivarme a seguir adelante, por darme un hombro para descansar.

A mi hermanita Kiara Honores Tantalean por corregirme y darme aliento para seguir un camino de superación, por apoyarme cada día y estar siempre conmigo cuando la necesito.

Gregory Felix Honores Tantalean

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestra asesora, Ms. Ing. Jenisse Fernández Mantilla, por su orientación constante y por brindarnos su tiempo para guiarnos durante el desarrollo de la presente investigación.

También agradecemos al Ing. Julio Rivasplata Díaz por el tiempo dedicado para absolver nuestras inquietudes, así como compartir su conocimiento y experiencia.

Agradecemos al técnico responsable del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional del Santa, por brindarnos las facilidades de equipos e instrumentos para la realización de los ensayos.

Así mismo, agradecemos a la empresa Aquapesca SAC por brindarnos información, permitirnos el ingreso a sus instalaciones y recolectar conchas de abanico.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	19
1.1.	ANTECEDENTES.....	19
1.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.3.	OBJETIVOS	26
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	26
1.3.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
1.4.	FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS	26
1.5.	JUSTIFICACIÓN.....	26
1.6.	LIMITACIONES DEL TRABAJO	27
II.	MARCO TEÓRICO	28
2.1.	SUELOS	28
2.1.1.	DEFINICIÓN	28
2.1.2.	PROPIEDADES DE LOS SUELOS.....	28
2.1.3.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	41
2.2.	SUELOS ARCILLOSOS.....	45
2.2.1.	DEFINICIÓN	45
2.2.2.	COMPOSICIÓN DE LAS ARCILLAS.....	48
2.2.3.	CARACTERÍSTICAS	49
2.3.	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	49
2.3.1.	DEFINICION	49
2.3.2.	CRITERIOS GEOTÉCNICOS PARA ESTABLECER LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL MANUAL “SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS”, SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS.....	51
2.3.3.	TIPOS DE ESTABILIZACIÓN	56
2.3.4.	ESTABILIZACIÓN CON CAL.....	58
2.3.5.	ESTABILIZACIÓN CON CENIZAS DE CARBÓN	62

2.4. CONCHAS DE ABANICO.....	63
2.4.1. MATERIA PRIMA.....	63
2.4.2. MORFOLOGIA.....	64
2.4.3. COMPOSICIÓN.....	66
2.4.4. PRODUCCION Y COMERCIALIZACION EN EL PERU.....	67
2.5. CENIZAS VOLANTES	68
2.5.1. DEFINICIÓN	68
2.5.2. BENEFICIOS DEL USO DE CENIZAS VOLANTES	68
2.5.3. COMPOSICIÓN	69
2.6. PAVIMENTO	69
2.6.1. DEFINICIÓN	69
2.6.2. ESTRUCTURA	70
2.6.3. TIPOS DE PAVIMENTOS	71
2.6.4. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	71
2.6.5. SUBRASANTE	74
2.6.6. REQUERIMIENTOS PARA SUBRASANTES	74
2.6.7. ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS (DISEÑO DE PAVIMENTOS MODERNOS, ICG).....	76
2.6.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR METODO AASHTO 1993.....	82
2.7. ENSAYOS DE LABORATORIO	92
2.7.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E 107.....	92
2.7.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108.....	96
2.7.3. ANALISIS GRANOLUMETRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO MTC E 109.....	99

2.7.4.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS MTC E 110.....	111
2.7.5.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P) MTC E 111.....	115
2.7.6.	METODO DE ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA MTC E 113.....	119
2.7.7.	COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) MTC E 115.....	129
2.7.8.	CBR DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132.....	139
2.7.9.	ESPECTOMETRIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X.....	147
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	149
3.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	149
3.1.1.	TIPO DE ESTUDIO.....	149
3.2.	VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	149
3.3.	POBLACIÓN MUESTRAL.....	153
3.4.	DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA.....	153
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	154
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	154
3.6.1.	PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	154
3.6.2.	PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	154
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	155
4.1.	PARA EL OBJETIVO: DETERMINAR Y COMPARAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DEL AA.HH NUEVO SANTA Y LAS COMBINACIONES DEL SUELO CON LA ADICIÓN DEL 20%, 25% Y 30% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN.....	155

4.1.1.	RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA	155
4.1.2.	RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA.....	159
4.2.	PARA EL OBJETIVO: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS CONCHAS DE ABANICO CALCINADAS Y CENIZAS DE CARBÓN Y COMPARARLAS CON LA NORMA ASTM C 977.	162
4.2.1.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.	162
4.3.	PARA EL OBJETIVO: REALIZAR UNA PROPUESTA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO PARA EL SUELO NATURAL Y EL SUELO CON DIFERENTES CON ADICIÓN DEL 20%, 25% Y 30% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN.	166
4.3.1.	RESULTADOS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	166
4.4.	DISCUSIÓN.....	167
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	172
5.1.	CONCLUSIONES	172
5.2.	RECOMENDACIONES	173
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES.....	174
VII.	ANEXOS.....	177

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de suelos según tamaño de partículas.	29
Tabla 2: Clasificación de suelos según índice de plasticidad.	34
Tabla 3: Clasificación de suelos según índice de grupo.	35
Tabla 4: Categorías de Subrasante.	41
Tabla 5: Símbolos de Grupo SUCS.	42
Tabla 6: Tipología de suelos (SUCS).	42
Tabla 7: Características de los suelos según SUCS.	44
Tabla 8: Características de los suelos según SUCS.	46
Tabla 9: Diferencias entre limos y arcillas.	48
Tabla 10: Composición de las Arcillas.	49
Tabla 11: Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.	54
Tabla 12: Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador. ...	55
Tabla 13: Análisis Proximal de la Concha de Abanico <i>Argopectenpurpuratus</i>	66
Tabla 14: Componentes minerales de la concha de abanico <i>Argopectenpurpuratus</i>	66
Tabla 15: Composición física de la Concha de Abanico (<i>Argopectenpurpuratus</i>).	67
Tabla 16: Características físico Organolépticas de la Concha de Abanico (<i>Argopectenpurpuratus</i>).	67
Tabla 17: Cosecha, producción y comercialización de concha de abanico en Perú desde el año 2006 hasta el 2015.	67
Tabla 18: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular.	72
Tabla 19: Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular.	72
Tabla 20: Requerimientos Granulométricos para Base Granular.	73
Tabla 21: Valor Relativo de Soporte, CBR. (NTP 339.145:1999)	73
Tabla 22: Requerimientos del Agregado Grueso de Base Granular.	73
Tabla 23: Requerimientos del Agregado Fino de Base Granular.	74
Tabla 24: Número de controles en la subrasante.	75
Tabla 25: Peso máximo por eje o grupos de ejes.	76
Tabla 26: Tolerancia de peso por eje.	77
Tabla 27: Tabla de dimensiones y cargas de vehículos.	77
Tabla 28: Porcentaje de camiones en el carril de diseño.	79
Tabla 29: Porcentaje de ESAL en el carril de diseño.	79
Tabla 30: Factores de Equivalencia de Carga.	81

Tabla 31: Períodos típicos de diseño.....	84
Tabla 32: Factor de distribución por carril DL.	85
Tabla 33: Niveles sugeridos de confiabilidad, R.	86
Tabla 34: Desviación estándar, ZR.	86
Tabla 35: Condiciones de drenaje.	89
Tabla 36: Coeficientes de drenaje recomendados, mi.....	92
Tabla 37: Tamices de malla cuadrada.	93
Tabla 38: Proporción de muestra según el tamaño de las partículas.....	94
Tabla 39: Valores de la Profundidad efectiva basados en hidrómetro y cilindro de sedimentación de dimensiones especificadas.....	102
Tabla 40: Valores de Ct para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro.	106
Tabla 41: Valores de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico.	111
Tabla 42: Tabla de estimados de precisión.	118
Tabla 43: Masa redondeada para el espécimen de ensayo.	122
Tabla 44: Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para Varias Temperaturas.	125
Tabla 45: Penetración en milímetros y pulgadas.	144
Tabla 46: Características de la muestra patrón.	146
Tabla 47: Operacionalización de variable Cenizas de carbón.	150
Tabla 48: Operacionalización de variable Conchas de abanico.	151
Tabla 49: Operacionalización de variable dependiente Estabilización de suelos arcillosos.	152
Tabla 50: Porcentajes en peso de conchas de abanico y cenizas de carbón.....	154
Tabla 51: Distribución granulométrica del suelo natural y las combinaciones al 20%, 25% y 30%.....	155
Tabla 52: Resultados del L.L, L.P. e I.P. del suelo natural y las combinaciones al 20%, 25% y 30%.....	156
Tabla 53: Clasificación del suelo natural y combinaciones.	158
Tabla 54: Resultados de Ensayos de Compactación de suelo natural y las combinaciones al 20%, 25% y 30%.	159
Tabla 55: Resultados de Ensayos de CBR al 95% de la MDS del suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.	161
Tabla 56: Análisis de Composición Química Elemental en la Concha de Abanico calcinadas.	162

Tabla 57: Análisis de Composición Química Expresado en Óxidos en la Concha de Abanico calcinadas.	163
Tabla 58: Análisis de Composición Química Elemental en las Cenizas de Carbón.	164
Tabla 59: Análisis de Composición Química Expresado en Óxidos en las Cenizas de Carbón.	164
Tabla 60: Materia orgánica en las conchas de abanico calcinadas y cenizas de carbón.	165
Tabla 61: Espesores del pavimento flexible para el suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planta de Aquapesca SAC en Samanco.	24
Figura 2: Depósitos de cenizas de carbón provenientes de las ladrilleras en Santa.	25
Figura 3: Calles del AA.HH. Nuevo Santa	25
Figura 4: Curva granulométrica de un suelo.	29
Figura 5: Interpretación de la curva granulométrica.	31
Figura 6: Estados de consistencia de un suelo.	32
Figura 7: Curva humedad-densidad seca.	36
Figura 8: Influencia de la energía de compactación.	37
Figura 9: Influencia del tipo de suelo.	38
Figura 10: Determinación del índice CBR.	40
Figura 11: Carta Casagrande para suelos cohesivos.	43
Figura 12: Origen de la cohesión en suelos arcillosos.	47
Figura 13: Proceso para la Identificación del Tipo del suelo.	52
Figura 14: Proceso de selección del Tipo de Estabilización.	53
Figura 15: Morfología externa de la Concha de abanico (<i>Argopectenpurpuratus</i>).	64
Figura 16: Morfología interna de <i>Argopectenpurpuratus</i> en plena madurez.	65
Figura 17: Capas del pavimento.	70
Figura 18: Porcentaje de camiones en el carril de diseño según el Instituto del Asfalto.	79
Figura 19: Eje estándar.	80
Figura 20: Carta de Diseño de Pavimentos Flexibles AASHTO 1993.	85
Figura 21: Carta para calcular el coeficiente estructural de Concreto asfáltico de gradación densa.	89
Figura 22: Variación de coeficiente de capa de base granular (a2) con la variación de los parámetros de resistencia.	90
Figura 23: Variación de coeficiente de capa de bases tratadas con asfalto (a2).	90
Figura 24: Variación de coeficiente de capa de bases tratadas con asfalto (a2).	91
Figura 25: Variación de coeficiente de capa de sub base granular (a3) con la variación de los parámetros de resistencia.	91
Figura 26: Detalle vaso del Aparato agitador.	101
Figura 27: Detalle del Aparato agitador.	101
Figura 28: Hidrómetro.	102

Figura 29: Determinación de la profundidad efectiva de la suspensión sobre el centro del bulbo del hidrómetro.	110
Figura 30: Nomograma para el cálculo del diámetro de partículas.	110
Figura 31: Aparato manual para límite líquido.	114
Figura 32: Muestras del suelo en la copa Casagrande.	114
Figura 33: Molde cilíndrico de 4,0 pulg.	137
Figura 34: Molde cilíndrico de 6,0 pulg.	138
Figura 35: Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación.	138
Figura 36: Partes del molde y disco espaciador, utilizados en el ensayo CBR.	140
Figura 37: Determinación del valor de la relación de soporte en el laboratorio.	144
Figura 38: Curva para cálculo de índice de CBR.	147
Figura 39: Diseño experimental.	149
Figura 40: Variación del Limite Liquido y Plástico del suelo natural y combinaciones al 20%,25% y 30%.	157
Figura 41: Variación del Índice de Plasticidad del suelo natural y combinaciones al 20%,25% y 30%.	157
Figura 42: Variación del OCH del suelo natural y combinaciones al 20%,25% y 30%.	160
Figura 43: Variación de la M.D.S del suelo natural y combinaciones al 20%,25% y 30%.	160
Figura 44: Variación del CBR del suelo natural y combinaciones al 20%,25% y 30%.	162
Figura 45: Variación del espesor total del pavimento flexible para el suelo natural y para las combinaciones al 20%,25% y 30%.	167

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	178
UBICACIÓN DE CALICATAS.....	178
ANEXO 2	180
ENSAYOS QUE DETERMINARON LA CARACTERIZACION FISICA DEL SUELO NATURAL Y COMBINACIONES	180
ANEXO 3	198
CLASIFICACION DEL SUELO NATURAL Y COMBINACIONES MEDIANTE SUCS Y AASHTO.....	198
ANEXO 4	201
ENSAYOS QUE DETERMINARON LA CARACTERIZACION MECANICA DEL SUELO NATURAL Y COMBINACIONES.....	201
ANEXO 5	219
RESULTADOS DE CARACTERIZACION QUIMICA DE LAS CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON.....	219
ANEXO 6	224
AFORO VEHICULAR- IMDA.....	224
ANEXO 7	229
FACTOR DE TRAFICO EN PAVIMENTO FLEXIBLE	229
ANEXO 8	233
DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE EL METODO ASSTHO -93.....	233
ANEXO 9	238
PANEL FOTOGRAFICO.....	238
ANEXO 10	275
PLANO DE UBICACIÓN Y LOTIZACIÓN DEL AA.HH NUEVO SANTA.....	275

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estabilizar los suelos arcillosos con conchas de abanico y cenizas de carbón con fines de pavimentación, para lo cual se realizaron ensayos de caracterización física y mecánica del suelo arcilloso del AA.HH. Nuevo Santa y las combinaciones del suelo con estos materiales en porcentajes en peso del 20%, 25% y 30%. Se utilizaron las valvas de las conchas de abanico procedentes de la planta de la empresa Aquapesca SAC ubicada en el distrito de Samanco, éstas fueron sometidas a un proceso de calcinación previo a su uso, además se utilizó cenizas de carbón provenientes de las ladrilleras artesanales del distrito de Santa, ambos materiales fueron sometidos a ensayos de caracterización química. Los resultados de los ensayos realizados a las combinaciones indican un importante aumento en su capacidad de soporte CBR y variaciones de las características físicas respecto del suelo natural. Por último, se realizó un diseño de pavimento flexible según el método AASHTO 93, con el fin de comparar los espesores de la estructura del pavimento del suelo natural y las combinaciones.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to stabilize the clayey soils with scallops and coal ashes to pave, for which physical and mechanical characterization tests were made to clay soil of AA.HH. New Santa and soil combinations with these materials in percentages by weight of 20%, 25% and 30%. The shells of the scallops from the Aquapesca SAC plant located in Samanco district were used, they were subjected to a calcination process previous to their use, also coal ash was used from the artisan brick kilns in Santa district, both materials were subjected to chemical characterization tests. The tests results of the combinations indicate a significant increase in their CBR support capacity and variations in physical characteristics respect to natural soil. Finally, a flexible pavement design was carried out according to the AASHTO 93 method, in order to compare the pavement structure thicknesses of the natural floor and the combinations.

I. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

Emilliani y Dygku realizaron un estudio llamado *Geotechnical Properties of Fly Ash and its Application on Soft Soil Stabilization* (Universiti Malaysia Sarawak, Malasia, 2010) que tiene como objetivos determinar las propiedades geotécnicas de la ceniza volante, investigar los efectos de la adición de ceniza volante en la resistencia de los suelos blandos estabilizados y analizar las consecuencias de la aplicación de cenizas volantes en la estabilización de suelos blandos. Para ello realizaron ensayos basados en la Norma Británica 1377, estos ensayos fueron determinación de los límites de Atterberg, gravedad específica, óptimo contenido de humedad, máxima densidad seca y resistencia a la compresión a los 7 días de curada la muestra.

Los autores determinaron los valores de las propiedades geotécnicas de la ceniza volante traída de la Planta termal de Sejingkat, sus características físicas y mecánicas. También realizaron el análisis granulométrico de la ceniza volante, la cual resultó ser de partículas finas poco graduadas y más pequeñas que la arcilla. Por el contrario la muestra de arcilla tiene sus partículas uniformemente graduadas. Así mismo observaron la disminución del límite líquido de la arcilla, al adicionarle cenizas volantes en porcentaje de 0%, 5%, 10%, 25%, 20% en peso de arcilla.

Las mezclas de arcilla y ceniza volante en porcentajes de 0%, 60%, 80%, 100% se curaron durante 7 días y se sometieron a ensayo de resistencia a la compresión no confinada, resultando la mezcla de arcilla y 60% de ceniza por peso de arcilla la más resistente, mayores adiciones provocan una disminución de la resistencia.

Además concluyeron que la cantidad de ceniza volante más adecuada a añadir a la mezcla de arcilla y ceniza está entre el 50% al 60% del peso de la mezcla. Así mismo, determinaron que la adición de ceniza volante mejora la resistencia

al corte y otras propiedades como el óptimo contenido de humedad y la densidad seca de la mezcla.

Pérez, R. en su tesis *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos* (Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2012) evaluó las características físicas, químicas y mecánicas del suelo arcilloso, la ceniza volante y de la mezcla suelo-ceniza, analizando la influencia que tuvo la ceniza de carbón en las características del suelo arcilloso. Su estudio se basó en que las cenizas al estar compuestas por silicatos, aluminios, cal libre y algunos óxidos, tiene una reacción puzolánica, lo que permitiría reducir el índice de expansión y mejorar la capacidad de soporte. Además que un 25% de concentración de ceniza volante en el suelo afectaría la granulometría y reduciría el límite líquido y el índice plástico del suelo. Así mismo, adicionó el cemento para mejorar los resultados, y se basó en estudios anteriores para determinar el porcentaje de éste material, el cual no debe ser mayor del 5%.

La autora usó combinaciones de suelo-ceniza en porcentaje en peso de 80%-20%, 60%-40%, además de combinaciones de suelo-ceniza-cemento (Tipo I) en proporciones de 90%-7%-3%, 80%-17%-3% y 70%-27%-3% respectivamente. Y realizó ensayos de análisis granulométrico, humedad natural, límites de Atterberg, clasificación de suelos SUCS y AASHTO, proctor modificado y CBR, de acuerdo a las normas MTC y ASTM.

De los ensayos realizados encontró que la arcilla es de tipo CH y A-7-6, y con las adiciones de ceniza y cemento, pasaron a ser A-6, A-7-6, A-7-5, de mejores propiedades que el suelo natural pero aún deficientes para ser usados en carreteras. Además que la adición de ceniza de carbón al suelo arcilloso reduce los efectos de expansión, gravedad específica, plasticidad y humedad del suelo. Además que la ceniza mejoró el CBR del suelo arcilloso al 100% de la MDS, pasando de un 7.7% a un 51%, siendo el valor máximo que se logró con la combinación de suelo-ceniza-cemento en proporción de 70%-27%-3%. Así mismo, concluyó que las cenizas de carbón inhiben las propiedades expansivas del material en adiciones mayores al 20%.

Por último realizó el diseño de pavimento para una vía de bajo tránsito para vías rurales, usando el método NAASRA, el cual usa el CBR de la subrasante como dato para el diseño y da como resultado el espesor de pavimento de superficie de rodadura granulares. Obteniéndose que el espesor del afirmado se reduce de 310 mm para el suelo natural a 111 mm con las combinación suelo-ceniza-cemento de 70%-27%-3%.

Altamirano en su tesis *Estabilización de suelos con híbrido de concha de abanico y hojas de bambú* (Universidad San Pedro, Perú, 2012) utilizó adiciones del 0%, 5%, 10%, 15% del híbrido formado por las conchas de abanico y hojas de bambú., respecto a lo mencionado se dio como resultado de acuerdo a los ensayos de CBR ,que los suelos arcillosos sin tratar presentó una expansión de 1.7% mientras que el suelo arcilloso tratado con 5%, 10%, 15% de polvo híbrido de conchas de abanico y hojas de bambú presento una disminución notable de un rango de 1.7%-1,4%.El autor concluye que el óptimo nivel de sustitución es de 10% obteniendo una densidad seca de 1.998 g/cm³, una resistencia al corte de 135 lb/pulg² y una expansión de 1.4% , por la cual recomienda que se deben realizar ensayos en otros porcentajes de sustitución mayores con el fin de evaluar el potencial de los elementos concha de abanico y hojas secas de bambú.

Pérez, C. en su tesis *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada* (Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2014) se plantea como objetivo estudiar el comportamiento de la ceniza volante obtenida de una central termoeléctrica, para ser usada como material estabilizante de suelos arcillosos y su empleo como capa de subrasante de pavimento, estudiando diferentes proporciones para encontrar el valor óptimo que cumpla con los requerimientos de las especificaciones técnicas para ser capa de subrasante de carreteras.

La autora obtuvo la muestra de la carretera Villarica – Puerto Bermúdez en Oxapampa (Pasco), mediante calicatas de 1.50 m de profundidad, además de muestras de la subrasante para ensayos de Módulo de resiliencia o CBR.

Se realizaron ensayos de Análisis granulométrico por tamizado y por hidrómetro, límite líquido y plástico, clasificación SUCS, gravedad específica, proctor modificado y CBR de acuerdo a las normas del MTC y ASTM.

Para el desarrollo de la tesis el suelo y las cenizas se secaron al horno a 60% y se almacenaron en bolsas plásticas para luego realizar las mezclas en peso, utilizándose adiciones de cenizas al suelo en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40%, además se agregó 3% de cemento en todas las mezclas, obteniendo que la adición de cenizas de carbón disminuye los efectos de expansión, gravedad específica, plasticidad y humedad de las arcillas. Sumado a esto, las cenizas de carbón lograron aumentar el CBR del suelo arcilloso, alcanzándose un aumento de 9% en el CBR con la adición al suelo arcilloso de 20% de cenizas, además con la mezcla de suelo-ceniza de 60%-40% se logró un aumento de 12.5%, a pesar de que la adición del 30% muestra un aumento de sólo 4.4%.

Además realizó el diseño de pavimento con el método NAASRA, obteniéndose una reducción de espesor de 109 mm con la mezcla de suelo-ceniza de 80%-20% y más aún una reducción de 130 mm con la mezcla de suelo-ceniza de 60%-40%, a pesar que la mezcla de 30% presenta una reducción de sólo 69 mm. La autora concluyó que las cenizas de carbón mejoran las propiedades del suelo, sin embargo no cumplen con los requisitos de una subrasante, empero si pueden ser utilizadas como subrasante mejorada en vías de bajo volumen de tránsito.

En Ecuador, Cañar realizó el proyecto experimental titulado *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con cenizas de carbón* (Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2017) que tuvo como objetivos la estabilización de dos suelos de diferentes propiedades con la combinación de las cenizas de carbón y la evaluación de la capacidad de soporte y la resistencia al corte mediante ensayos de laboratorio. Para determinar los porcentajes de mezclas, se basó en estudios anteriores que obtuvieron buenos resultados al adicionar 25% de cenizas a suelos arcillosos y otro que indica el porcentaje de 20%, en el caso de los suelos arenosos, estudios anteriores indican buenos resultados con la adición de 20% de ceniza y 10% de cal. Además investigaciones refieren que las cenizas de carbón necesitan de adición de agua y un catalizador o activante como la cal en pequeñas proporciones para mejorar su propiedad de conglomerante puzolánico. Los ensayos de laboratorio se realizaron según las normas ASTM Y AASHTO. De la clasificación de los suelos naturales se obtuvo que la arena es de tipo SM y la arcilla es tipo CH.

El autor usó cenizas de carbón en proporciones de 20%, 23% y 25%, obteniendo que la adición de 25% de ceniza mejora el CBR del suelo arcillosos de 9.10% a 11.20%, sin embargo el aumento no es suficiente para ser usado como subrasante. Por otro lado, la adición de las cenizas de carbón en los suelos arcillosos disminuyó la humedad, expansión y plasticidad de los mismos. Concluyendo que las cenizas de carbón aumentan el CBR y la resistencia al corte de los suelos arcillosos.

Las mismas proporciones fueron usadas para los suelos arenosos, obteniéndose que el porcentaje óptimo de mezcla es del 25%, mezcla que puede ser usada como sub rasante.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En varios países alrededor del mundo, la presencia de suelos arcillosos ha constituido un problema para los vehículos y las personas que circulan por vías de este material. Por ejemplo en Venezuela, existen carreteras de suelo arcilloso, que dificultan la circulación de vehículos que transportan productos agrícolas debido a que éstas presentan hoyos, hundimientos y generan gastos para su reparación. (Diario: "El Tiempo ", 2013)

En el Ecuador, la carretera Roca Fuerte - Tosagua, se encuentra construida sobre arcillas expansivas, ésta ha presentado en los últimos años problemas como agrietamientos y deslizamientos debido a que suelo de fundación tiene poca capacidad portante, además por otros factores perjudiciales como la falta de mantenimiento vial. (Mora, 2013)

En el Perú existe una diversidad de suelos, siendo uno de los más débiles los suelos arcillosos por ser muy susceptibles al agua, presentando un elevado valor de expansión y contracción al entrar en contacto con ésta. Ésta característica provoca que su capacidad de carga sea baja para soportar las cargas que reciben, lo cual conlleva a asentamientos, hundimientos y licuefacción generando daños a la estructura que soporta.

Los suelos arcillosos son malos como terreno de fundación en su comportamiento como subrasante en la estructura de pavimento, debido a que presentan poca capacidad portante y a la vez mal drenaje, lo cual hace que al entrar contacto con el agua éstos se expandan o se contraigan, generando hoyos o baches al ser presionados por los neumáticos de los vehículos. En el AA.HH Nuevo Santa, Distrito de Santa las calles presentan hoyos en su trayectoria, dejándolas en mal estado e inconfortable para el pase de los vehículos permanentemente.

Para evitar estos daños, se emplean diferentes métodos de estabilización de suelos con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas del material. Algunos de estos métodos pueden resultar muy costosos y a la vez perjudiciales para el medio ambiente.

En el departamento de Áncash, el cultivo de las conchas de abanico, se ha venido incrementando en los últimos años, sin embargo los residuos de esta industria se ha ido acumulando en los botaderos como el de Nuevo Chimbote, Casma y Samanco, calculándose que se depositan alrededor de una tonelada y media cada tres meses por las 50 hectáreas de cultivo existente. (Gerencia de Gestión Ambiental y Salud Pública, Chimbote-Perú). Esto ha aumentado la proliferación de moscas, gusanos e insectos, así como contaminación del suelo, lo que subyace en un gran impacto ambiental en dichas zonas

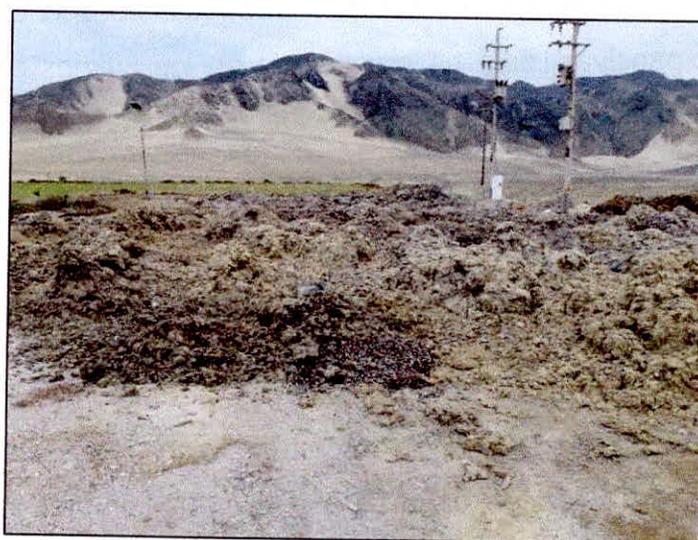


Figura 1: Planta de Aquapesca SAC en Samanco.

Nota: Fuente propia.

En el distrito de Santa existen varias ladrilleras artesanales, las cuales utilizan el carbón para la calcinación de los ladrillos. Las cenizas que quedan como residuo de este proceso, se vienen acumulando en la intemperie ocasionando contaminación ambiental y daños sobre la salud humana.



Figura 2: Depósitos de cenizas de carbón provenientes de las ladrilleras en Santa.
Nota: Fuente propia.



Figura 3: Calles del AA.HH. Nuevo Santa
Nota: Fuente propia.

Por lo expuesto anteriormente, y en vista de la posibilidad de utilizar estos residuos para estabilizar los suelos arcillosos, se plantea lo siguiente:

¿En qué medida la adición de conchas de abanico y cenizas de carbón estabilizan los suelos arcillosos?

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Estabilizar los suelos arcillosos con conchas de abanico y cenizas de carbón con fines de pavimentación.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar y comparar las características físicas y mecánicas del suelo del AA.HH. Nuevo Santa y las combinaciones del suelo con la adición del 20%, 25% y 30% de conchas de abanico y cenizas de carbón.
- Determinar las características químicas de las conchas de abanico y cenizas de carbón y compararlas con la norma ASTM C 977.
- Realizar una propuesta de diseño estructural de pavimento para el suelo natural y el suelo con adición del 20%, 25% y 30% de conchas de abanico y cenizas de carbón.

1.4.FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS

Si se adiciona el 20%, 25% y 30% de conchas de abanico y cenizas de carbón al suelo arcilloso entonces se estabiliza, obteniéndose CBR mayor al 6% para fines de pavimentación.

1.5.JUSTIFICACIÓN.

Las calles del AA.HH Nuevo Santa presentan problemas tales como hundimientos, deformaciones y charcos que dificultan el tránsito de los vehículos que circulan por la zona, estos problemas son causados por el tipo de suelo arcilloso que presenta la zona.

Los suelos arcillosos se caracterizan por tener una baja capacidad de soporte debido a su alto índice de humectación, presentando problemas de hundimientos o asentamientos, lo que ocasiona que no sean utilizados en obras viales.

Por lo cual, una alternativa corresponde en mejorar las propiedades naturales de los suelos arcillosos para su utilización en pavimentación, mediante una estabilización con productos que permiten mejorar sus propiedades como la cal y el cemento. Es en ese sentido que se propone la utilización de conchas de abanico y cenizas de carbón para mejorar la capacidad de soporte del suelo.

En diversos países, se han empleado conchas de abanico y cenizas de carbón como estabilización de suelos arcillosos para fines de pavimentación, debido a que estos materiales reducen el índice de humedad y mejora la resistencia al desgaste.

1.6. LIMITACIONES DEL TRABAJO

- La investigación se limita al suelo arcilloso del AA.HH. Nuevo Santa, Distrito de Santa, Ancash.
- La falta de cooperación de algunas empresas dedicadas a la producción de conchas de abanico en el recojo de información.
- La falta de información sobre la cantidad de ladrilleras artesanales en el distrito de Santa, así como la falta de información de la cantidad de cenizas de carbón desechadas en esta actividad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. SUELOS

2.1.1. DEFINICIÓN

Juárez & Rico (2005) afirman: “El suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves” (p34).

Crespo (2004) afirma: “Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan” (p18).

Los suelos son agregados de partículas minerales, y junto con el aire y/o agua en los espacios vacíos, forman sistemas trifásicos. Gran parte de la superficie terrestre está cubierta por los suelos, y son ampliamente utilizados como materiales de construcción (Braja M, Das, 2008).

Los suelos que cubren la corteza terrestre, están compuestos por un conjunto de partículas minerales y son la base sobre la cual el hombre realiza diferentes actividades como la realización de obras de ingeniería: edificios, viviendas, carreteras, etc.

2.1.2. PROPIEDADES DE LOS SUELOS

a. GRANULOMETRÍA

Para el MTC (2014) la granulometría representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. (p. 30).

Con el objetivo de conocer la granulometría de un suelo se realiza el Análisis Granulométrico del mismo.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad según el MTC (2014) determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño. Por lo cual los suelos se clasifican en función al tamaño de sus partículas de la siguiente manera: (p. 30).

Tabla 1: Clasificación de suelos según tamaño de partículas.

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota: Fuente MTC (2014).

Bañón y Beviá (2000) afirman que para realizar este ensayo se emplea una serie normalizada de tamices. En el caso de la fracción fina del suelo se emplea el método de sedimentación. Además, una vez culminado el ensayo, con los porcentajes de los pesos del retenido en las mallas o los pesos que pasan la abertura de las mallas, se construye una gráfica semilogarítmica. (p. 6)

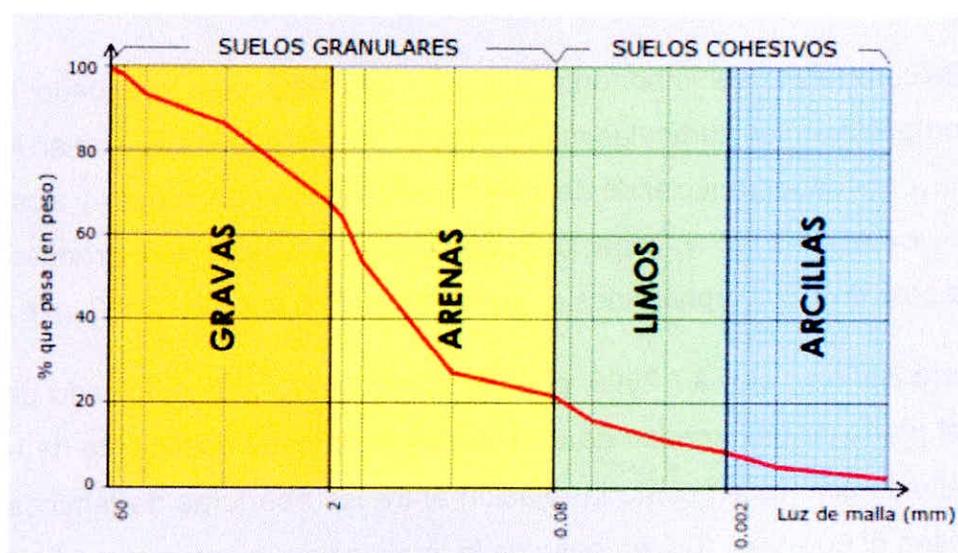


Figura 4: Curva granulométrica de un suelo.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

Para Bañón y Beviá (2000, p.7) la interpretación de una curva granulométrica puede proporcionarnos información acerca del comportamiento del suelo. Si estudiamos la regularidad de la curva podremos diferenciar dos tipos de granulometrías:

- Granulometría discontinua: La curva presenta picos y tramos planos, que indican que varios tamices sucesivos no retienen material, lo que evidencia que la variación de tamaños es escasa. En este caso, se habla de suelos mal graduados. La arena de playa es un claro ejemplo de este tipo de suelos.
- Granulometría continua: La práctica totalidad de los tamices retienen materia, por lo que la curva adopta una disposición suave y continua. A este tipo de suelos se les denomina bien graduados. Las zahorras se engloban dentro de este grupo.

Para determinar la graduación del suelo, se emplea el coeficiente de curvatura:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Donde D_x es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el X% en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada. (Bañón y Beviá, 2000, p. 7)

En carreteras, es importante que el suelo esté bien graduado para que al compactarlo, las partículas más finas ocupen los huecos que dejan los áridos de mayor tamaño, reduciendo de esta forma el número de huecos y alcanzando una mayor estabilidad y capacidad portante. Un suelo bien graduado presenta valores de C_c comprendidos entre 1 y 3. (Bañón y Beviá, 2000, p. 8)

Para Bañón y Beviá (2000, p. 8), otro parámetro muy empleado para dar idea del grado de uniformidad de un suelo es el llamado coeficiente de uniformidad, definido por Hazen como la relación entre las aberturas de tamices por donde pasan el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Según este coeficiente, un suelo que arroje valores inferiores a 2 se considera muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior a 5 define un suelo uniforme.

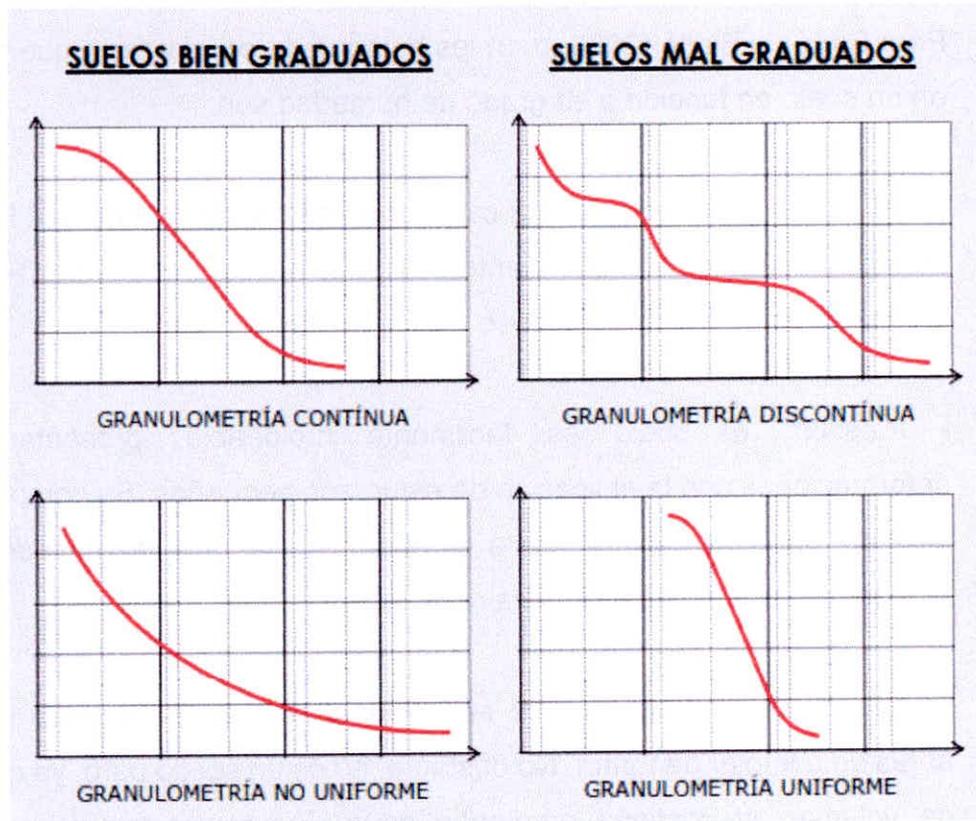


Figura 5: Interpretación de la curva granulométrica.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000).

El análisis granulométrico nos proporciona datos que rara vez son de aplicación inmediata a la resolución de los problemas prácticos. Se ha intentado clasificar los suelos partiendo, sólo, de los resultados del análisis granulométrico, introduciendo los porcentajes de arena, limo y arcilla en diagrama triangulares. Todo sistema de clasificación basado solamente en la granulometría puede conducir a errores, pues las propiedades físicas de la fracción más fina del suelo dependen de su mineralogía. (Jiménez, 1975, p.42-43)

b. PLASTICIDAD

La Plasticidad es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta

característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg. (MTC, 2014, p. 31).

Para Bañón y Beviá (2000, p. 9) los estados de consistencia que pueden darse en un suelo en función a su grado de humedad son:

- Líquido: La presencia de una cantidad excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantenían unido al suelo -la cohesión- y lo convierte en una papilla, un líquido viscoso sin capacidad resistente.
- Plástico: El suelo es fácilmente moldeable, presentando grandes deformaciones con la aplicación de esfuerzos pequeños. Su comportamiento es plástico, por lo que no recupera su estado inicial una vez cesado el esfuerzo. Mecánicamente no es apto para resistir cargas adicionales.
- Semisólido: El suelo deja de ser moldeable, pues se quiebra y resquebraja antes de cambiar de forma. No obstante, no es un sólido puro, ya que disminuye de volumen si continúa perdiendo agua. Su comportamiento mecánico es aceptable.
- Sólido: En este estado el suelo alcanza la estabilidad, ya que su volumen no varía con los cambios de humedad. El comportamiento mecánico es óptimo.

Para Bañón y Beviá (2000, p. 9) las humedades correspondientes a los puntos de transición entre cada uno de estos estados definen los límites líquido (LL), plástico (LP) y de retracción (LR) respectivamente.

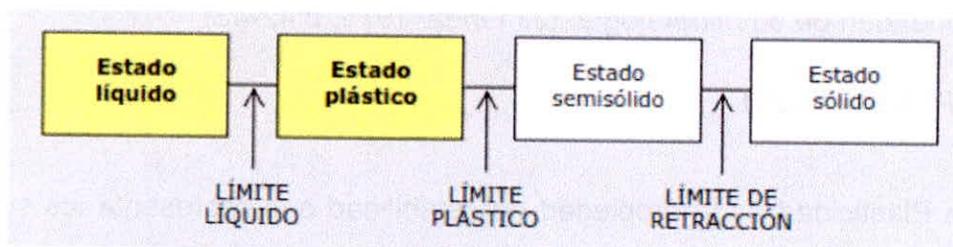


Figura 6: Estados de consistencia de un suelo.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

Límites de Atterberg

Los Límites de Atterberg establecen cuán sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTCE 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTCE 111) Y el límite de contracción (LC, según ensayo MTCE 112). (MTC, 2014, p. 31).

Para el MTC (2014, p.31) además del LL y del LP, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP (ensayo MTCE 111) que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

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 el Cuadro 2. (MTC, 2014, p. 31).

De los límites anteriormente mencionados, interesa especialmente la determinación de los umbrales de los estados líquido (límite líquido) y plástico (límite plástico), ya que éstos presentan una alta deformabilidad del suelo y una drástica reducción de su capacidad portante. Afinando más todavía, el interés se centra en determinar el intervalo de humedad para el cual el suelo se comporta de manera plástica, es decir, su plasticidad. (Bañón y Beviá, 2000, p. 10)

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de subrasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua. (MTC, 2014, p. 32).

Tabla 2: 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 plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Nota: Fuente MTC (2014).

c. INDICE DE GRUPO

Para el MTC (2014, p. 32) el Índice de Grupo 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).
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).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

c = LL - 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d = IP-10 (IP = índice plástico). 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. 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. (MTC, 2014, p. 32).

Tabla 3: Clasificación de suelos según índice de grupo.

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
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

Nota: Fuente MTC (2014).

d. HUMEDAD NATURAL

Otra característica importante de los suelos es su humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. (MTC, 2014, p. 33).

La determinación de la humedad natural (ensayo MTC EM 108) permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo (ensayo MTC EM 132). Si la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el Proyectista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Si la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, se propondrá, aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado. (MTC, 2014, p. 33).

e. COMPACIDAD

La compacidad de un suelo es una propiedad importante en carreteras, al estar directamente relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de un firme; adquiere una importancia crucial en el caso de los terraplenes y todo tipo de relleno en general, en los que el suelo debe quedar lo más consolidado posible para evitar asentamientos -causantes de variaciones en la rasante y alabeo de la capa de rodadura- durante la posterior explotación de la vía. Una frase que

resumiría lo anteriormente dicho sería: "Cuanto más compacto esté un suelo, más difícil será volverlo a compactar." (Bañón y Beviá, 2000, p. 12)

Influencia de la humedad

En la compactación de suelos, la humedad juega un papel decisivo: mientras que un suelo seco necesita una determinada energía de compactación para vencer los rozamientos internos entre sus partículas, el mismo suelo ligeramente húmedo precisará un menor esfuerzo, ya que el agua se comporta como un agente lubricante formando una película alrededor de los granos y disminuyendo la fricción entre ellos. Si seguimos añadiendo agua al suelo, llegará un momento en el que ésta haya ocupado la totalidad de los huecos del mismo. Este hecho acarreará un aumento de volumen -dada la incompresibilidad del líquido elemento- y una mayor dificultad para evacuarlo del suelo, por lo que su compactación disminuirá. (Bañón y Beviá, 2000, p. 13)

De la anterior explicación, se deduce que existirá una humedad óptima con la que se obtenga una compactación máxima, para una misma energía de compactación. (Bañón y Beviá, 2000, p. 13)

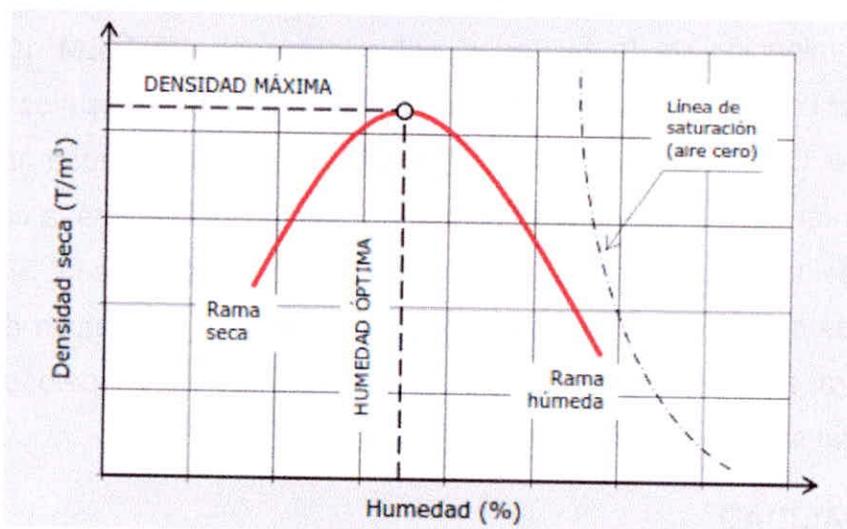


Figura 7: Curva humedad-densidad seca.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000).

Influencia de la energía de compactación

Si tomamos un mismo suelo y estudiamos la relación humedad-densidad para distintas energías de compactación, observaremos que el punto de humedad

óptima varía en función de la energía que hayamos comunicado a la muestra. (Bañón y Beviá, 2000, p. 13)

Un estudio más en profundidad de las curvas obtenidas (Fig. 8) permite obtener una segunda conclusión, no menos importante: dicha variación presenta una clara polaridad, obteniéndose una humedad óptima menor cuanto mayor sea la energía de compactación empleada. (Bañón y Beviá, 2000, p. 13)

Otra lectura que puede realizarse de esta gráfica es que para humedades mayores que la óptima, el aumento de densidad conseguido con un apisonado más energético es mucho menor que el obtenido con humedades bajas. La conclusión práctica que se extrae es que en terrenos secos, una consolidación energética puede ser más eficaz. (Bañón y Beviá, 2000, p. 13)

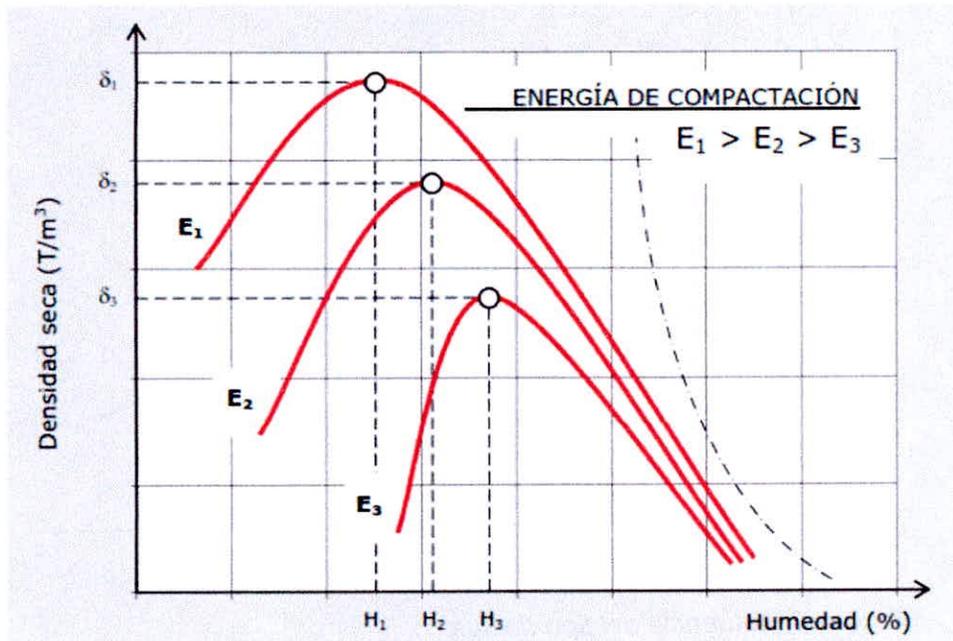


Figura 8: Influencia de la energía de compactación.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

Influencia del tipo de suelo

La tipología del suelo, concretamente su composición granulométrica, determina la forma de la curva de compactación. Podría decirse aquello de que "no hay dos suelos iguales", aunque sí pueden englobarse en dos grandes grupos de comportamiento. (Bañón y Beviá, 2000, p. 14)

Así, los suelos granulares bien graduados y con bajo contenido en finos obtienen su densidad máxima para valores bajos de humedad. La compactación de este tipo de suelos se realiza desde la "rama seca" de la curva, humectándolos progresivamente hasta llegar al grado de humedad óptimo. Además, presentan una curva aguda, lo que indica su gran sensibilidad a la humedad de compactación. (Bañón y Beviá, 2000, p. 14)

Por el contrario, los suelos arcillosos, limosos o los formados por arenas de granulometría muy uniforme dan curvas tendidas, lo que indica la gran dificultad de compactación que presentan. Suelen compactarse por colapso desde la "rama húmeda", saturando el suelo en agua para debilitar los enlaces interparticulares. (Bañón y Beviá, 2000, p. 14)

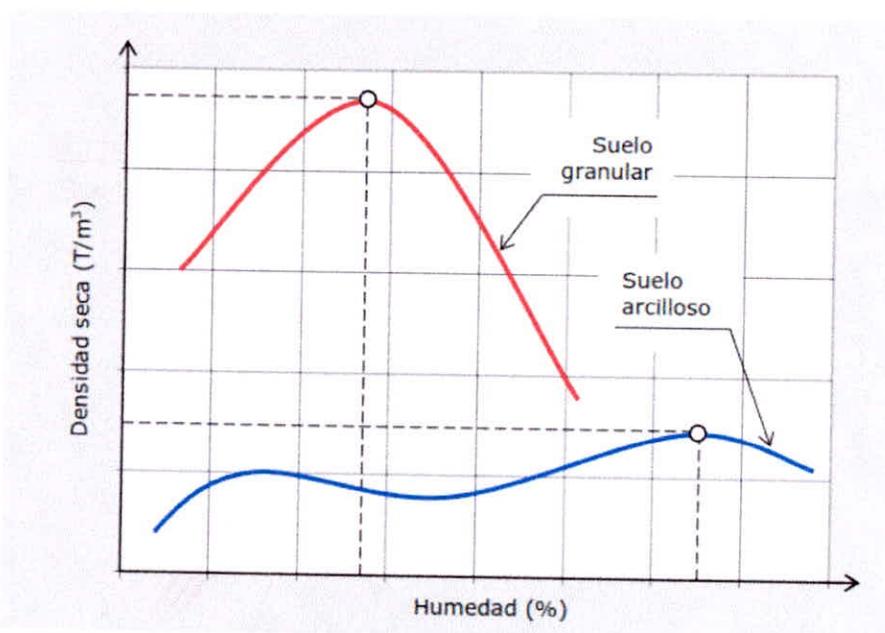


Figura 9: Influencia del tipo de suelo.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

f. RESISTENCIA DEL SUELO

Para el ingeniero de carreteras, el comportamiento mecánico del suelo - recordemos que el suelo es una estructura resistente- es sin duda el factor más importante; de hecho, las propiedades y ensayos vistos anteriormente van encaminados a conseguir la mayor estabilidad mecánica posible, de forma que las tensiones se transmitan uniforme y progresivamente, y no se produzcan asentamientos excesivos o incluso un colapso de fatales consecuencias. (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

Así pues, surge la necesidad de caracterizar mecánicamente el suelo, para lo cual se emplean diferentes procedimientos de ensayo.

Capacidad portante

La capacidad portante de un suelo puede definirse como la carga que este es capaz de soportar sin que se produzcan asentamientos excesivos. (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

El indicador más empleado en carreteras para determinar la capacidad portante de un suelo es el índice CBR (California Bearing Ratio), llamado así porque se empleó por primera vez en el estado de California. Este índice está calibrado empíricamente, es decir, se basa en determinaciones previamente realizadas en distintos tipos de suelos y que han sido convenientemente tabuladas y analizadas. (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

La determinación de este parámetro se realiza mediante el correspondiente ensayo normalizado y que consiste en un procedimiento conjunto de hinchamiento y penetración. (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

El hinchamiento se determina sometiendo la muestra a un proceso de inmersión durante 4 días, aplicando una sobrecarga equivalente a la previsible en condiciones de uso de la carretera. Se efectuarán dos lecturas -una al inicio y otra al final del proceso- empleando un trípode debidamente calibrado. El hinchamiento adquiere una especial importancia en suelos arcillosos o con alto contenido en finos, ya que puede provocar asentamientos diferenciales, origen de diversas patologías en todo tipo de construcciones. (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

El ensayo de penetración tiene por objetivo determinar la capacidad portante del suelo, presentando una estructura similar al SPT (Standard Penetration Test) empleado en Geotecnia. Se basa en la aplicación de una presión creciente -efectuado mediante una prensa a la que va acoplado un pistón de sección anular- sobre una muestra de suelo compactada con una humedad óptima Próctor. La velocidad de penetración de la carga también está normalizada, debiendo ser de 1,27 mm/min. El índice CBR se define como la relación entre la presión necesaria para que el pistón penetre en el suelo una determinada profundidad y la necesaria para conseguir esa misma penetración en una

muestra patrón de grava machacada, expresada en tanto por ciento. (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

$$CBR = \frac{\text{Presión en muestra problema}}{\text{Presión en muestra patrón}} * 100$$

Generalmente se toman diversos pares de valores presión-penetración, construyéndose una gráfica como la de la siguiente figura; en ella, se toman los valores correspondientes a una profundidad de 2.54 y 5.08 mm. (0.1 y 0.2 pulgadas), comparándose con los de la muestra patrón para dichas profundidades. El índice CBR del suelo será el mayor de los dos obtenidos. (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

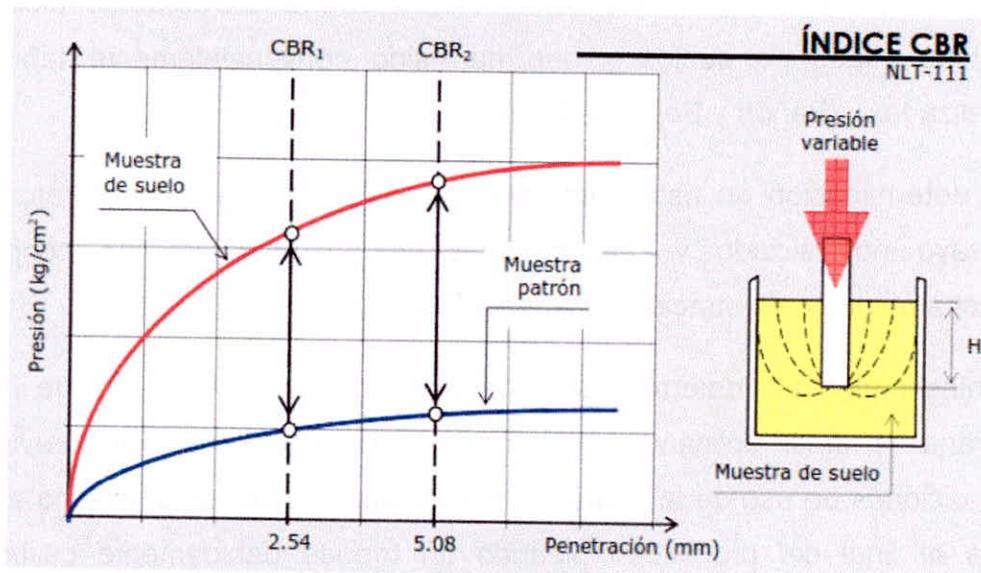


Figura 10: Determinación del índice CBR.
Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

Existen diversas fórmulas empíricas que tratan de relacionar el valor del CBR con diversos parámetros relativos a las propiedades plásticas del suelo. De entre todas ellos, destacan la de Trocchi y la de Peltier, empleada en suelos plásticos o arenas limpias: (Bañón y Beviá, 2000, p. 17)

$$CBR = \frac{(22 - IG) * \frac{D}{1.45}}{1 + \frac{LL * LP}{750}} \quad ; \quad CBR = \frac{4250}{LL * IP}$$

Donde:

LL es el límite líquido, obtenido mediante el correspondiente ensayo

IP es el índice de plasticidad del suelo

D es la densidad seca máxima obtenida mediante el Proctor Normal

IG es el índice de Grupo del suelo (ver clasificación AASHTO)

En el caso de diseño de vías, se determina el CBR de la subrasante y se clasifica al suelo de la siguiente manera:

Tabla 4: Categorías de Subrasante.

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: Fuente MTC (2014).

2.1.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Una adecuada y rigurosa clasificación permite al ingeniero de carreteras tener una primera idea acerca del comportamiento que cabe esperar de un suelo como cimiento del firme, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente, suele ser suficiente conocer la granulometría y plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico. Además, facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, dado su carácter universal. (Bañón y Beviá, 2000, p. 20)

De las diversas clasificaciones de suelos que existen, usaremos la clasificación según SUCS por ser la más completa y la clasificación según AASHTO que se utiliza en obras de infraestructura vial.

a. CLASIFICACIÓN SEGÚN SUCS

Bañón y Beviá (2000) afirman que para esta clasificación, los suelos se nombran usando símbolos de grupo que constan de un prefijo y un sufijo. El prefijo indica el tipo de suelo y el sufijo indican las subdivisiones que matizan sus propiedades.

Tabla 5: Símbolos de Grupo SUCS.

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrememente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Nota: Fuente Manual de carreteras. Vol. 2 (2000)

Las combinaciones de estos elementos forman los diferentes tipos de suelos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6: Tipología de suelos (SUCS).

SÍMBOLO	Características generales		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
GP			Pobrememente graduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
SP			Pobrememente graduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Nota: Fuente Manual de carreteras. Vol. 2 (2000).

Bañón y Beviá (2000) distinguen tres grandes grupos:

- Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas y arenas con menos del 50% del contenido en finos, empleando el tamiz #200.
- Suelos de grano fino (M y C): Formado por al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.
- Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de fundación.

Además, Casagrande ubica los suelos finos en una carta, de acuerdo al límite líquido y el índice plástico, para lo cual se usa:

$$\text{Línea A: } IP = 0.73 * (LL - 20)$$

$$\text{Línea B: } LL = 50$$

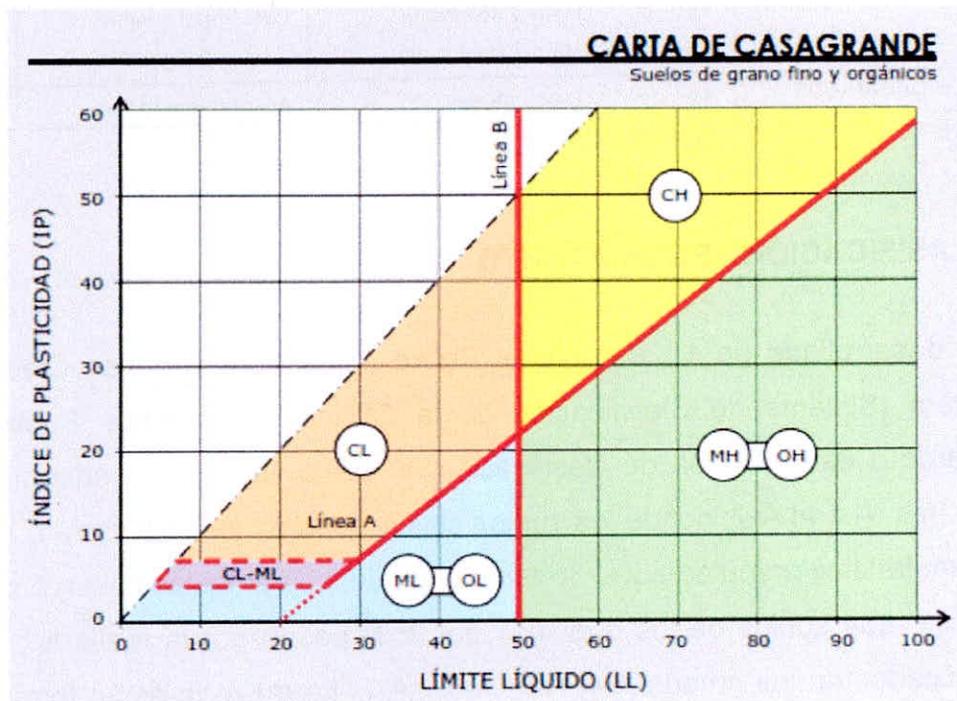


Figura 11: Carta Casagrande para suelos cohesivos.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

Tabla 7: Características de los suelos según 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
		GC	Bueno Bueno	Mala a impermeable Mala a impermeable	1.92 - 2.24 1.92 - 2.24	20 - 40 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
		SC	Aceptable Malo a aceptable	Mala a impermeable Mala a impermeable	1.68 - 2.08 1.68 - 2.08	10 - 20 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	-	-

Nota: Fuente Manual de carreteras. Vol. 2 (2000)

b. CLASIFICACIÓN SEGÚN AASHTO

Fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos). De acuerdo a este sistema de clasificación, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7, donde los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares y el 35% o menos de las partículas pasan por la malla N° 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla N°. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. (Braja M, Das, 1999, p. 78)

Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado como un número entero con un

valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz #200 ASTM. (Bañón y Beviá, 2000, p. 20)

$$IG = 0.2 \cdot a + 0.005 \cdot a \cdot c + 0.01 \cdot b \cdot d$$

Donde:

a es el porcentaje en exceso sobre 35, de suelo que pasa por dicho tamiz, sin pasar de 75. Se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40.

b es el porcentaje en exceso sobre 15, de suelo que atraviesa el tamiz, sin superar un valor de 55. Es un número entero que oscila entre 0 y 40.

c es el exceso de límite líquido (LL) sobre 40, y nunca superior a 60. Se expresa como un número entero comprendido entre 0 y 20.

d es el exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, nunca superior a 30. Es también un número entero positivo comprendido entre 0 y 20. (Bañón y Beviá, 2000, p. 20)

La precisión de las curvas granulométricas de suelos finos es más discutible que la de las curvas correspondientes a suelos gruesos; los tratamientos químicos y mecánicos que reciben los suelos naturales antes de realizar un análisis granulométrico suelen dar lugar a unos tamaños efectivos que son muy diferentes de los existentes en el suelo natural. (Lambe, Whitman, 1991, p. 44)

2.2. SUELOS ARCILLOSOS

2.2.1. DEFINICIÓN

Existe dos clases de suelos en forma general, los de tipo granulares y cohesivos, respecto a los suelos cohesivos. Bañón y Beviá (2000) afirman “esta categoría de suelos se caracteriza por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (inferior a 0.08 mm.). Esto se debe a que la superficie específica —relación entre la superficie y el volumen de un cuerpo— de dichas partículas es más que considerable “(p. 3).

La cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos; se define como la fuerza interparticular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando este no esté saturado. La cohesión es importante desde el punto de vista de la estabilidad de taludes, ya que aumenta

la resistencia de un suelo frente a esfuerzos cortantes o de cizalla. (Bañón y Beviá, 2000, p.3)

Tabla 8: Características de los suelos según SUCS.

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	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
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 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 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					

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

Dentro de los suelos cohesivos también puede establecerse una subdivisión en dos grandes grupos: los limos —de origen físico- formados por partículas de grano muy fino (entre 0.02 y 0.002 mm) y las arcillas, compuestas por un agregado de partículas microscópicas procedentes de la meteorización química de las rocas.

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen, casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas. Existen dos variables de tales láminas: la silícica y la alumínica. (Juárez & Rico, 2005, p.37)

Lo que realmente diferencia a los limos de las arcillas son sus propiedades plásticas: mientras que los primeros son arcillas finísimas de comportamiento inerte frente al agua, las arcillas —debido a la forma lajosa de sus granos y a su reducido tamaño- acentúan los fenómenos de superficie, causa principal de su comportamiento plástico. (Bañón y Beviá, 2000, p.4)

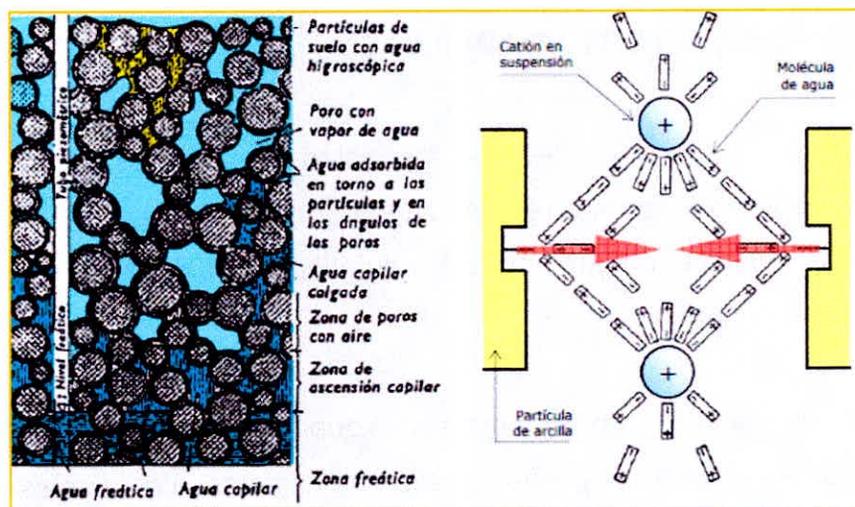


Figura 12: Origen de la cohesión en suelos arcillosos.

Nota: Fuente Bañón y Beviá (2000)

El sistema de clasificación del Instituto Tecnológico de Massachusetts (M.I.T) distingue a los suelos de acuerdo a los límites de tamaños como en el caso de los limos y arcillas que se indican en el siguiente Cuadro 9.

Tabla 9: Diferencias entre limos y arcillas.

Limos (entre 0,002 y 0,06 mm)	Arcillas (<0,002mm)
No suelen tener propiedades coloidales	Suelen tener propiedades coloidales
A partir de 0,002 mm, y a medida que aumenta el tamaño de las partículas, se va haciendo cada vez mayor la proporción de minerales no arcillosos	Consisten en su mayor parte en minerales arcillosos.
Tacto áspero	Tacto suave.
Se secan con relativa rapidez y no se pegan a los dedos.	Se secan lentamente y se pegan a los dedos
Los terrones secos tienen una cohesión apreciable, pero se pueden reducir a polvo con los dedos	Los terrones secos se pueden partir, pero no reducir a polvo con los dedos

Nota: Fuente Instituto Tecnológico de Massachusetts, (M.I.T, 1930)

2.2.2. COMPOSICIÓN DE LAS ARCILLAS.

Las arcillas están básicamente compuestas por silicatos de aluminio que en algunos casos pueden ser reemplazados por silicato de magnesio o de calcio, cuyas partículas tienen una estructura químicamente definida, donde los átomos se precisan en láminas.

Existen tres grandes grupos de minerales que hacen parte de la formación básica de las arcillas: caolinitas, ílitas y montmorillonitas. Los suelos arcillosos no solamente son expansivos debido a la estructura química que hace parte de estos, sino que además la presencia de minerales como la montmorillonita permite mayores índices de hinchamiento. (Camacho, reyes, Mayorga y Méndez, 2006, p.46).

Los constituyentes principales de la arcilla son sílice, alúmina y productos hidratados de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas, la arcilla no

es la expresión genuina del terreno de donde procede, y la diversidad de su origen es la causa de la variedad de sus clases. (Pérez y Barcos, 2004, P.3).

Tabla 10: Composición de las Arcillas.

Tipo	Compuesto	Formúla
Cuarzo	Oxido de Silicio	SiO ₂
Silicatos	Feldespato	
	Esodumena	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Petalita	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .8SiO ₂
	Cinita	Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Circon	ZrO ₂ SiO ₂
	Wollastonita	CaO.SiO ₂
	Anortosita	CaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂
	Olivino	2NaO.4SiO ₂
No Silicatos	Bauxita	Al ₂ O ₃ .Nh ₂ O
	Magnetita	MgCO ₃
	Dolornita	MgCa(CO ₃) ₂

Nota: Fuente Rives, V. Materiales cerámicos.

2.2.3. CARACTERÍSTICAS

Este tipo de suelos se caracteriza por su baja permeabilidad, al dificultar el paso del agua por el reducido tamaño de sus poros, y su alta compresibilidad; tan es así que los suelos arcillosos, limosos e incluso arenosos como el loess pueden colapsar —comprimirse de forma brusca- simplemente aumentando su grado de humedad hasta un valor crítico (entre el 85% para arcillas y el 40-60% para arenas y limos), al romperse los débiles enlaces que unen unas partículas con otras. Esta importante propiedad se emplea de forma directa en la compactación de suelos. (Bañón y Beviá, 2000, p. 4)

2.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

2.3.1. DEFINICION

La estabilización de un suelo es el proceso mediante el cual, se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose una capa de asiento del firme

estable y durable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento de la explanada. (Valle, 2010, p.13)

La estabilización del suelo también es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su índice de plasticidad. Las tres formas de lograrlo son: estabilización física, estabilización química y estabilización mecánica. (Valle, 2010, p.13)

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. (MTC, 2014, p. 92)

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación. (MTC, 2014, p. 92).

La estabilización de un suelo es el proceso por el cual se mejoran las propiedades del mismo. Entre los aditivos usados en la estabilización de los suelos se encuentran los siguientes (Sowers, 1994).

- Aditivos que retienen humedad: sales comunes y cloruro de calcio.
- Aditivos resistentes a la humedad: agentes impermeabilizantes resinosos e hidrófugos, materiales bituminosos y asfaltos rebajados.
- Mezcla de suelo-cemento, en la mayoría de los casos se hace con cementos Portland. Cal y cemento: reacciona con el suelo químicamente permitiendo reacciones puzolánicas.
- Agentes dispersante: entre los cuales se encuentran el silicato de sodio y poli fosfato de sodio que reducen el límite líquido, el índice plástico y la permeabilidad. (Camacho, reyes, Mayorga y Méndez, 2006, p.47).

2.3.2. CRITERIOS GEOTÉCNICOS PARA ESTABLECER LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL MANUAL “SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS”, SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS

- a. Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $\text{CBR} \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero Responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, Reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), Pedraplenes, Capas de arena, Elevar rasante o cambiar el trazo vial si las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.
- b. Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil, según lo justifique el Ingeniero Responsable.
- c. La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.
- d. En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Si la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente

(1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos. Igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm, con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm. La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (Nº 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E109).

- e. Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

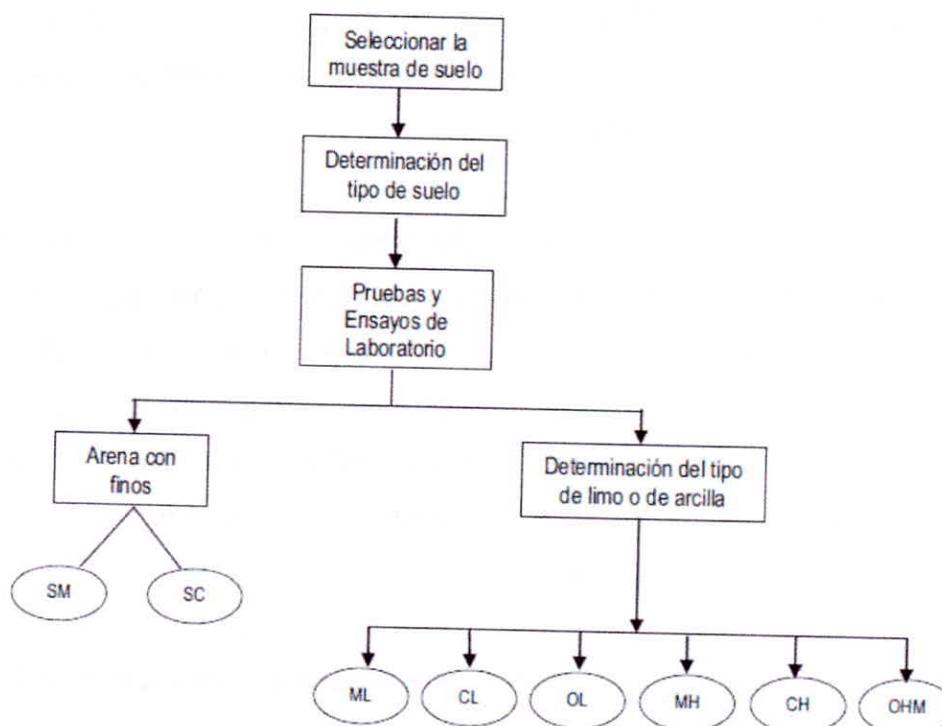


Figura 13: Proceso para la Identificación del Tipo del suelo.
 Nota: Fuente MTC (2014).

f. Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- Tipo de suelo a estabilizar
- Uso propuesto del suelo estabilizado
- Tipo de aditivo estabilizador de suelos
- Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
- Disponibilidad del equipo adecuado
- Costos comparativos

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización:

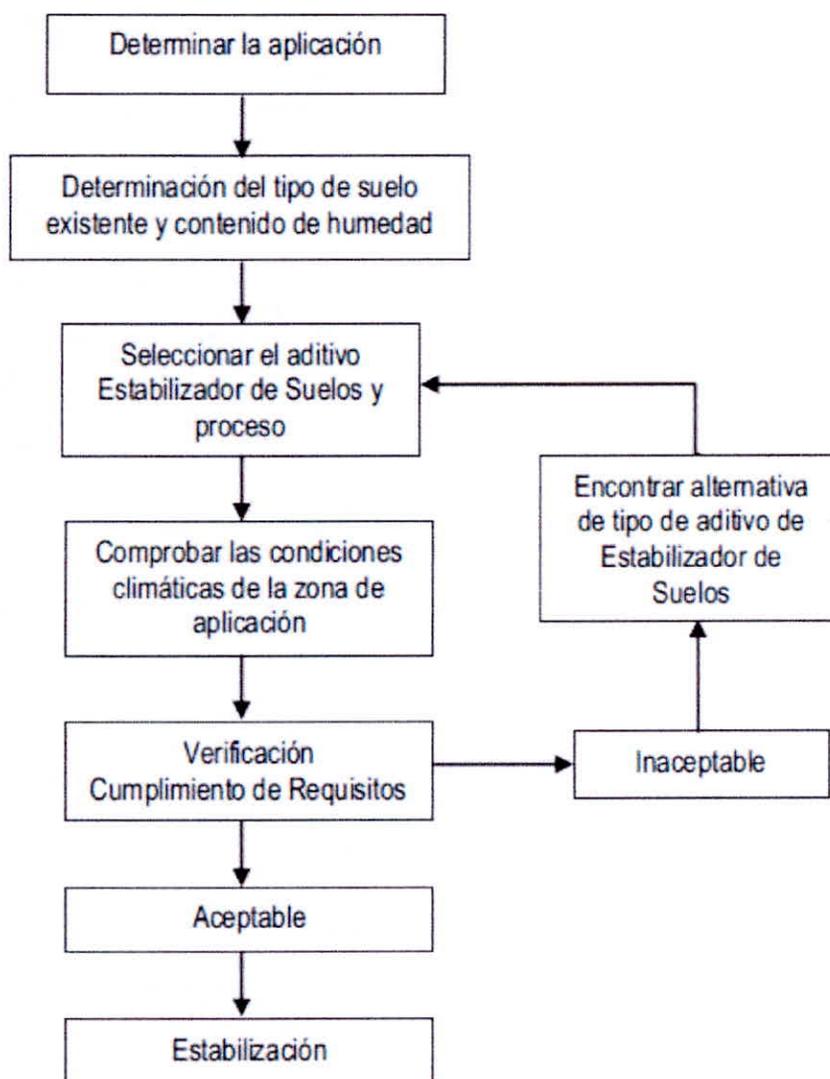


Figura 14: Proceso de selección del Tipo de Estabilización.

Nota: Fuente MTC (2014).

g. A continuación se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.

Tabla 11: Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
1 A	SW ó SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Portland			
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
1 B	SW - SM ó SP - SM ó SW - SC ó SP - PC	(1) Asfalto	P no excede de 10		
		(2) Cemento Portland	P no excede de 30		
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
1 C	SM ó SC ó SM-SC	(1) Asfalto	P no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Portland	(b)		
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
2 A	GW ó GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland			El material deberá contener cuantitativo menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
2 B	GW - GM ó GP - GM ó GW - GC ó GP-GC	(1) Asfalto	P no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland	P no excede de 30		El material deberá contener cuantitativo menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	P no excede de 25		
2 C	GM ó GC ó GM - GC	(1) Asfalto	P no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuantitativo menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3) Cal	P no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas	P no excede de 25		
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1) Cemento Portland	LL no menor de 40 P no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2) Cal	P no menor de 12		
IP = Índice Plástico (b) $IP = 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N° 200}) / 4$			Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador	Fuente: US Army Corps of Engineers	

Nota: Fuente MTC (2014).

Tabla 12: Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELO ⁽¹⁾	DOSEIFICACIÓN ⁽²⁾	CURADO (APERTURA AL TRÁNSITO) ⁽³⁾	OBSERVACIONES
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6 y A-7 LL < 40% IP ≤ 18% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 ó AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (doseificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (doseificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO (2) No debe contener Abrasión < 50% % < N° 200: 10 - 35%	1L / 30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO (2) < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Nota: Fuente MTC (2014).

2.3.3. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN

a. ESTABILIZACIÓN FÍSICA

Se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

- Mezclas de Suelos

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo. (MTC, 2014, p. 98).

Este tipo de estabilización tiene como objetivo aprovechar las cualidades del suelo natural y mezclarlo con otro suelo que tenga diferentes propiedades de tal manera que la combinación de éstos resulte en un suelo que cumpla con los requisitos para ser usado como subrasante.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que le permiten soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como capa de asiento del firme de una carretera ya que, al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar incluso salirse del camino. Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas. (Valle, 2010, p.15).

El procedimiento para realizar este tipo de estabilización esta descrita en el MTC, 2014 de la siguiente manera: El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto.

- **Estabilización por sustitución de los suelos**

Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición.

En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación.

En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas. (MTC, 2014, p. 98).

b. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. Dentro de este grupo de estabilización, las sustancias químicas más comunes son: cal y cemento.

Cal: Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

Cemento Portland: Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

Otros productos también utilizados son:

Productos Asfálticos: Es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.

Cloruro de Sodio: Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.

Escorias de Fundición: Se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Polímeros: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Caucho de Neumáticos: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil. (Valle, 2010, p.15)

c. ESTABILIZACIÓN MECÁNICA.

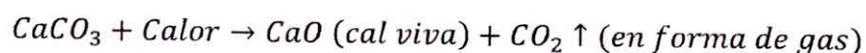
Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo. (MTC, 2014, p. 113).

Valle (2010) afirma: "Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia".

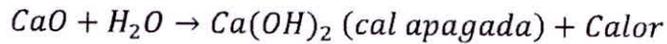
2.3.4. ESTABILIZACIÓN CON CAL

El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico. (MTC, 2014, p. 101).

El proceso de obtención de la cal es como sigue:



Al adicionarle agua a la cal viva se obtiene el hidróxido de calcio, que dependiendo de la cantidad de agua añadida pueden obtenerse dos productos, polvo o pasta, la reacción química de este proceso es la siguiente:



La experiencia demuestra que los productos de la hidratación del cemento pueden ser reproducidos combinando dos o más componentes primarios de este producto como: CaO, SiO₂, Al₂O₃ y FC₂O₃ en las proporciones adecuadas y en presencia de agua. (MTC, 2014, p. 101).

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra (Ca O) o de cal hidratada (Ca (OH)₂) y agua en cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada. (MTC, 2014, p. 101).

La Cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser Cal viva ó hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la Sección 301.B del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para construcción vigente; la Especificación AASHTO M-216 ó ASTM C-977. (MTC, 2014, p. 101).

Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, con formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles. (MTC, 2014, p. 101).

Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Por ejemplo suelos de plasticidad IP < 15, aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con IP > 15, disminuye el IP. (MTC, 2014, p. 101).

La cal permite la reducción de límite líquido y el índice plástico, de tal manera que los cambios volumétricos también se disminuyan, así mismo produce reacciones químicas como intercambio catiónico, reacciones puzolánicas, incrementa la manejabilidad y permeabilidad, mejora las propiedades de resistencia, incrementa el límite de contracción y disminuye el índice plástico al igual que el límite líquido. (Braja, 2001).

También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no

permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos. (MTC, 2014, p. 101).

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad. (MTC, 2014, p. 101).

En cortes e incluso en terraplenes, donde se evidencien suelos arcillosos, resulta conveniente mejorar el suelo con un pequeño porcentaje de cal para proteger la explanación y formar una plataforma para la construcción de la capa de rodadura. (MTC, 2014, p. 101).

Al mezclar el suelo con cal éste se vuelve más friable y granular. Al aumentar su límite plástico y humedad óptima de compactación permite su puesta en obra con mayor facilidad. (MTC, 2014, p. 101).

Es frecuente que la mezcla se realice en dos fases, con un período intermedio de reacción de 1 - 2 días. La aplicación más usual de las estabilizaciones con cal es en subrasantes y como capa de rodadura, en zonas de suelos arcillosos y/o con canteras de materiales granulares lejanos. (MTC, 2014, p. 101).

La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en lo siguiente: (MTC, 2014, p. 102).

- Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
- Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
- La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- Incremento de la resistencia a la comprensión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
- Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.

- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

- Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en peso.
- Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cal, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cal. (MTC, 2014, p. 102).

La norma EG-2013 (p. 261) indica que el material a estabilizar debe cumplir los siguientes requisitos generales:

- Tener una granulometría del tipo de suelo A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7.
- Su tamaño máximo no deberá ser mayor a 5 cm (2") o 1/3 de espesor de la capa compactada.
- La fracción inferior del tamiz de 425 μm (N.º 40) deberá presentar un Límite Líquido inferior a 40 y un Índice Plástico comprendido entre 10 y 50%, determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111.
- La proporción de sulfatos del suelo, expresada como SO_4^- no podrá exceder de 0.2% en peso.
- Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Máquina de Los Ángeles) MTC E 207 no mayor a 50%.
- Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales y el material se encuentra a una altitud ≥ 3.000 m.s.n.m, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de magnesio superiores al 18% y en materiales finos superiores al 15%.

Además la norma EG-2013 indica que al cal puede ser cal hidratada o cal viva y que deberá cumplir los requisitos de la Especificación AASHTO M-216 ó ASTM C-977.

Al respecto en la especificación ASTM C-977, se muestra los requisitos que debe cumplir la composición química de la cal viva o hidratada a ser utilizada en la estabilización de suelos:

- Óxidos Calcio y Magnesio (sobre una base no volátil, mínima%) 90,0.
- Dióxido de Carbono (tomada en el punto de fabricación, máximo%) 5,0.
- Humedad libre (tomada en el punto de fabricación, máximo%) 2,0.

2.3.5. ESTABILIZACIÓN CON CENIZAS DE CARBÓN

Muchos investigadores han estudiado el mecanismo que contribuye al proceso de estabilización de suelos tratados con cenizas volantes. Según Acosta. (2003) existen tres mecanismos principales contribuyendo a la estabilización. El primero es que la resistencia del suelo aumenta como resultado de la cementación producida a partir de la hidratación de aluminato tricálcico presentes en las cenizas volantes. Otro mecanismo es que la cal libre (CaO) en las cenizas volantes reacciona con los minerales de arcilla, causando compresión de la capa de absorción y la reducción en la plasticidad. (Pérez, 2012)

Finalmente, la cal libre que no hace reaccionar con los minerales de arcilla se encuentra disponible para el proceso de cementación adicional a través de la reacción puzolánica con los compuestos de sílice y alúmina. (Pérez, 2012)

Cokca (2001) explica que la estabilización de los suelos tratados con cenizas volantes es el resultado de intercambio de catión entre las partículas de arcilla y aluminio (Al), calcio (Ca²⁺) y hierro (Fe³⁺) en las cenizas volantes. Se describe el proceso de estabilización indicando que las cenizas volantes pueden proporcionar una adecuada matriz de cationes divalentes y trivalentes que bajo condiciones ionizadas origina la floculación de dispersión de las partículas de arcilla.

Cuando las cenizas volantes se mezclan con el suelo arcilloso, las características de compactación (densidad y óptimo contenido de humedad) de los suelos

cambian. El proceso de hidratación se produce durante el contacto entre el suelo, la ceniza y el agua hace que la unión y cementación generen altos valores de densidad. (Pérez, 2012)

Las cenizas volantes son procedentes de la combustión en las centrales termoeléctricas. La composición de cada una de las clases de ceniza y el porcentaje de carbón encontrado en estas depende del proceso que se realice en cada una de las plantas de la termoeléctrica. Las cenizas son granos finos compuestos básicamente por silicatos, aluminios, cal libre y algunos óxidos que permiten una reacción puzolánicas con el suelo que al igual que otras sustancias reduce el índice de expansión. (Camacho, reyes, Mayorga y Méndez, 2006, p.48).

Una concentración del 25% de cenizas en el suelo puede resultar muy beneficiosa, afectando la granulometría, floculando los porcentajes de arcillas del suelo y reduciendo el límite líquido y el índice plástico del suelo. Las reacciones puzolánicas permiten incrementar la capacidad de soporte de la subrasante y con ello mejor las estructuras viales. (Camacho, reyes, Mayorga y Méndez, 2006, p.48).

2.4. CONCHAS DE ABANICO

2.4.1. MATERIA PRIMA.

Phyllum	: Mollusca
Clase	: Pelecypoda.
Subclase	: Lamelinobranchia
Orden	: Filibranchia
Familia	: Pectinidae
Género	: Argopecten
Especie	: Argopectenpurpuratus
Nombre común	: Concha de abanico (Perú). Ostión del norte

(Chile), Scallop (EE. UU). Vieira (España). Coquilles Saint-Jacques

(Francia), Canestrello del Pacífico (Italia). (Landmarck , 1819)

La Concha de Abanico (*A.purpuratus*) vive normalmente en bahías protegidas del oleaje, encontrándose entre los 3 a 30 m de profundidad; sin embargo, es más frecuente hallarla entre los 14 y 18 m. 3.4.(Alva et al., 2002).

2.4.2. MORFOLOGIA.

A. MORFOLOGIA EXTERNA

Presentan valvas que tienen una forma orbicular. Siendo la derecha más Convexa que la izquierda. Las valvas presentan expansiones laterales llamadas "orejas- en la parte anterior existe una muesca con seis dientes.

Las valvas poseen radios o líneas de crecimiento en un número de 22 a 25. También se observan líneas concéntricas que vendrían a ser los anillos de crecimiento (Alva et al., 2002).

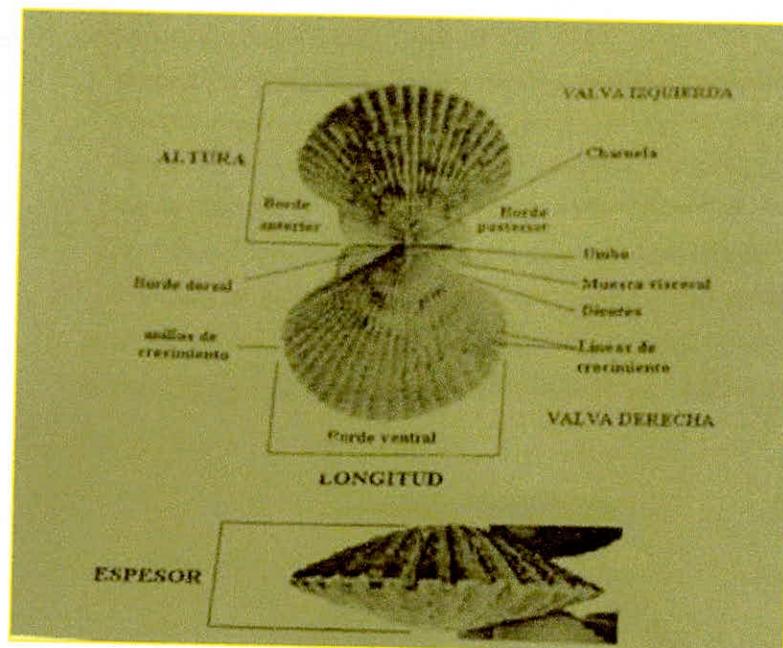


Figura 15: Morfología externa de la Concha de abanico (*Argopecten purpuratus*).
Nota: Nótese a la valva izquierda (superior) más convexa que la valva derecha (inferior).

B. MORFOLOGIA INTERNA

La concha de abanico (*A. purpuratus*) es un organismo hermafrodita (tiene presente los dos sexos). La gónada se divide en dos partes bien definidas; la parte masculina que es de color crema y la parte femenina que es de color anaranjada (Alva et al., 2002).

Las branquias son de color marrón pálidas y están soportadas por las membranas de fijación en el punto de contacto entre el saco visceral y los músculos aductores: Estas branquias consisten de un par de láminas, cuya unión con la membrana de fijación constituye el eje branquial: La lámina branquial está formada por dos lamelas y cada una de éstas conectadas a través de la unión (Alva et al., 2002).

La concha de abanico (*A. purpuratus*) presenta un manto mucho más extenso que su cuerpo formando una amplia lámina de tejido entre las valvas. El borde del manto presenta tres pliegues. El pliegue interno es de tipo sensorial y el externo se relaciona con la secreción de la concha. Los músculos aductores están divididos en dos partes, un músculo grande estriado y un músculo pequeño no estriado que tiene la forma elíptica. El aductor estriado es usado cuando el animal se mueve lentamente (Alva et al., 2002).

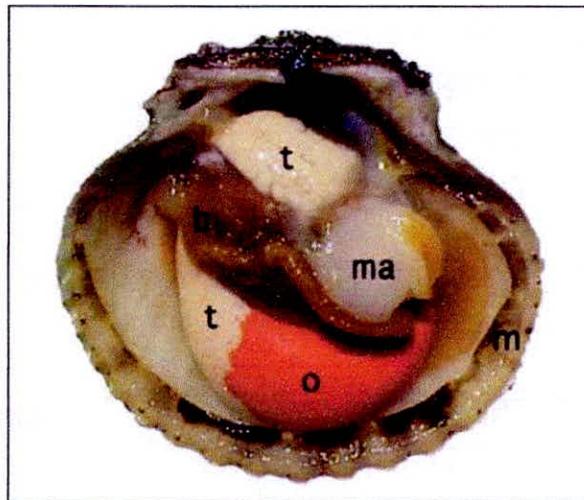


Figura 16: Morfología interna de *Argopecten purpuratus* en plena madurez.

Nota: ma = músculo aductor; b = branquias (debajo de la gónada); m = manto; o = ovario; t = testículo.

2.4.3. COMPOSICIÓN.

A. COMPOSICION QUIMICA.

Tabla 13: Análisis Proximal de la Concha de Abanico *Argopectenpurpuratus*.

COMPONENTE	PROMEDIO (%)
Humedad	78.2
Grasa	1,8
Proteína	15,9
Sales Minerales	2,2
Calorías (100g)	96

Nota: Fuente Compendio Biológico Tecnológico de las Principales Especies Hidrobiológicas Comerciales del Perú. Instituto del Mar del Perú. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú.

Tabla 14: Componentes minerales de la concha de abanico *Argopectenpurpuratus*.

MACROELEMENTO	PROMEDIO (%)
Sodio	10
(mg/100g)	1,7
Potasio	26
(mg/100g)	9,4
Calcio	11,
(mg/100g)	7
Magnesio(mg/100)	33,
	9
MICROELEMENTO	PROMEDIO (%)
Fierro (ppm)	2,9
Cobre (ppm)	0,2
Cadmio (ppm)	0,3
Plomo (ppm)	0,0

Nota: Fuente Compendio Biológico Tecnológico de las Principales Especies Hidrobiológicas Comerciales del Perú. Instituto del Mar del Perú. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú.

B. COMPOSICION FISICA.

Tabla 15: Composición física de la Concha de Abanico (*Argopectenpurpuratus*).

COMPONENTE	PROMEDIO (%)
Valvas	67,2
Carne cocida	17,8
Parte comestible	14,8

Nota: Fuente Compendio Biológico Tecnológico de las Principales Especies Hidrobiológicas Comerciales del Perú. Instituto del Mar del Perú. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú.

Tabla 16: Características físico Organolépticas de la Concha de Abanico (*Argopectenpurpuratus*).

TEXTURA	FIRME
Peso cuerpo (rango,g)	1,5 - 40,0
Peso músculo abductor (rango,g)	1,0 - 28,0
Peso de coral (rango,g)	0,5 - 12,0

Nota: Fuente Compendio Biológico Tecnológico de las Principales Especies Hidrobiológicas Comerciales del Perú. Instituto del Mar del Perú. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú.

2.4.4. PRODUCCION Y COMERCIALIZACION EN EL PERU.

En el siguiente cuadro se muestra, la cosecha, producción y comercialización interna y exportación de la concha de abanico, desde el año 2006 hasta el 2015

Tabla 17: Cosecha, producción y comercialización de concha de abanico en Perú desde el año 2006 hasta el 2015.

AÑO	COSECHA (Tn)	PRODUCCION (Tn)	COMERCIALIZACION (VENTA INTERNA)(Tn)	EXPORTACION (Tn)
2006	12 337	1 979,19	62	2 289
2007	18 518	2 989,11	398	3 132
2008	14 802	2 639,90	2058	3 748
2009	16 047	2 843,54	1 659	8 041
2010	58 101	9 665,21	208	9 980
2011	52 213	8 345,49	149	11 414

Continuación

2012	24 782	5 056,80	369	6 672
2013	67 694	10 410,40	532	17 399
2014	55 096	8 336,88	387	13 570
2015	23 029	5 076,73	2 000	7 346

Nota: Fuente Ministerio de la Producción (2015).

2.5. CENIZAS VOLANTES

2.5.1. DEFINICIÓN

La norma ASTM C593-95 (citado por Pérez, 2012) define la ceniza volante como el residuo finamente dividido que resulta de la combustión de carbón en polvo que es transportado desde la caldera por los gases de combustión.

Las cenizas volantes son uno de los subproductos industriales más abundantes. Son generadas en grandes cantidades como un subproducto de la combustión del carbón en centrales eléctricas. (Senol et al., 2006).

La ceniza volante consiste en materia inorgánica presente en el carbón que se ha fundido durante la combustión del carbón. Este material se solidifica mientras está suspendido en los gases de escape y se recoge de los gases de escape por precipitadores electrostáticos. Dado que las partículas solidifican mientras están suspendidas en los gases de escape, las partículas de cenizas volantes son generalmente de forma esférica (Ferguson et al., 1999). Las partículas de cenizas volantes, que se recogen en precipitadores electrostáticos, suelen tener un tamaño de cieno (0,074 - 0,005 mm). (Emilliani y Dygku, 2010).

2.5.2. BENEFICIOS DEL USO DE CENIZAS VOLANTES

Hacer un uso más productivo de las cenizas volantes tendría considerables beneficios ambientales, reduciendo la contaminación del aire y del agua. El incremento del uso de las cenizas volantes como reemplazo parcial del cemento o cal representaría un ahorro energético porque las cenizas han sido llamadas material de alta energía. (Hausmann, 1990).

El uso de cenizas volantes, especialmente en el concreto, tiene importantes beneficios ambientales incluyendo (FHWA, 2006):

- Aumentar la vida útil de las carreteras y estructuras de concreto mejorando la durabilidad del concreto.
- Reducción neta en el uso de energía y gases de efecto invernadero y otras emisiones atmosféricas adversas, cuando las cenizas volantes se usan para reemplazar el cemento manufacturado.
- Reducción de la cantidad de productos de la combustión del carbón que deben ser depositados en vertederos.
- Conservación de otros recursos y materiales naturales.

2.5.3. COMPOSICIÓN

La composición de cada una de las clases de ceniza y el porcentaje de carbón encontrado en éstas, depende del proceso que se realice en cada una de las plantas de la termoeléctrica. Las cenizas son granos finos compuestos básicamente por silicatos, aluminios, cal libre y algunos óxidos que permiten una reacción puzolánica con el suelo arcilloso que al igual que otras sustancias reduce el índice de expansión. (Pérez, 2012)

2.6. PAVIMENTO

2.6.1. DEFINICIÓN

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. (MTC, 2014, p. 21).

Estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado Período de Diseño y dentro de un rango de Serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías. (CE.010 Pavimentos Urbanos, p. 43).

2.6.2. ESTRUCTURA

Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura. (MTC, 2014, p. 21).

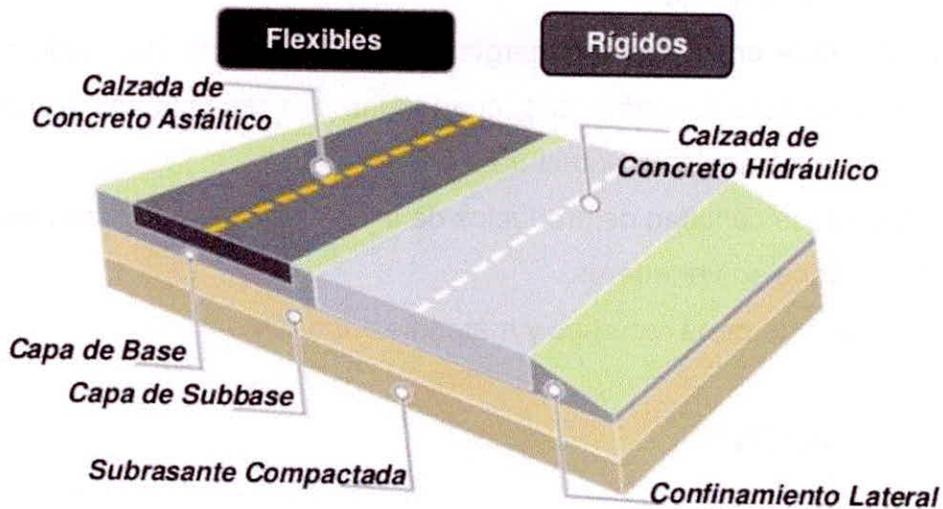


Figura 17: Capas del pavimento.

- 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.
- Base: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.
- Subbase: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

2.6.3. TIPOS DE PAVIMENTOS

- a. El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente. (MTC, 2014, p. 22).
- b. El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados. (MTC, 2014, p. 22).
- c. El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso, aditivos. (MTC, 2014, p. 22).

2.6.4. PAVIMENTO FLEXIBLE

Clasificación por comportamiento de los pavimentos con superficie asfáltica en cualquiera de sus formas o modalidades (concreto asfáltico mezcla en caliente, concreto asfáltico mezcla en frío, mortero asfáltico, tratamiento asfáltico, micropavimento, etc.), compuesto por una o más capas de mezclas asfálticas que pueden o no apoyarse sobre una base y una sub base granulares. El pavimento asfáltico de espesor total (full-depth®), es el nombre patentado por el Instituto del Asfalto, para referirse a los pavimentos de concreto asfáltico construidos directamente sobre la sub-rasante. (CE.010 Pavimentos Urbanos, p. 44).

a. REQUERIMIENTOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES CE.010
PAVIMENTOS URBANOS

- Requerimientos Para Sub Base Granular C.E. 010 Pavimentos Urbanos.

Tabla 18: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular.

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A *	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (Nº 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (Nº 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4.25 µm (Nº 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm (Nº 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Nota: Fuente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Tabla 19: Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular.

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	50 % máximo	
CBR de laboratorio	NTP 339.145:1999	30-40 % mínimo*	
Limite Líquido	NTP 339.129:1999	25% máximo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1999	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	25% mínimo	35% mínimo
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	1% máximo	

* 30% para pavimentos rígidos y de adoquines. 40% para pavimentos flexibles.

Nota: Fuente CE.010 Pavimentos Urbanos.

- Requerimientos Para Base Granular C.E. 010 Pavimentos Urbanos

Tabla 20: Requerimientos Granulométricos para Base Granular.

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A *	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 - 95	100	100
9,5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4,75 mm (Nº 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2,0 mm (Nº 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
425 µm (Nº 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm (Nº 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Nota: Fuente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Tabla 21: Valor Relativo de Soporte, CBR. (NTP 339.145:1999)

Vías Locales y Colectoras	Mínimo 80%
Vías Arteriales y Expresas	Mínimo 100%

Nota: Fuente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Tabla 22: Requerimientos del Agregado Grueso de Base Granular.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Partículas con una cara fracturada	MTC E210-2000	80% mínimo	
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E210-2000	40% mínimo	50% mínimo
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019:2002	40% máximo	
Sales Solubles	NTP 339.152:2002	0,5% máximo	
Pérdida con Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	---	12% máximo
Pérdida con Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	---	18% máximo

Nota: Fuente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Tabla 23: Requerimientos del Agregado Fino de Base Granular.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3000 msnmm	> 3000 msnmm
Índice Plástico	NTP 339.129:1999	4% máximo	2% máximo
Equivalente de arena	NTP 339.146:2000	35% mínimo	45% mínimo
Sales solubles	NTP 339.152:2002	0.5% máximo	
Índice de durabilidad	MTC E214-2000	35% mínimo	

Nota: Fuente CE.010 Pavimentos Urbanos.

2.6.5. SUBRASANTE

La Subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (MTC, 2014, p. 20).

La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. (MTC, 2014, p. 20).

2.6.6. REQUERIMIENTOS PARA SUBRASANTES

La norma CE.010 Pavimentos urbanos proporciona algunos requerimientos para las subrasantes los cuales son:

- La humedad de compactación no deberá variar en $\pm 2\%$ del Optimo Contenido de Humedad a fin de lograr los porcentajes de compactación especificados.
- Se comprobará la compactación según lo indicado en el Cuadro 24. El grado de compactación requerido será del 95% de su Máxima Densidad Seca Teórica. Se tolerará hasta dos puntos porcentuales menos en cualquier caso aislado, siempre que la media aritmética de 6 puntos de la misma compactación sea igual o superior al especificado.

Tabla 24: Número de controles en la subrasante.

TIPO DE VÍA	NÚMERO DE CONTROLES EN LA SUB-RASANTE POR CADA 100 m DE VÍA PARA GRADO DE COMPACTACIÓN Y CBR IN-SITU
Expresas	4
Arteriales	3
Colectoras	2
Locales	1

Nota: Fuente CE.010 Pavimentos Urbanos.

- El espesor compactado será mayor o igual a 250 mm para el caso de Vías locales y colectoras. Además, mayor o igual a 300 mm para el caso de vías arteriales y expresas.

Además, el MTC (2014, p.21) brinda requerimientos para el suelo de la capa subrasante:

- Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR \geq 6\%$. En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un $CBR < 6\%$ (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.

2.6.7. ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS (DISEÑO DE PAVIMENTOS MODERNOS, ICG).

Es una variable de las más importantes en el diseño de una vía. Si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento. (Montejo, 2002, p.19).

A. PESO VEHICULAR.

El peso máximo por eje independiente o grupos de ejes permitido a los vehículos para su circulación por las vías de nuestro país, es el siguiente:

Tabla 25: Peso máximo por eje o grupos de ejes.

Eje(s)	Neumático	Gráfico			Kilos
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Simple	2				7,000
Simple	4				11,000
Doble	6				16,000
Doble	8				18,000
Triple	10				23,000
Triple	12				25,000

Nota: Fuente D.S.Nº034-2001-MTC: "Reglamento Nacional de Vehículos"

El peso bruto vehicular máximo es de 48,000 kg. El exceso de peso permitido por eje se denominará tolerancia.

Tabla 26: Tolerancia de peso por eje.

Eje(s)	Neumáticos	Tolerancia
Simple	02	350 kg
Simple	04	550 kg
Doble	06	800 kg
Doble	08	900 kg
Triple	10	1,150 kg
Triple	12	1,250 kg

B. PERÍODO DE DISEÑO

El pavimento puede ser diseñado para soportar el efecto acumulativo del tránsito durante cualquier período de tiempo. El período seleccionado en años, para el cual se diseña el pavimento, se denomina período de diseño. Al final de este período puede esperarse que el pavimento requiera trabajos de rehabilitación, para devolverle a la vía un adecuado nivel de transitabilidad. En la siguiente tabla se muestra las dimensiones y cargas de algunos camiones y buses.

Tabla 27: Tabla de dimensiones y cargas de vehículos.

SÍMBOLO	DIAGRAMA	LONGITUD (MTS)	EJE DILANTERO	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MÁXIMO
				1º eje	2º eje	3º eje	4º eje	
BH-RE3		20.50	7+7	18	25			48
T252 S3			7	11	16	11	18	48+
B2		13.20	7	11				18
B3-1		14.00	7	16				23
B4-1		15.00	7+7	16				30
BA-1		18.30	7	11	7			25

Continuación

SIMBOL	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MAXIMO	
			EJE DELANTERO	CARGA POR EJE O CJTO POSTERIOR				
				1º eje	2º eje	3º eje	4º eje	
C2		12.30	7	11				18
C3		13.20	7	18				25
C4		13.20	7	25				32
8x4		13.20	7+7	18				32
T2S1 O 2S1		20.50	7	11	11			29
T2S2 O 2S2		20.50	7	11	18			36
T2Se2		20.50	7	11	11	11		40
T2S3 O 2S3		20.50	7	11	25			43
T2Se3		20.50	7	11	11	18		47
T3S1 O 3S1		20.50	7	18	11			36
T3S2 O 3S2		20.50	7	18	18			43

Nota: Fuente D.S.Nº034-2001-MTC: "Reglamento Nacional de Vehículos"

El peso bruto máximo permitido para unidad o combinación de vehículos es de 48,000kg.

C. CARRIL DE DISEÑO.

Para calles y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, mientras que para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo. Bajo ciertas condiciones, es probable que haya mayor tránsito de camiones en un sentido que en otro. En muchos sitios los camiones circulan cargados en un sentido y vacíos en otro. Las recomendaciones del Instituto del Asfalto y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), son:

Tabla 28: Porcentaje de camiones en el carril de diseño.

Nº carriles (2 direcciones)	%de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35-48)
6 ó más	40 (25-48)

Nota: Fuente Instituto del Asfalto.

Gráficamente se puede representar como:

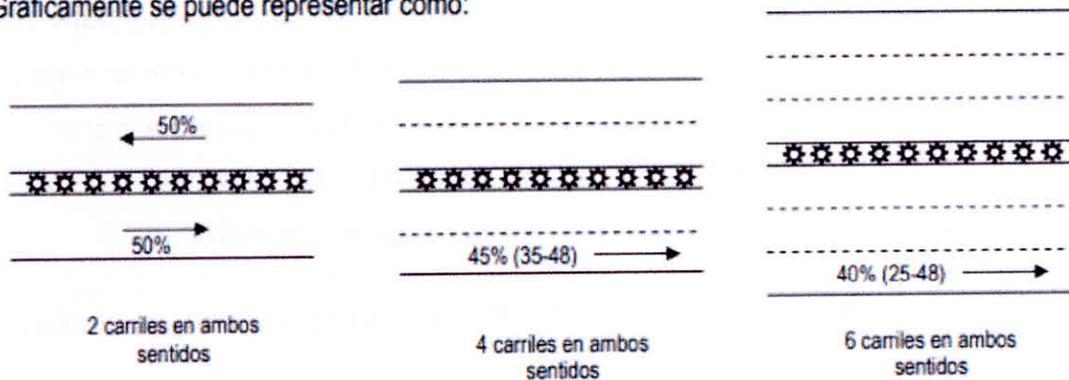


Figura 18: Porcentaje de camiones en el carril de diseño según el Instituto del Asfalto.

Tabla 29: Porcentaje de ESAL en el carril de diseño.

Nº carriles en 1 dirección	%ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

ESAL Equivalent Single Axle Load

Nota: Fuente AASHTO.

D. CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO.

El pavimento debe ser diseñado para servir adecuadamente la demanda del tránsito durante un período de años; por lo tanto, el crecimiento del tránsito se debe anticipar.

El crecimiento puede considerarse como el Factor de Crecimiento:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r=tasa de crecimiento anual, % y n=período de diseño en años

E. ESTIMACIÓN DEL ESAL.

El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño. El volumen de tránsito del carril de diseño, se convierte a un determinado número de ESAL, que es equivalent single axle load, que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento. El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.

El ESAL pesa 18,000 lb ó 8.2 tn ó 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento.

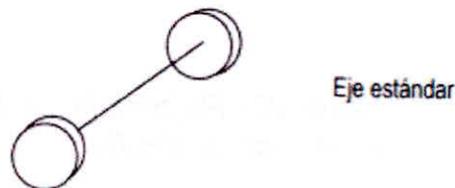


Figura 19: Eje estándar.

F. FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA.

Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento flexible, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje, FEC. Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHO Road Test. Los resultados obtenidos han permitido determinar que la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes, se expresa como:

$$\text{FEC} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^4$$

Donde: P0 es la carga estándar y P1 es la carga cuya equivalencia de daño se desea calcular.

En el Cuadro 30 se muestran los factores de equivalencia de carga publicada en la Guía AASHTO 1986.

Tabla 30: Factores de Equivalencia de Carga.

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tndem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.0	7.45
364.7	82,000		32.0	8.20
373.6	84,000		35.3	8.90
382.5	86,000		38.8	9.80
391.4	88,000		42.6	10.6
400.3	90,000		46.8	11.6

Nota: Fuente AASHTO 93.

G. FACTOR CAMIÓN, FC.

Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener por pesaje. El peso es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- a) asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- b) Estimar el F.C. por algún método empírico.

H. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES EN EL CARRIL DE DISEÑO PARA EL PERÍODO DE DISEÑO.

Una vez determinado el número acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el período de diseño, es posible convertir ésta cantidad de vehículos a ejes simples equivalentes de 8.2 tn. Mediante el factor camión. El ESAL es el siguiente:

$$ESAL = \sum (N^{\circ} \text{vehículos} \times FC_{\text{vehículo}})$$

2.6.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR METODO AASHTO 1993.

Por lo general, todo pavimento flexible está conformado por: una capa de subrasante preparada y compactada a una densidad específica, una capa de sub base que puede ser omitida dependiendo de la calidad de la subrasante, una capa de base que se coloca sobre la sub base, o sobre la subrasante. Sobre la base se conforma la carpeta asfáltica que consiste de una mezcla de material bituminoso y agregados.

A. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

El método AASHTO 1993 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinada capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad. Con la ecuación

de diseño empírica usada en AASHTO 93 se busca el número estructural requerido por el proyecto:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (1)$$

Donde:

- SN número estructural requerido por la sección de carretera.
- W18 número de ejes equivalentes de 80 kN (18,000 lb), en el período de diseño.
- ZR desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R, de diseño)
- So error estándar por efecto del So tráfico y comportamiento
- ΔPSI variación del índice de serviciabilidad.
- MR módulo resiliente de la subrasante medido en psi.

El número estructural requerido por el proyecto, SN, se convierte en espesores de carpeta asfáltica, base y sub base, mediante coeficientes de capa que representan la resistencia relativa de los materiales de cada capa. La ecuación de diseño es la siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \dots\dots(2)$$

Donde:

- ai coeficiente de la capa i (1/pulg.)
- Di espesor de la capa i (pulg.)
- mi coeficiente de drenaje de la capa i (adimensional).

Los subíndices 1,2 y 3 se refieren a las capas de carpeta asfáltica, base y sub base (si se aplica) respectivamente. Los coeficientes de capa dependen del módulo resiliente del suelo (MR), se determinan empleando lo conceptos esfuerzo-deformación de un sistema multicapa. Los coeficientes de capa usados en la pista de prueba AASHO son:

Concreto asfáltico superficial, a1 0.40 - 0.44 pulg-1.

Base de piedra chancada, a2	0.10 - 0.14 pulg-1.
Sub base de grava arenosa, a3	0.06 - 0.10 pulg-1.

B. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO

El diseño de la carretera depende del tráfico esperado durante la vida de servicio y la confiabilidad en el comportamiento. Luego de caracterizar el suelo de la subrasante y seleccionar los valores de confiabilidad (R), para el error estándar So y ESAL estimado, se puede determinar el valor del número estructural, SN, usando el nomograma de la figura 20 ó la ecuación (1).

Parámetros de diseño y recomendaciones de AASHTO.

B.1 Período de Diseño

El período de diseño se refiere al tiempo desde que la estructura de pavimento entra en servicio hasta antes que necesite algún trabajo de rehabilitación.

Tabla 31: *Períodos típicos de diseño.*

Condiciones de Carreteras	Período de Análisis
Vías urbanas con alto volumen	30-50
Vías rurales con alto volumen	20-50
Pavimentadas con bajo volumen	15-25
Superficie granular con bajo volumen	10-20

B.2 Tránsito.

El diseño considera el número de ejes equivalentes (ESAL) para el período de análisis (W18) en el carril de diseño. A partir de conteos vehiculares y conversión a ejes equivalentes, el diseñador debe afectar el ESAL en ambas direcciones por factores direccionales y de carril (si son más de dos), aplicando la siguiente ecuación:

$$W_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18} \quad \dots\dots (3)$$

Donde:

- DD factor de distribución direccional.
- DL factor de distribución por carril.

w18 tráfico total en ambas direcciones para el período de diseño.

El factor de distribución direccional DD generalmente es 0.5 (50%) para la mayoría de las carreteras; sin embargo, este puede variar de 0.3 a 0.7 dependiendo de la incidencia de tráfico en una dirección. Los factores de distribución por carril, DL, recomendados por AASHTO se muestran en el Cuadro 32.

Tabla 32: Factor de distribución por carril DL.

Nº carriles en una dirección	%ESAL en carril diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

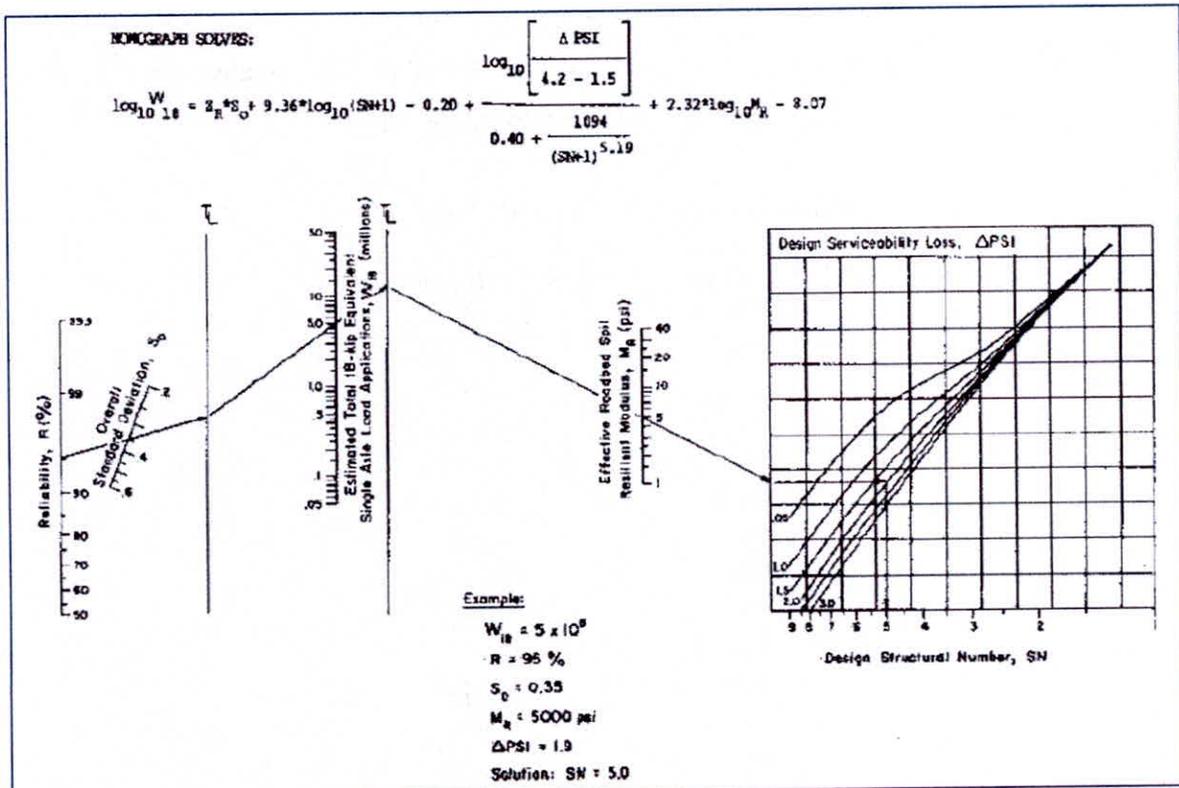


Figura 20: Carta de Diseño de Pavimentos Flexibles AASHTO 1993.

B.3 Factor de confiabilidad, R.

Es una medida que incorpora algún grado de certeza en el proceso de diseño para asegurar que los diferentes parámetros alcancen el período de análisis. El cuadro 33 presenta los niveles recomendados de confiabilidad para diferentes clasificaciones funcionales.

Tabla 33: Niveles sugeridos de confiabilidad, R.

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85-99,9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectores	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

B.4 Desviación Estándar Normal (Z_R).

La desviación estándar normal está en función de la confiabilidad del proyecto, R. En el Cuadro 34 se muestran los valores de desviación estándar correspondiente a diferentes niveles de confiabilidad.

Tabla 34: Desviación estándar, Z_R.

Confiabilidad R, %	Desviación Estándar Normal, Z _R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

B.5 Efectos medioambientales.

El medio ambiente puede afectar el comportamiento del pavimento de diferentes maneras. Las variaciones térmicas y humedad, afectan la resistencia, durabilidad y capacidad de transporte de carga. Otro impacto medioambiental importante es el efecto directo del congelamiento, deshielo y desintegración en la subrasante.

B.6 Pérdida de serviciabilidad.

La serviciabilidad se define como la calidad de servicio del pavimento. La primera medida de la serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad Presente, PSI, que varía de 0 (carretera imposibles de transitar) a 5 (carretera perfecta). El PSI se obtiene midiendo la rugosidad y daño (agrietamiento, parchado y deformación permanente) en un tiempo en particular durante la vida de servicio del pavimento. La rugosidad es el factor dominante para estimar el PSI del pavimento.

La guía AASHTO 93 usa la variación total del índice de serviciabilidad (ΔPSI) como criterio de diseño, que se define como:

$$\Delta\text{PSI} = p_0 - p_t \quad \dots\dots(4)$$

Donde:

p_0 índice de serviciabilidad inicial.

p_t índice de serviciabilidad final, que es el más bajo índice tolerable antes de la rehabilitación.

B.7 Módulo resiliente efectivo del suelo.

Las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante se caracterizan en AASHTO 93 por el módulo resiliente, M_R . El módulo resiliente mide las propiedades elásticas reconociendo sus características no lineales. El módulo resiliente se correlaciona con el CBR, mediante la siguiente ecuación:

$$M_R [\text{psi}] = 1500 \times \text{CBR} \quad \dots(5.a)$$

$$M_R [\text{kPa}] = 10342 \times \text{CBR} \quad \dots(5.b)$$

Esta ecuación es razonable para suelos de gradación fina con CBR menores que 10%.

C. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

El número estructural requerido se convierte a espesores de concreto asfáltico, base y sub base, por medio de coeficientes de capa y utilizando la ecuación (2) de esta sección.

C.1 Coeficientes de capa ai.

Se asigna un coeficiente de capa a cada material de la estructura de pavimento. El coeficiente de capa expresa una relación empírica entre el número estructural, SN, y el espesor.

Concreto asfáltico.- La figura 21 muestra la carta sugerida por AASHTO 93, para definir el coeficiente estructural de concreto asfáltico de gradación densa basado en su módulo elástico (EAC) a 68°F. Este módulo elástico es el Módulo Dinámico Complejo, E^* , obtenido de ensayos cíclicos.

Base.- Las figuras 22, 23 y 24 muestran las cartas utilizadas para definir el coeficiente estructural, a_2 , de base granular, base tratada con asfalto y base tratada con cemento, respectivamente. Toma en cuenta cuatro diferentes ensayos de laboratorio.

Sub base granular.- La figura 25 muestra la carta que puede ser usada para calcular el coeficiente de capa, a_3 , para una sub base granular a partir cuatro diferentes ensayos de laboratorio, incluyendo el módulo resiliente de la sub base ESB.

C.2 Coeficientes de drenaje.

El método AASHTO asume que la resistencia de la subrasante y base permanecerá constante durante la vida de servicio del pavimento. Para que esto

sea cierto, la estructura de pavimento debe tener drenaje apropiado. La calidad de drenaje se incorpora al diseño, modificando los coeficientes de capa. El factor que modifica el coeficiente de capa se representa por m_i . El posible efecto del drenaje en el concreto asfáltico no se considera. El cuadro 35 presenta las definiciones generales correspondientes a los diferentes niveles de drenaje.

Tabla 35: Condiciones de drenaje.

Calidad de drenaje	Retiro de agua dentro de:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	el agua no drena

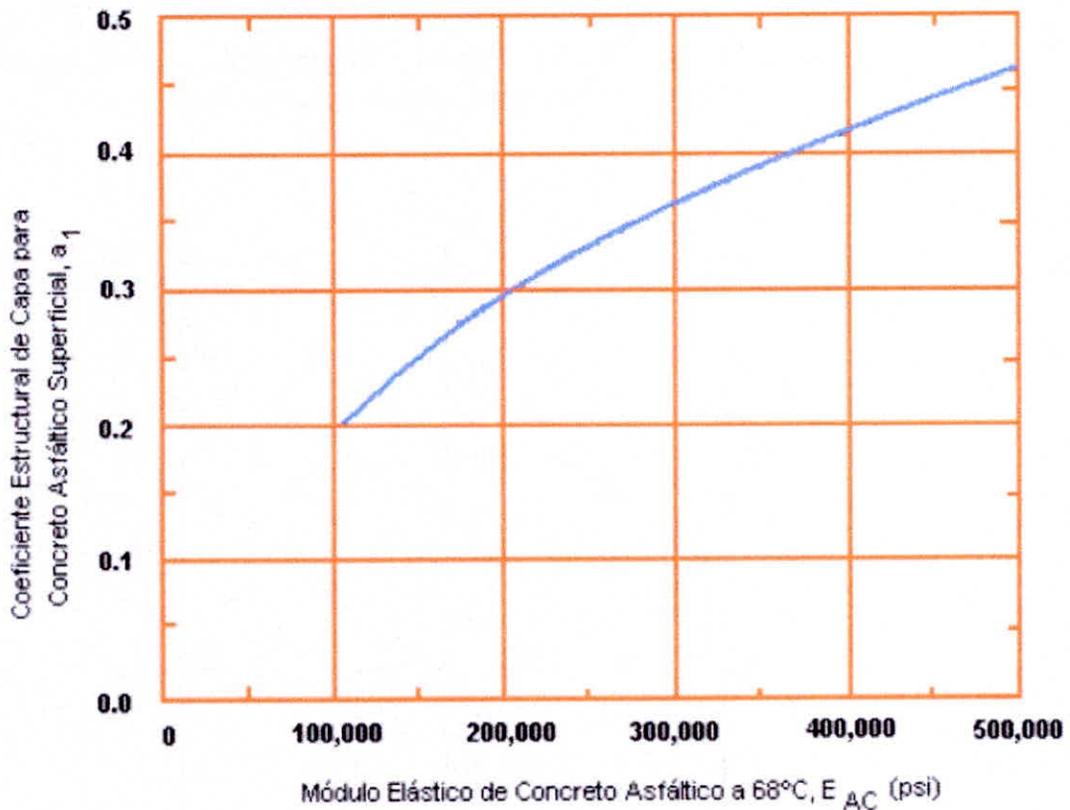


Figura 21: Carta para calcular el coeficiente estructural de Concreto asfáltico de gradación densa.

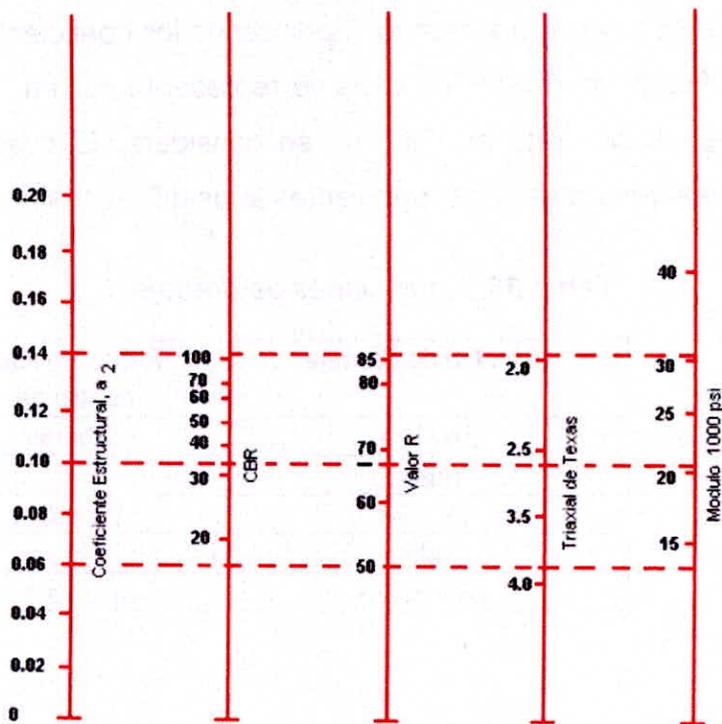
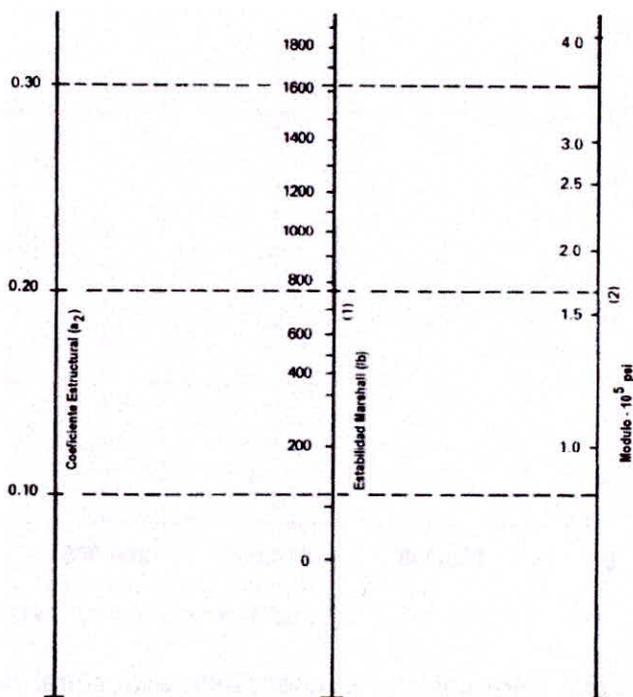
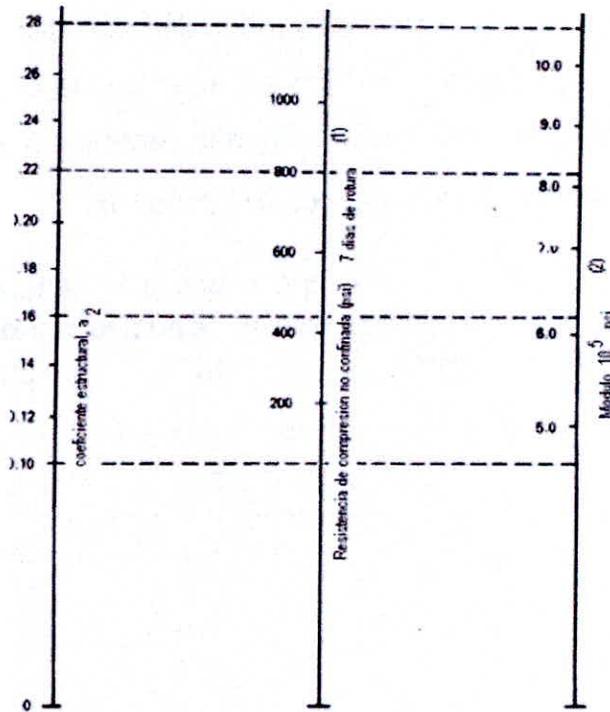


Figura 22: Variación de coeficiente de capa de base granular (a_2) con la variación de los parámetros de resistencia.



(1) Escala derivada de correlaciones obtenidas en Illinois
 (2) Escala derivada de proyectos de la NCHRP [3]

Figura 23: Variación de coeficiente de capa de bases tratadas con asfalto (a_2).



(1) Escala derivada de correlaciones obtenidas en Illinois, Louisiana y Texas

(2) Escala derivada de proyectos de la NCHRP (3)

Figura 24: Variación de coeficiente de capa de bases tratadas con asfalto (a₂).

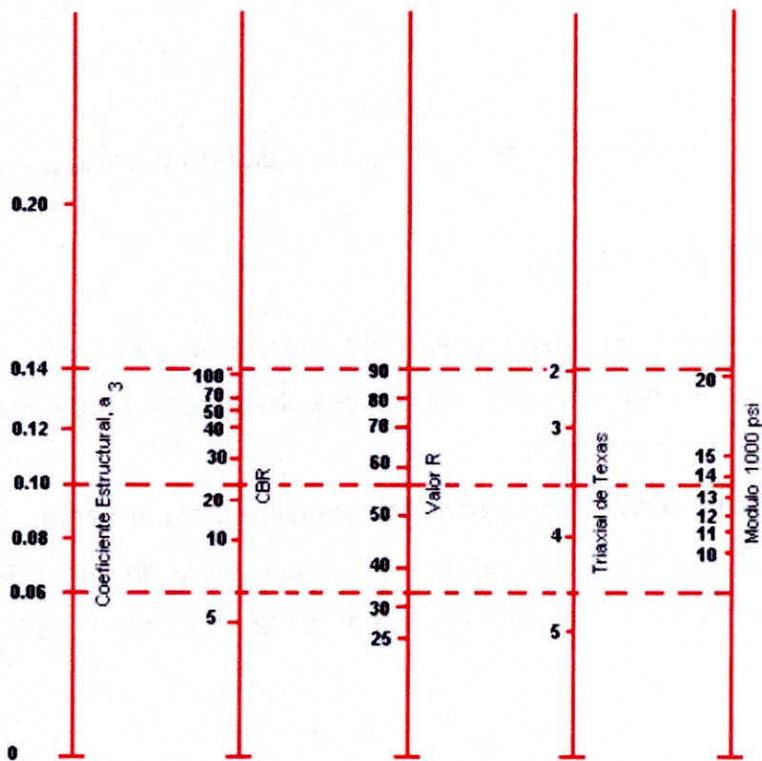


Figura 25: Variación de coeficiente de capa de sub base granular (a₃) con la variación de los parámetros de resistencia.

La Tabla 36 muestra los coeficientes recomendados dependiendo de la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento podría estar expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Tabla 36: Coeficientes de drenaje recomendados, *mi*.

Calidad de drenaje	% de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos que 1%	1-5%	5-25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

2.7. ENSAYOS DE LABORATORIO

2.7.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO MTC E 107.

a. OBJETO.

Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

c. EQUIPOS Y MATERIALES.

EQUIPOS.

- Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).
- Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.

MATERIALES.

Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

Tabla 37: Tamices de malla cuadrada.

Tamices	Abertura (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

Nota: Fuente ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.

Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

d. MUESTRA.

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede

determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

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 el Cuadro 38.

Tabla 38: Proporción de muestra según el tamaño de las partículas.

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

Nota: Fuente ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,76° mm (Nº 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

e. PROCEDIMIENTO.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA.

El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida. Los materiales arenosos que contengan muy

poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.

Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios.

La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.

Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y se pesa.

En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

f. CALCULOS.

Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4):

Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

2.7.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108

a. OBJETO.

Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ *. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

c. EQUIPOS.

- Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:
 - De 0,01 g para muestras de menos de 200 g
 - De 0,1 g para muestras de más de 200 g.

- Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- Otros utensilios.- Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

d. MUESTRA.

Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.

La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.

e. PROCEDIMIENTO.

SELECCION DEL ESPECIMEN DE ENSAYO.

Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).

Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

- Nota 1. Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos del laboratorio. Los números de las tapas deberán ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

- Nota 2. Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores.

- Nota 3. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente

Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza de este ensayo. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

f. CALCULOS.

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

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

- W= es el contenido de humedad, (%).
- M_{CWS} =es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.

- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno en gramos.
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos.
- M_W = es el peso del agua, en gramos.
- M_S = es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

g. PRECISION Y DISPERSION.

Repetibilidad: El coeficiente de variación de un operador simple se encontró en 2,7 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente por el mismo operador con el mismo equipo, no deberían ser considerados con sospecha si difieren en menos del 7,8 % de su media.

Reproducibilidad: El coeficiente de variación Multilaboratorio se encontró en 5,0 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos por diferentes operadores usando equipos diferentes no deberán ser considerados con sospecha a menos que difieran en más del 14,0 % de su media.

2.7.3. ANALISIS GRANOLUMETRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO MTC E 109

a. OBJETO.

El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2,00 mm (Nº 10).

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Este ensayo tiene por finalidad, determinar en laboratorio o en campo, el porcentaje de partículas más finas de un determinado suelo, que pase el tamiz de 74 μm (Nº 200).

c. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.

EQUIPOS.

- Tres (3) balanzas, de sensibilidades 0,01 g; 0,1 g y 1 g.
- Tamices, de 2,0 mm (Nº 10) y de 74 μm (Nº 200).
- Tamizador mecánico.

- Aparato agitador, mecánico o neumático, con su vaso (figuras 26 y 27).
- Hidrómetro. Graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de peso específico que van de 0,995 a 1,038 y estará calibrado para leer 1,00 en agua destilada a 20 °C. Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/L) que van de -5 a +60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00 a 20 °C y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2,65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas (Figura 28).
- Cilindro de vidrio, para sedimentación de unos 457 mm (18") de alto y 63,5 mm (2,5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 mL a 20 °C.
- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5 °C.
- Cronómetro o reloj.
- Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C.

MATERIALES.

- Plancha de calentamiento.
- Utensilios de uso general. Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras y un par de guantes de asbesto o caucho.

REACTIVOS.

Agente dispersante. Una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución.

Las soluciones de esta sal deberán ser preparadas frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9 por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener la fecha de preparación marcada.

Agua. Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para el ensayo con hidrómetro deberá llevarse hasta la temperatura que prevalecerá

durante el ensayo; así, si el cilindro de sedimentación se va a colocar en baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que va a utilizarse se llevará a la temperatura de dicho baño.

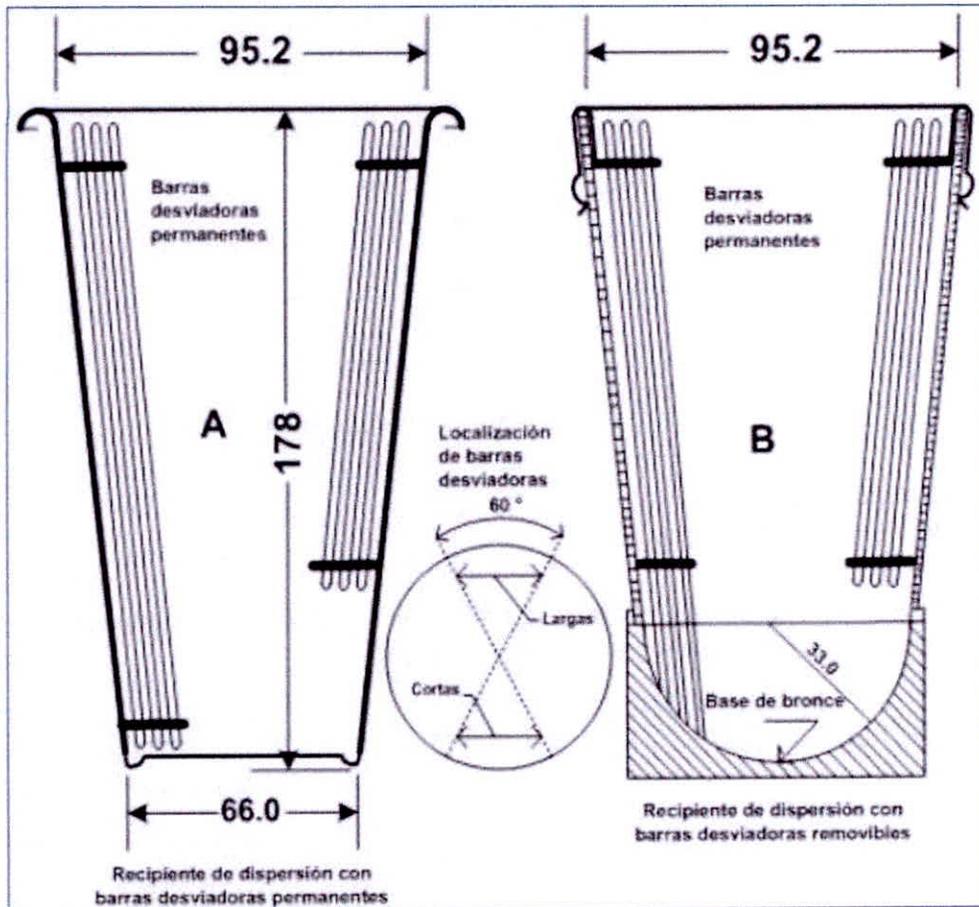


Figura 26: Detalle vaso del Aparato agitador.

Nota: Fuente MTC (2016)

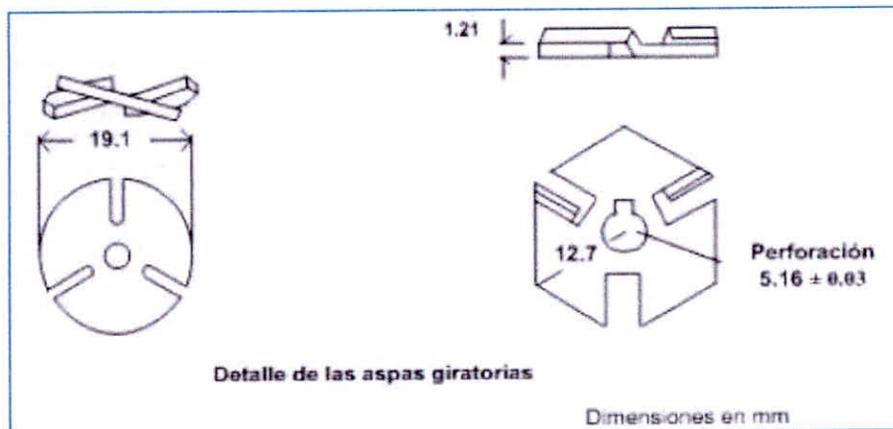


Figura 27: Detalle del Aparato agitador.

Nota: Fuente MTC (2016)

CALIBRACION DEL HIDROMETRO.

El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro (Figura 28). Si se dispone de un hidrómetro tipo 151-H o 152-H, la profundidad efectiva puede ser obtenida del Cuadro 39.

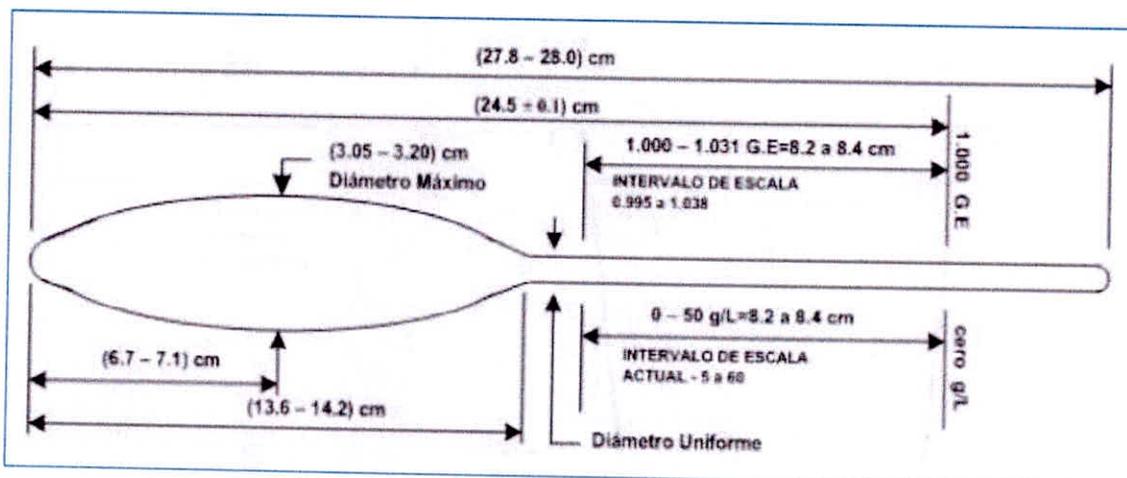


Figura 28: Hidrómetro.

Nota: Fuente MTC (2016)

Tabla 39: Valores de la Profundidad efectiva basados en hidrómetro y cilindro de sedimentación de dimensiones especificadas.

Hidrómetro 151 H			Hidrómetro 152 H		
Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (Cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)
1,000	16,3	0	16,3	-	-
1,001	16,0	1	16,1	31	11,2
1,002	15,8	2	16,0	32	11,1
1,003	15,5	3	15,8	33	10,9
1,004	15,2	4	15,6	34	10,7
1,005	15,0	5	15,5	35	10,6
1,006	14,7	6	15,3	36	10,4
1,007	14,4	7	15,2	37	10,2
1,008	14,2	8	15,0	38	10,1
1,009	13,9	9	14,8	39	9,9
1,010	13,7	10	14,7	40	9,7
1,011	13,4	11	14,5	41	9,6
1,012	13,1	12	14,3	42	9,4
1,013	12,9	13	14,2	43	9,2
1,014	12,6	14	14,0	44	9,1

Nota: Fuente MTC (2016).

Continuación

Hidrómetro 151 H			Hidrómetro 152 H		
Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (Cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)
1,015	12,3	15	13,8	45	8,9
1,016	12,1	16	13,7	46	8,8
1,017	11,8	17	13,5	47	8,6
1,018	11,5	18	13,3	48	8,4
1,019	11,3	19	13,2	49	8,3
1,020	11,0	20	13,0	50	8,1
1,021	10,8	21	12,9	51	7,9
1,022	10,5	22	12,7	52	7,8
1,023	10,2	23	12,5	53	7,6
1,024	10,0	24	12,4	54	7,4
1,025	9,7	25	12,2	55	7,3
1,026	9,4	26	12,0	56	7,1
1,027	9,2	27	11,9	57	7
1,028	8,9	28	11,7	58	6,8
1,029	8,6	29	11,5	59	6,6
1,030	8,4	30	11,4	60	6,5
1,031		8,1		*Lectura del hidrómetro corregida por Menisco	
1,032	7,8				
1,033	7,6				
1,034	7,3				
1,035	7,0				
1,036	6,8				
1,037	6,5				
1,038	6,2				

Nota: Fuente MTC (2016).

d. MUESTRA.

PREPARACION DE LA MUESTRA.

El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a 100 g y para limos y arcillas de 50 a 60 g (peso seco).

El peso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = \frac{\text{Peso del Suelo Humedo}}{1 + \frac{\text{Humedad (w)}}{100}}$$

Donde la humedad (w) se determinara usando un porción de muestra que no vaya a ser ensayada. (Norma MTC E 128).

e. PROCEDIMIENTO.

Anótese en el formato toda la información existente para identificar la muestra, como por ejemplo: obra, número de la muestra y otros datos pertinentes.

Determinése la corrección por defloculante y punto cero, C_d , y la corrección por menisco, C_m , a menos que ya sean conocidas.

Determinése el peso específico de los sólidos, G_s (E 113).

Si el peso secado al horno se va a obtener al principio del ensayo, séquese la muestra al horno, déjese enfriar y péseese con una aproximación de 0,1 g, anótese en el formato el valor obtenido. Colóquese la muestra en una cápsula de 250 mL previamente identificada con un número, agréguese agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Colóquese el agente dispersante en este momento: 125 mL de solución de hexametáfosfato de sodio (40 g/L).

Déjese la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial, y puede ser necesario oxidar la materia orgánica antes del ensayo.

Transfírase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión (figuras 26 y 27), lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada. Agréguese agua al vaso de dispersión si es necesario.

Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 mL. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.

Un minuto antes de comenzar el ensayo, tómese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítese la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme.

Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre una mesa.

- Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introdúzcase lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado

cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.

Obsérvense y anótense las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extráigase cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro graduado con agua limpia. Luego, introdúzcase nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los 5; 15; 30; 60; 120; 250 y 1 440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Inmediatamente después de cada una de estas lecturas, extráigase el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y colóquese en el cilindro graduado con agua limpia.

Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colóquese un termómetro en la suspensión, mídase la temperatura y anótese en la planilla con una aproximación de 0,5 °C. Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados. Las variaciones en la temperatura deben ser minimizadas colocando el cilindro lejos de fuentes de calor tales como hornos, rayos de sol o ventanas abiertas. Una forma conveniente de controlar los efectos de la temperatura, es colocar el cilindro graduado que contiene la suspensión en un baño de agua.

Si el peso de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lávese cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y determínese el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.

CORRECCION DE LAS LECTURAS DEL HIDROMETRO.

Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro deberán ser corregidas por menisco, por temperatura, por defloculante y punto cero.

Corrección por menisco (Cm). Los hidrómetros se calibran para leer correctamente a la altura de la superficie del líquido. La suspensión de suelo no es transparente y no es posible leer directamente a la superficie del líquido; por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del

menisco. La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado, y se determina introduciendo el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua. Valores corrientes de C_m son:

Hidrómetro tipo 151 H: $C_m = 0,6 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$.

Hidrómetro tipo 152 H: $C_m = 1,0 \text{ g/litro}$.

Corrección por temperatura (C_t). A cada una de las lecturas de hidrómetro se debe aplicar también un factor de corrección por temperatura, el cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura. Obténgase el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando el Cuadro 40.

Tabla 40: Valores de C_t para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro.

Temp. C	C_t	
	Hidrómetro graduado en	
	Densidad (gr/cm^3) $\times 10^3$	Concentración (gr/litro)*
10	-1,3	-2,0
11	-1,2	-1,9
12	-1,1	-1,8
13	-1,0	-1,6
14	-0,9	-1,4
15	-0,8	-1,2
16	-0,6	-1,0
17	-0,5	-0,8
18	-0,3	-0,5
19	-0,2	-0,3
20	0,0	0,0
21	0,2	0,3
22	0,4	0,6
23	0,6	0,9
24	0,8	1,3
25	1,0	1,7
26	1,3	2,0
27	1,5	2,4
28	1,8	2,9
29	2,0	3,3
30	2,3	3,7

Nota: Fuente MTC (2016).

Corrección por agente de dispersión y por desplazamiento del punto cero (Cd).

- Los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y se adhieren de tal forma que suelen precipitarse juntos. Por lo tanto, es necesario añadir a las muestras un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo. Los agentes defloculantes siguientes han sido utilizados satisfactoriamente para la mayoría de los suelos:
- La adición de un agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado. Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base, que generalmente es 20 °C, existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por este factor.
- La corrección por defloculante se determina generalmente en conjunto con la corrección por punto cero; por ello se les denomina "corrección por defloculante y punto cero".
- El procedimiento para determinar la corrección por defloculante y punto cero consistirá en los pasos siguientes:

Se selecciona un cilindro graduado de 1000 mL de capacidad y se llena con agua destilada o desmineralizada con una cantidad de defloculante igual a la que se empleará en el ensayo. Si en el ensayo no se va a utilizar defloculante, llénese el cilindro sólo con agua destilada o desmineralizada. En este caso la corrección será solamente por punto cero. Realícese, en la parte superior del menisco, la lectura del hidrómetro e introdúzcase a continuación un termómetro para medir la temperatura de la solución. Calcúlese la corrección por defloculante y punto cero (Cd) mediante la fórmula:

$$Cd = t' + Cm \pm Ct$$

Donde:

t' = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente.

Cm = Corrección por menisco.

Ct = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente.

f. CALCULOS.

Lectura de hidrómetro corregida. Calcúlense las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco Cm, o sea:

$$R = R' + C_m$$

Cálculo del diámetro de las partículas (D). Determinése el diámetro de las partículas correspondientes a cada lectura de hidrómetro empleando el nomograma de la Figura 30. En este nomograma, la escala (R) correspondiente a las profundidades efectivas (L) (Cuadro 39), se elaborará empleando la curva de calibración correspondiente al hidrómetro que se va a emplear en el ensayo (Figura 29). La secuencia de los pasos a seguir para calcular el diámetro de las partículas (D) mediante el nomograma de la Figura 30, se indica esquemáticamente en la parte inferior derecha de dicha figura.

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se puede calcular también con la fórmula siguiente:

$$D(mm) = K \sqrt{\left(\frac{L}{t}\right)}$$

Donde:

L = Profundidad efectiva en cm

t = Tiempo transcurrido en min.

$$K = \sqrt{\frac{30 \times \mu / g}{\tau_s - \tau_w}}$$

Donde:

g = Aceleración gravitacional = 980,7 cm/s²

μ = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises.

τ_s = Peso unitario de los sólidos del suelo en gr/cm³

τ_w = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T, en g/cm³.

Los valores de K están tabulados en la Tabla 41, en función del peso específico y la temperatura.

Cálculo del porcentaje más fino. Para calcular el porcentaje de partículas de diámetro más fino que el correspondiente a una lectura de hidrómetro dada, utilice las fórmulas siguientes:

Para hidrómetros 151 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{100}{W_o} \times (R - C_d \pm C_t)$$

Para hidrómetros 152 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{100 \times a}{W_o} \times (R - C_d \pm C_t)$$

Donde:

- G_s = Peso específico de los sólidos (modo operativo MTC E 205).
- W_o = Peso de la muestra de suelo secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro.
- $(R - C_d + C_t)$ = Lectura de hidrómetro corregida por menisco menos corrección por defloculante y punto cero, más (sumada algebraicamente) corrección por temperatura.
- a = Factor de corrección por peso específico.

Anótese todos los valores obtenidos en su planilla. El factor C_t puede ser positivo o negativo dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar la lectura. Úsese la fórmula $(R - C_d + C_t)$ dependiendo si C_t es positivo o negativo.

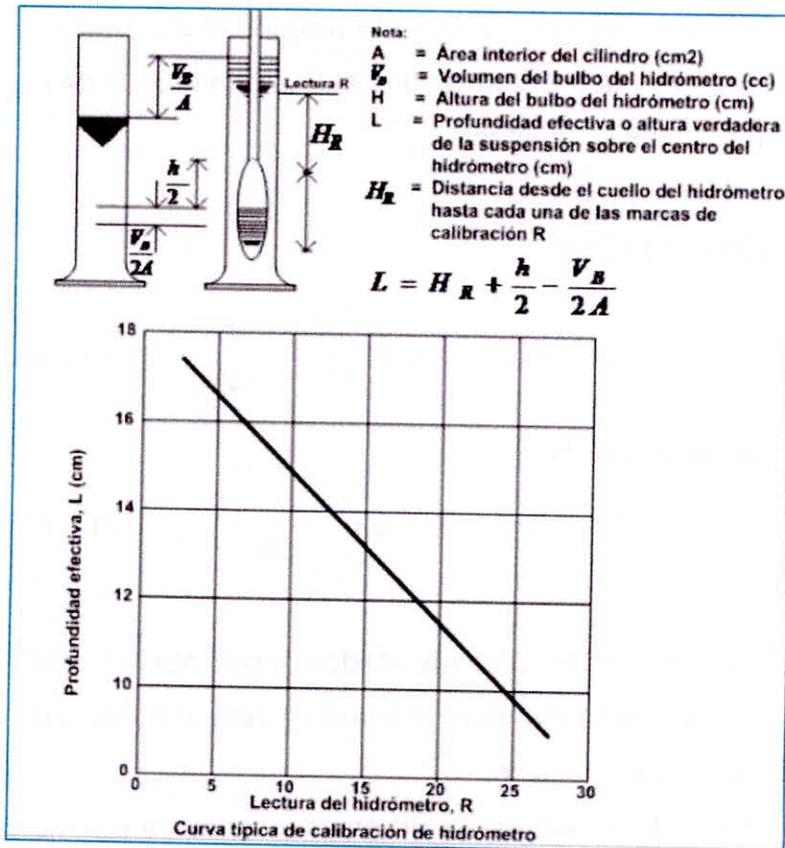


Figura 29: Determinación de la profundidad efectiva de la suspensión sobre el centro del bulbo del hidrómetro.
 Nota: Fuente MTC (2016).

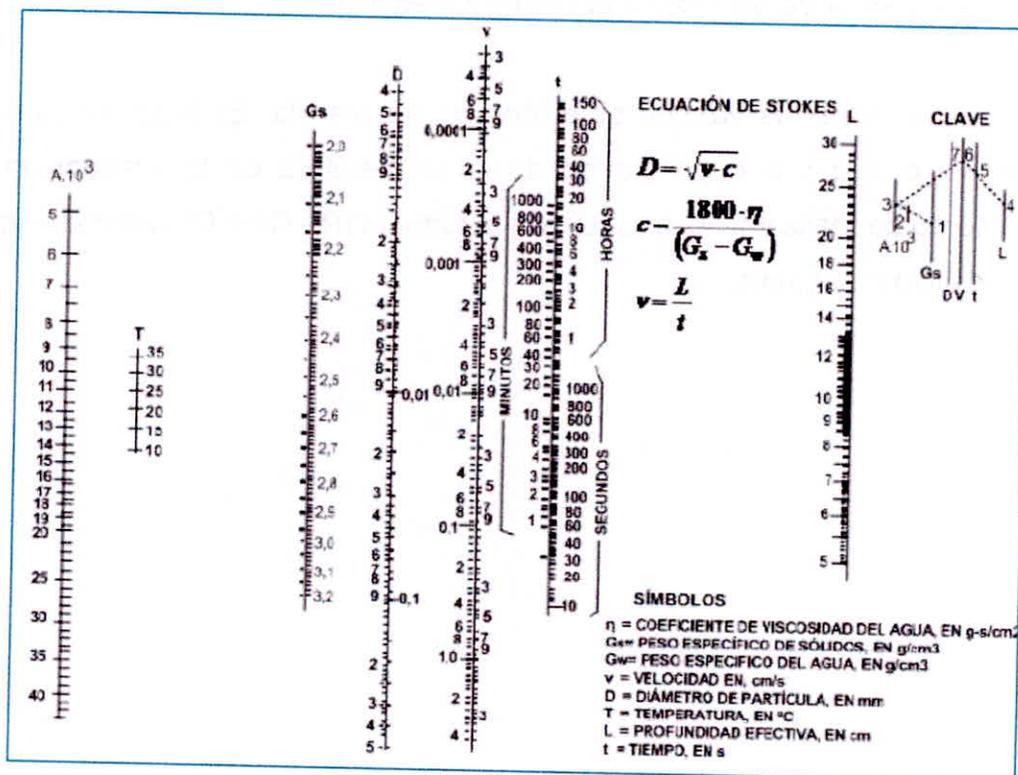


Figura 30: Nomograma para el cálculo del diámetro de partículas.
 Nota: Fuente MTC (2016).

Tabla 41: Valores de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico.

Tem	Peso específico de las partículas del suelo								
	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85
10	0,01659	0,01631	0,01604	0,1583	0,1555	0,01532	0,01510	0,01488	0,01468
11	0,01636	0,01608	0,01582	0,01557	0,01533	0,01511	0,01489	0,01468	0,01448
12	0,01613	0,01586	0,01560	0,01535	0,01512	0,01490	0,01468	0,01448	0,01428
13	0,01591	0,01565	0,01539	0,01515	0,01492	0,01470	0,01449	0,01428	0,01409
14	0,01571	0,01544	0,01519	0,01495	0,01474	0,01451	0,01430	0,01410	0,01391
15	0,01551	0,01525	0,01500	0,01476	0,01454	0,01432	0,01412	0,01392	0,01373
16	0,01530	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356
17	0,01521	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321
19	0,01437	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323	0,01305
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01219	0,01201
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188
28	0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01175
29	0,01312	0,01290	0,01269	0,01249	0,01230	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149

Nota: Fuente MTC (2016).

2.7.4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS MTC E 110

a. OBJETO.

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal

como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los límites líquidos y plástico de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad.

c. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS.

EQUIPOS.

- Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm ($4\frac{1}{2}$ ") de diámetro aproximadamente.
- Aparato del límite líquido (o de Casagrande).
 - De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.
- Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en la figura 1.
- Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de $10,00 \pm 0,2$ mm ($0,394 \pm 0,008$ ") de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ para secar la muestra.

MATERIALES

- Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3"– 4") de longitud y 20 mm ($\frac{3}{4}$ ") de ancho aproximadamente.

INSUMOS

- Pureza del agua: Cuando este método de ensayo sea referida agua destilada, puede emplearse agua destilada o agua desmineralizada.

d. MUESTRA

Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425 μm (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

e. PROCEDIMIENTO

Multipunto

Se coloca una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.

Utilizando el acanalador, se divide la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.

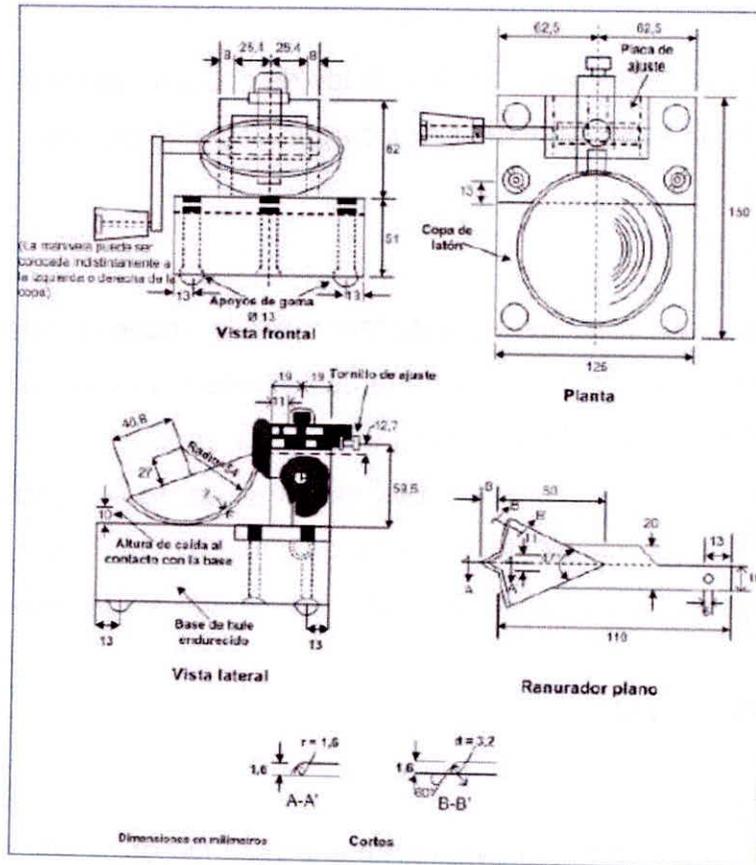


Figura 31: Aparato manual para límite líquido.

Nota: Fuente MTC (2016).

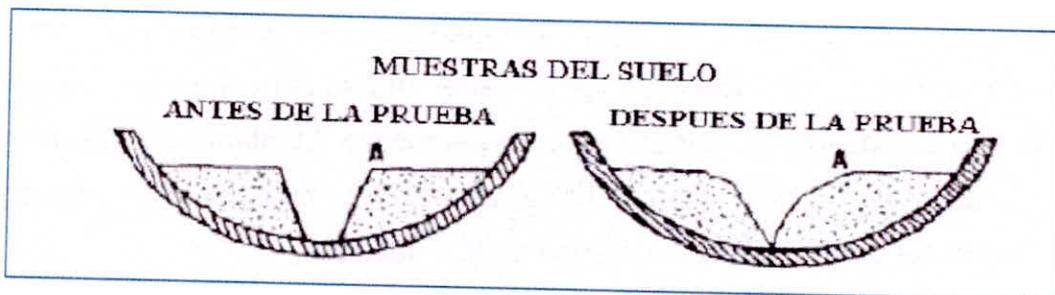


Figura 32: Muestras del suelo en la copa Casagrande.

Nota: Fuente MTC (2016).

Se verifica que no existan restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).

Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.

Se mezcla nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir todo el procedimiento ya mencionado anteriormente para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.

Se procede a determinar el contenido de humedad, W_n , del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción.

f. CALCULOS

Multipunto.

Se representa la relación entre el contenido de humedad, W_n , y el número de golpes correspondientes, N , de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados

Se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

2.7.5. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P) MTC E 111

a. OBJETO.

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los plásticos de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad.

c. EQUIPOS.

- Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.
- Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C.
- Tamiz, de 426 μm (N° 40).
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

d. MUESTRA.

Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 μm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

e. PROCEDIMIENTO.

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

- El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.

Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado anteriormente.

f. CALCULOS.

Se calcula el promedio de dos contenidos de humedad. Posteriormente se repite el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 42 para la precisión de un operador.

Tabla 42: Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple Límite Plástico	0,9	2,6
Precisión Multilaboratorio Límite Plástico	3,7	10,6

Nota: Fuente N.T.P 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

CALCULOS DE INDICE DE PLASTICIDAD.

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L= Límite Líquido

L.P= Límite Plástico.

L.L y L.P., Son números enteros.

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

2.7.6. METODO DE ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA MTC E 113

a. OBJETO.

Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de sólidos de suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) mediante un picnómetro de agua. Cuando el suelo contiene partículas más grandes que la malla de 4,75 mm, el Método de Ensayo MTC E 206 podrá ser usado para los sólidos de suelo retenidos en el tamiz de 4,75 mm y este método de ensayo podrá ser usado para los sólidos de suelo que pasen el tamiz de 4,75 mm.

Los sólidos de suelo para estos métodos de ensayo no incluyen sólidos los cuales puedan ser alterados por estos métodos, contaminados con una sustancia que prohíba el uso de estos métodos, o que son sólidos de suelo altamente orgánicos, tales como materias fibrosas flotando en el agua.

Dos métodos para la determinación de la gravedad específica son provistos. El método a ser usado podrá ser especificado por la autoridad pertinente, excepto cuando se trate del ensayo de los tipos de sólido listados en el Método A.

Método A – Procedimiento para especímenes húmedos. Este procedimiento es el método preferido. Para sólidos orgánicos; altamente plásticos, sólidos de granulometría fina; sólidos tropicales; y sólidos que contengan halloysite, el Método A podrá ser usado.

Método B – Procedimiento para especímenes secados al horno.

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

La gravedad específica de los sólidos de suelo es usado en el cálculo de las relaciones de fase de suelos, tales como relación de vacíos y grado de saturación.

La gravedad específica de sólidos de suelo es usado para calcular la densidad de los sólidos de suelo. Esto se logra multiplicando su gravedad específica por la densidad de agua (a una temperatura apropiada)

El término de sólidos de suelo es típicamente asumido a representar partículas minerales formadas naturalmente o suelo como partículas que no son solubles rápidamente en el agua. Por lo tanto, la gravedad específica de sólidos de suelo conteniendo material extraño, tal como cemento, limo, y como un material soluble en el agua, tal como cloruro de sodio, y suelos conteniendo material con una gravedad específica menor que el de él, típicamente requiere de un tratamiento especial o una definición calificada de su gravedad específica.

Unidades – Los valores indicados en el SI son los considerados como estándar. No se incluyen otros sistemas de unidades en estos métodos de ensayo.

c. REFERENCIAS NORMATIVAS

NTP 339.131 SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo.

d. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

EQUIPOS

Picnómetro – El agua del picnómetro podrá estar ya sea en un matraz taponado, matraz de yodo taponado, o un matraz volumétrico con una capacidad mínima de 250 mL, el volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces más grande que el volumen de la mezcla suelo-agua usada durante el desairado de la porción del ensayo.

Balanza – Que cumpla los requerimientos de la especificación D 4753, clase GP1. Esta balanza tiene una precisión de lectura de 0,01g y una capacidad de al menos 2000 g.

Horno de Secado – Un horno termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ en toda la cámara de secado. Estos requerimientos usualmente necesitan el uso de un horno a presión de aire.

Secador – Una cabina secadora o una jarra secadora grande de tamaño apropiado conteniendo sílica gel o sulfato de calcio anhídrido.

Aparato para remover el aire entrampado – Para remover el aire entrampado (proceso de desairado), use uno de los siguientes:

a) Plato para calentar o un Mechero Bunsen, capaz de mantener una temperatura adecuada para hervir el agua.

b) Sistema de vacío – una bomba de vacío o aspirador de agua, capaz de producir un vacío parcial de 100mm de mercurio (Hg) o una menor presión absoluta.

Contenedor aislado – Un refrigerador de Styrofoam y su cubierta o un contenedor equivalente que pueda tener entre tres y seis picnómetros además de un vaso picudo, una botella de agua, y un termómetro. Esto es requerido para mantener una temperatura ambiente controlada donde los cambios serán uniformes y graduales.

MATERIALES

Termómetro – Un termómetro capaz de medir un rango de temperatura dentro del cual el ensayo está siendo realizado, legible con una aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$ y una profundidad de inmersión que varíe entre los 25 y 80 mm. Ya sea un termómetro de mercurio o un termómetro digital con un rango de -1 a 57°C cumplirán los propósitos generales de precisión requeridos.

Embudo – Un embudo de superficie lisa no corrosiva con un pico que se extienda pasando la marca de calibración del matraz volumétrico o un tapón de cierre en los matraces taponados.

Tamiz – N° 4 (4,75m) conforme a los requerimientos de la especificación E 11.

REACTIVOS

Pureza del agua – Agua destilada es usada en este método de ensayo. Esta agua puede ser comprada y está disponible en la mayoría de las tiendas de abarrotes; de aquí en adelante, el agua destilada será referida solo como agua.

MUESTRA

El espécimen de ensayo puede ser suelo húmedo o secado al horno y podrá ser representativo de los sólidos de suelo que pasen la malla U.S. Estándar N° 4 en el total de la muestra. El cuadro 43 da guías en cuanto a masas de suelo seco versus tipo de suelo y tamaño de picnómetro.

Tabla 43: Masa redondeada para el espécimen de ensayo.

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

Nota: Fuente MTC (2016).

e. PROCEDIMIENTO

PREPARACION DEL ENSAYO

Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con una aproximación de 0,01g (típicamente 5 dígitos significantes). Repita esta determinación cinco veces. Una balanza debería ser usada para todas las mediciones de masa. Determinar y registrar el promedio y la desviación estándar. La desviación estándar podrá ser menor o igual que 0,02g. Si es mayor, probar con mediciones adicionales o usar una balanza más estable o precisa.

Llenar el picnómetro con agua desairada por encima o debajo de la marca de calibración dependiendo del tipo de picnómetro y la preferencia del laboratorio para añadir o remover agua.

Se recomienda que el agua sea removida para llevar el nivel de agua a la marca de calibración.

El método de remoción reduce los cambios de alteración del equilibrio termal por reducción del número de veces que el contenedor aislado es abierto.

El agua debe estar desairada para asegurar que no hayan burbujas de aire en el agua. El agua puede ser desairada ya sea mediante ebullición, vacío, combinación de vacío y calentamiento, o un mecanismo de desairado. Esta agua desairada no debería ser usada hasta que se haya equilibrado la temperatura del cuarto.

Más de seis picnómetros pueden ser calibrados concurrentemente en cada contenedor aislado.

Poner el picnómetro(s) dentro del contenedor aislado y cubierto junto con el termómetro (en un vaso picudo de agua), tapón(es) (si un picnómetro taponado está siendo usado), y agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta. Dejar el picnómetro(s) llegar al equilibrio termal (por al menos 3 horas). La temperatura de equilibrio debería estar dentro de 4°C de la temperatura del cuarto y entre 15 y 30°C.

Mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abrir el contenedor y remover un picnómetro. Solo la corona del picnómetro podrá ser tocada para prevenir el calentamiento por manipuleo cambiando el equilibrio termal. Trabajar ya sea en el contenedor o colocar el picnómetro en un bloque aislado (Styrofoam) mientras se realice los ajustes en el nivel del agua.

Si se usa un matraz volumétrico como picnómetro, ajustar el agua a la marca de calibración, con la parte inferior del nivel de los meniscos en la marca. Si el agua tiene que ser añadida usar el agua termalmente equilibrada del contenedor aislado. Si el agua tiene que ser removida, usar un pequeño tubo de succión o una tolla de papel. Revisar y remover cualquier glóbulo de agua en el alma del picnómetro o en el exterior del matraz. Medir y registrar la masa del picnómetro y agua con una aproximación al 0,01g.

Si un matraz taponado es usado, colocar el tapón en la botella, entonces remover el exceso de agua usando un gotero. Secar la punta o corona usando una toalla de papel. Estar seguro de que el exterior del matraz está seco por completo. Medir y registrar la masa del picnómetro y el agua con una aproximación al 0,01g.

Medir y registrar la temperatura del agua con una aproximación de 0,1°C usando el termómetro que ha estado equilibrado termalmente en el contenedor aislado. Inserte el termómetro a una profundidad de inmersión apropiada. Regresar el picnómetro al contenedor aislado.

Repetir las mediciones para todos los picnómetros en el contenedor.

Reajustar el nivel de agua en cada picnómetro para preparar la siguiente calibración y dejar que los picnómetros se equilibren termalmente (por al menos 3 horas). Repetir el procedimiento para obtener cinco mediciones independientes

en cada picnómetro. Las temperaturas no necesitan ajustarse a ningún rango de temperatura en particular.

Usando cada uno de estos cinco puntos de dato, calcular el volumen calibrado de cada picnómetro, V_p , usando la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{(M_{pw,c} - M_p)}{\rho_{w,c}} \dots (1)$$

Donde:

$M_{pw,c}$ = la masa del picnómetro y agua a la temperatura de calibración, g,

M_p = la masa promedio del picnómetro a la calibración, g, y

$\rho_{w,c}$ = la densidad de masa del agua a la temperatura de calibración g/mL,
(Cuadro 44)

Calcular el promedio y la desviación estándar de los cinco volúmenes determinados. La desviación estándar podrá ser menor o igual a 0,05 mL (redondeado a 2 decimales). Si la desviación estándar es mayor que 0,05 mL, el procedimiento de calibración tiene mucha variabilidad y no guiará a determinaciones de peso específico precisas. Evaluar áreas de posible refinamiento (ajustar el volumen con la marca de calibración, lograr un mejor equilibrio de temperatura, medición de la temperatura, método de desairado o cambiar los matraces taponados) y revisar el procedimiento hasta que la desviación estándar sea menor o igual que 0,05 mL.

PROCEDIMIENTO OPERATORIO

Masa del picnómetro – Usando la misma balanza usada para calibrar el picnómetro, verificar que la masa del picnómetro está entre 0,06 g de la masa promedio calibrada. Si no lo está, re calibrar la masa seca del picnómetro.

Método A – Procedimiento para especímenes húmedos:

Determinar el contenido de agua de una porción de muestra de acuerdo con el Método de ensayo D 2216. Usando este contenido de agua, calcular el rango de masas húmedas para el peso específico del espécimen. De la muestra, obtener

un espécimen dentro de este rango. No muestrear para obtener una masa exacta predeterminada.

Disperse el suelo usando un mezclador o mecanismo equivalente para dispersar el suelo. Añadir al suelo alrededor de 100 mL de agua. El volumen mínimo de pasta aguada que puede ser preparado para este equipamiento requerirá típicamente el uso de un picnómetro de 500 mL.

Usando el embudo, verter la pasta aguada en el picnómetro. Enjuagar cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del picnómetro usando un spray de lavado en una botella a presión.

Proceder como con la preparación de la pasta aguada del suelo.

Tabla 44: Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para Varias Temperaturas.

Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^a	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^a	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^a	Coeficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^a	Coeficiente Temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074	17,0	0,99878	1,00057	18,0	0,99860	1,00039
15,1	0,99909	1,00088	16,1	0,99893	1,00072	17,1	0,99876	1,00055	18,1	0,99858	1,00037
15,2	0,99907	1,00087	16,2	0,99891	1,00071	17,2	0,99874	1,00054	18,2	0,99856	1,00035
15,3	0,99906	1,00085	16,3	0,99890	1,00069	17,3	0,99872	1,00052	18,3	0,99854	1,00034
15,4	0,99904	1,00084	16,4	0,99888	1,00067	17,4	0,99871	1,00050	18,4	0,99852	1,00032
15,5	0,99902	1,00082	16,5	0,99886	1,00066	17,5	0,99869	1,00048	18,5	0,99850	1,00030
15,6	0,99901	1,00080	16,6	0,99885	1,00064	17,6	0,99867	1,00047	18,6	0,99848	1,00028
15,7	0,99899	1,00079	16,7	0,99883	1,00062	17,7	0,99865	1,00045	18,7	0,99847	1,00026
15,8	0,99898	1,00077	16,8	0,99881	1,00061	17,8	0,99863	1,00043	18,8	0,99845	1,00024
15,9	0,99896	1,00076	16,9	0,99879	1,00059	17,9	0,99862	1,00041	18,9	0,99843	1,00022
19,0	0,99841	1,00020	20,0	0,99821	1,00000	21,0	0,99799	0,99979	22,0	0,99777	0,99957
19,1	0,99839	1,00018	20,1	0,99819	0,99998	21,1	0,99797	0,99977	22,1	0,99775	0,99954
19,2	0,99837	1,00016	20,2	0,99816	0,99996	21,2	0,99795	0,99974	22,2	0,99773	0,99952
19,3	0,99835	1,00014	20,3	0,99814	0,99994	21,3	0,99793	0,99972	22,3	0,99770	0,99950
19,4	0,99833	1,00012	20,4	0,99812	0,99992	21,4	0,99791	0,99970	22,4	0,99768	0,99947
19,5	0,99831	1,00010	20,5	0,99810	0,99990	21,5	0,99789	0,99968	22,5	0,99766	0,99945
19,6	0,99829	1,00008	20,6	0,99808	0,99987	21,6	0,99786	0,99966	22,6	0,99764	0,99943
19,7	0,99827	1,00006	20,7	0,99806	0,99985	21,7	0,99784	0,99963	22,7	0,99761	0,99940
19,8	0,99825	1,00004	20,8	0,99804	0,99983	21,8	0,99782	0,99961	22,8	0,99759	0,99938
19,9	0,99823	1,00002	20,9	0,99802	0,99981	21,9	0,99780	0,99959	22,9	0,99756	0,99936
23,0	0,99754	0,99933	24,0	0,99730	0,99909	25,0	0,99705	0,99884	26,0	0,99679	0,99858
23,1	0,99752	0,99931	24,1	0,99727	0,99907	25,1	0,99702	0,99881	26,1	0,99676	0,99855
23,2	0,99749	0,99929	24,2	0,99725	0,99904	25,2	0,99700	0,99879	26,2	0,99673	0,99852
23,3	0,99747	0,99926	24,3	0,99723	0,99902	25,3	0,99697	0,99876	26,3	0,99671	0,99850
23,4	0,99745	0,99924	24,4	0,99720	0,99899	25,4	0,99694	0,99874	26,4	0,99668	0,99847
23,5	0,99742	0,99921	24,5	0,99717	0,99897	25,5	0,99692	0,99871	26,5	0,99665	0,99844
23,6	0,99740	0,99919	24,6	0,99715	0,99894	25,6	0,99689	0,99868	26,6	0,99663	0,99842
23,7	0,99737	0,99917	24,7	0,99712	0,99892	25,7	0,99687	0,99866	26,7	0,99660	0,99839
23,8	0,99735	0,99914	24,8	0,99710	0,99889	25,8	0,99684	0,99863	26,8	0,99657	0,99836
23,9	0,99732	0,99912	24,9	0,99707	0,99887	25,9	0,99681	0,99860	26,9	0,99654	0,99833
27,0	0,99652	0,99831	28,0	0,99624	0,99803	29,0	0,99595	0,99774	30,0	0,99565	0,99744
27,1	0,99649	0,99828	28,1	0,99621	0,99800	29,1	0,99592	0,99771	30,1	0,99562	0,99741
27,2	0,99646	0,99825	28,2	0,99618	0,99797	29,2	0,99589	0,99768	30,2	0,99559	0,99738
27,3	0,99643	0,99822	28,3	0,99615	0,99794	29,3	0,99586	0,99765	30,3	0,99556	0,99735
27,4	0,99641	0,99820	28,4	0,99612	0,99791	29,4	0,99583	0,99762	30,4	0,99553	0,99732
27,5	0,99638	0,99817	28,5	0,99609	0,99788	29,5	0,99580	0,99759	30,5	0,99550	0,99729
27,6	0,99635	0,99814	28,6	0,99607	0,99785	29,6	0,99577	0,99756	30,6	0,99547	0,99726
27,7	0,99632	0,99811	28,7	0,99604	0,99783	29,7	0,99574	0,99753	30,7	0,99544	0,99723
27,8	0,99629	0,99808	28,8	0,99601	0,99780	29,8	0,99571	0,99750	30,8	0,99541	0,99720
27,9	0,99627	0,99806	28,9	0,99598	0,99777	29,9	0,99568	0,99747	30,9	0,99538	0,99716

Nota: Fuente MTC (2016).

Método B – Procedimiento para especímenes secados al horno:

Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndose a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. Desmenuzar algunos terrones de suelo usando un mortero y mano. Si el suelo no se dispersara fácilmente después del secado o ha cambiado su composición,

Colocar el embudo en el picnómetro. El pico del embudo debe extenderse pasando la marca de calibración o sello del tapón. Vierta directamente los sólidos de suelo en el embudo. Enjuagar cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del picnómetro usando un spray de lavado en una botella a presión.

Preparando la pasta aguada de suelo – Añada agua hasta que el nivel del agua esté entre $1/3$ y $1/2$ de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro. Agite el agua hasta que la pasta aguada se forme. Enjuagar cualquier suelo adherido al picnómetro en la pasta.

Si la pasta aguada no está formada pero si una pasta viscosa, use un picnómetro teniendo un volumen mayor.

Desairando la pasta aguada de suelo – El aire entrampado en la pasta de aguada de suelo puede ser removido usando ya sea calor (ebullición), vacío o calor y vacío combinados.

Cuando se usa solo el calor (ebullición), use una duración de lámenos 2 horas después de que la mezcla suelo – agua llegue a hervir completamente. Use solo suficiente calor para lograr que la pasta aguada hierva. Agite la pasta aguada como una necesidad de prevenir que alguna partícula de suelo esté pegada o secada en el vidrio por encima de la superficie de la pasta aguada.

Llenado del picnómetro con agua – llene el picnómetro con agua desairada introduciendo el agua a través de una pieza de tubo de diámetro pequeño con su extremo puesto justo debajo de la superficie de la pasta aguada en el picnómetro o usando el tubo de llenado del picnómetro. Si el tubo de llenado del picnómetro es usado, llene el tubo con agua, y cierre la válvula, coloque el tubo tal que los hoyos de drenaje estén justo en la superficie de la pasta aguada.

Abrir la válvula ligeramente para permitir que el agua fluya sobre la superficie de la pasta aguada.

Al desarrollarse la capa de agua limpia, subir el tubo e incrementar la velocidad de flujo. Si el agua añadida se torna nublosa, no añada agua sobre la marca de calibración o en el área del sello del tapón. Añada el agua remanente el siguiente día.

Si el calor ha sido usado, deje el espécimen enfriar hasta aproximadamente la temperatura del cuarto.

Equilibrio termal – Ponga el picnómetro(s) en el contenedor aislado. El termómetro (en un vaso picudo de agua), y algo de agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta que debería también ser colocada en el contenedor aislado. Deje este ítem en el contenedor cerrado toda la noche para lograr el equilibrio termal.

Determinación de la masa del picnómetro – Si el contenedor aislado no está posicionado cerca de una balanza, mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abra el contenedor y saque el picnómetro. Solo toque la punta o la corona del picnómetro porque el calor de las manos puede cambiar el equilibrio termal. Coloque el picnómetro en un bloque aislado (Styrofoam o un equivalente).

Determinación de la temperatura del picnómetro – Mida y registre la temperatura de la mezcla pastosa aguada de suelo agua con una aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$ usando el termómetro y el método usado durante la calibración en 6.1.5. Esta es la temperatura de ensayo, T_t .

Masa del suelo seco – determine la masa de una tara o paltillo con una aproximación de $0,01\text{g}$. Transfiera el suelo pastoso aguado a la tara o paltillo. Es imperativo que todo el suelo sea transferido. El agua puede ser añadida. Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndolo a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y enfriarlo en un secador. Si la tara puede ser sellada de manera que el suelo no pueda absorber humedad durante el enfriamiento, un secador no será necesario. Mida la masa seca de los sólidos de suelo con la tara con una aproximación de

0,01 g usando la balanza designada, calcule y registre la masa de los sólidos de suelo secos con una aproximación de 0,01 g.

f. CALCULOS

Calcule la masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo como sigue:

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t}) \dots (2)$$

Donde:

$M_{pw,t}$ = masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (Tt), g,

M_p = masa promedio calibrada del picnómetro seco, g,

V_p = el volumen promedio calibrado del picnómetro, mL, y

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), g/mL del Cuadro 44.

Calcule el peso específico de los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, G_t como sigue:

$$G_t = \frac{\rho_t}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - M_{pws,t})} \dots (3)$$

Donde:

ρ_s = La densidad del sólidos de suelo Mg/m³ o g/cm³,

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), de la Tabla 2, g/mL o g/cm³.

M_s = la masa de los sólidos de suelo secadas al horno (g), y

$M_{pws,t}$ = la masa del picnómetro, agua, y sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, (Tt), g.

Calcule la gravedad específica de los sólidos de suelo a la a 20°C como sigue:

$$G_{20^\circ C} = K * G_t \dots (4)$$

Donde: K = el coeficiente de temperatura dado en el cuadro 44.

2.7.7. COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) MTC E 115

a. OBJETO.

Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)).

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)).

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (³/₄" pulg).

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

METODO "A"

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

METODO "B"

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm (³/₈ pulg).

- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Uso: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

METODO "C"

- Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253.

Los valores de las unidades del SI son reconocidos como estándar. Los valores establecidos por las unidades de pulgadas-libras son proporcionados sólo como información.

El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la

construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

c. EQUIPOS Y MATERIALES.

EQUIPOS.

- Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indicaran en c.1 y c.2 de este ensayo y Figuras 33 y 34. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo "partido" deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo "ahusado" debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 16,7 mm/m (0,200 pulg/pie) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 50,8 mm (2,0 pulg) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 19,0 mm (0,75 pulg), por debajo de ésta.
- El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.
 - c.1.-Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $101,6 \pm 0,4$ mm ($4,000 \pm 0,016$ pulg de diámetro interior, una altura de $116,4 \pm 0,5$ mm ($4,584 \pm 0,018$ pulg) y un volumen de 94 ± 14 cm³ ($0,0333 \pm 0,0005$ pie³). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrado en la Fig. 33.
 - c.2.-Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $152,4 \pm 0,7$ mm ($6,000 \pm 0,026$ pulg) de diámetro interior, una altura de: $116,4 \pm 0,5$ mm ($4,584 \pm 0,018$ pulg) y un volumen de $2\ 124 \pm 25$ cm³ ($0,075 \pm 0,0009$ pie³). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrando en Fig. 34.
- Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente como el descrito en c.3. de este ensayo El pisón debe caer libremente a una distancia de $457,2 \pm 1,6$ mm

($18 \pm 0,05$ pulg) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será $4,54 \pm 0,01$ kg ($10 \pm 0,02$ lb-m).

- c.3.-Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de $19,0 \pm 1,6$ mm ($\frac{3}{4} \pm 1/16$ pulg) y espaciados a 90° . Los diámetros mínimos de cada orificio de ventilación debe ser $9,5$ mm ($\frac{3}{8}$ pulg). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.
- Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- Balanza.- Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.
- Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C a través de la cámara de secado.

MATERIALES.

- Regla.- Una regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 254 mm (10 pulgadas).
- Tamices ó Mallas.- De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11.
- Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

d. MUESTRA.

La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.

Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (N° 4), 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19.0mm ($\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B ó C.

e. PROCEDIMIENTO.

e.1 PREPARACION DE APARATOS

Se selecciona el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde .Ajustar si es necesario.

Se revisa que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

e.2 PREPARACION DEL ENSAYO.

SUELOS.

No se usara nuevamente el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.

Se procede a preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo al siguiente método.

METODO DE PREPARACION HUMEDA (PREFERIBLE)

Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75mm (N° 4); 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

Se prepara mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla. Se selecciona los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es

necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario. Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

Luego usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen indicados anteriormente, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140°F).

Posteriormente se mezcla el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes.

COMPACTACIÓN.

Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

Se determina y anota la masa del molde ó molde y el plato de base.

Se procede a ensamblar y asegurar el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lbm). Asegurar el plato base a un cimiento rígido.

Se compacta el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo

adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortado. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo u otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4 pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4 pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

El compactado se realizará cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

Se aplica los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se detallara en el siguiente párrafo de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

Cuidadosamente se debe enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Se rellena cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base.

Se determina y registra la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

Se remueve el material del molde. Se obtiene un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Se determina el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127.

CALCULOS.

Se calcula el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado, plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos (ejemplo, Fig. 35).

- Contenido de Agua, w.- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.
- Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el Peso Unitario Seco (ecuación 3) como sigue:

$$\rho_m = 1000 \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado $\left(\frac{\text{Mg}}{\text{m}^3}\right)$

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

M_{md} = Masa del molde de compactación (kg)

V = Volumen del molde de compactación (m³)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \frac{\text{lbf}}{\text{pie}^3} \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } \text{kN/m}^3$$

Donde:

γ_d = Peso unitario seco del espécimen compactado.

En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{\text{sat}} = \frac{(Y_w)(G_s) - Y_d}{(Y_d)(G_s)} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

W_{sat} = Contenido de agua para una saturación completa (%).

Y_w = Peso unitario del agua 9,807 kN/m³ o (62,43 lbf/pie³).

Y_d = Peso unitario seco del suelo.

G_s = Gravedad específica del suelos

Nota 10. La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica NTP 339.131.

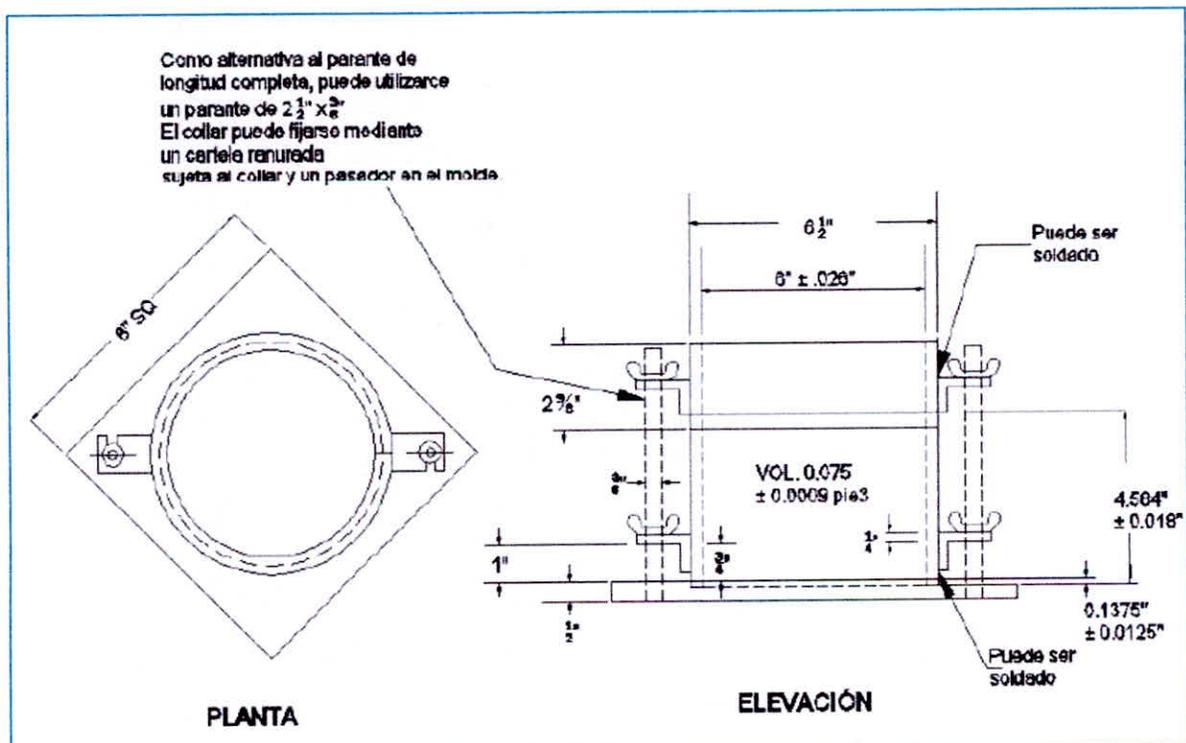


Figura 33: Molde cilíndrico de 4,0 pulg.

Nota: Fuente MTC (2016).

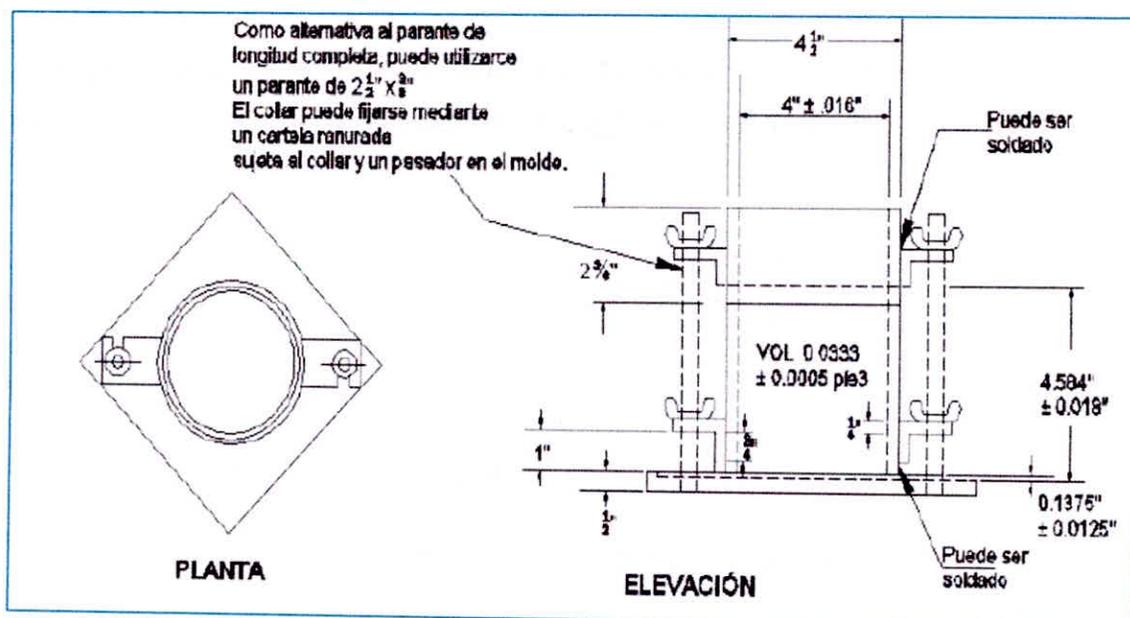


Figura 34: Molde cilíndrico de 6,0 pulg.
 Nota: Fuente MTC (2016).

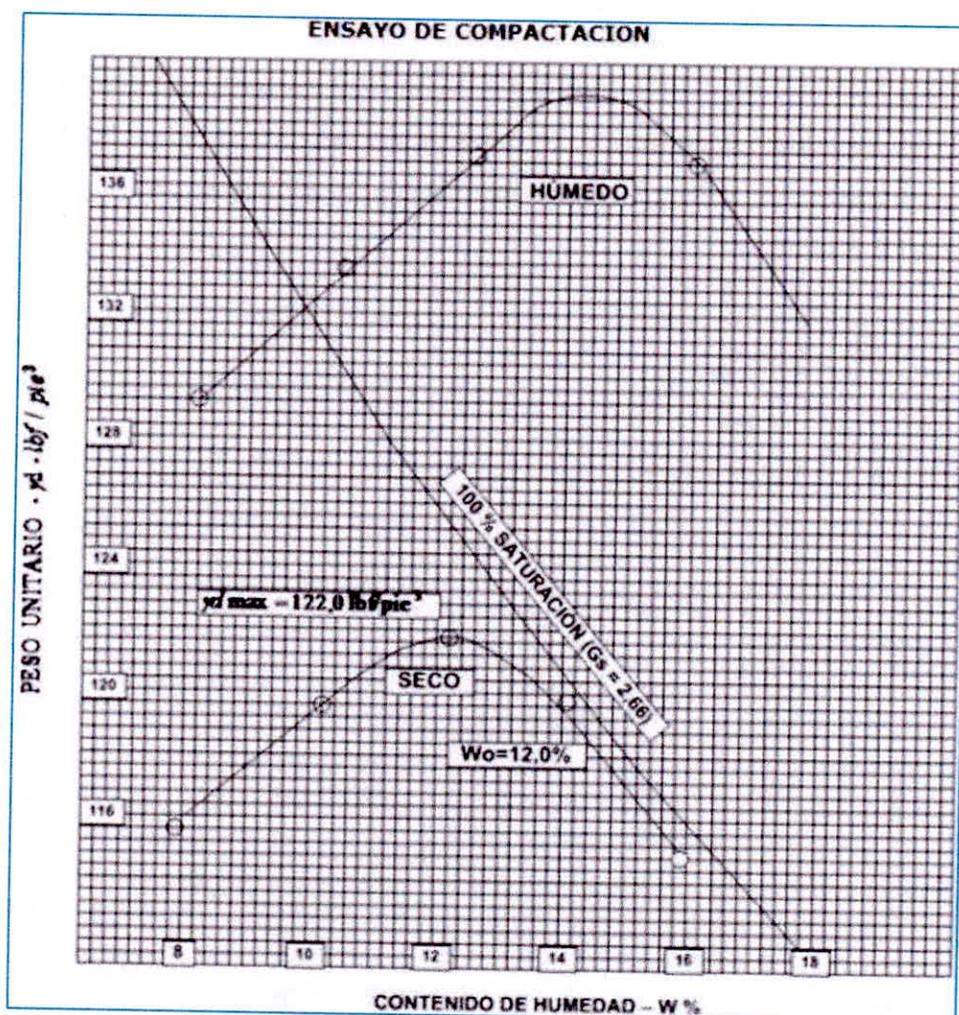


Figura 35: Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación.
 Nota: Fuente MTC (2016).

2.7.8. CBR DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132

a. OBJETO.

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse e forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

b. FINALIDAD Y ALCANCE.

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

c. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS.

EQUIPOS.

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- Molde, de metal, cilíndrico, de $152,4\text{mm} \pm 0,66\text{ mm}$ ($6 \pm 0,026''$) de diámetro interior y de $177,8 \pm 0,46\text{ mm}$ ($7 \pm 0,018''$) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de $50,8\text{ mm}$ ($2,0''$) de altura y una placa de base perforada de $9,53\text{ mm}$ ($3/8''$) de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de $1,6\text{ mm}$ ($28\ 1/16''$) las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro (Figura 36). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.
- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de $150,8\text{ mm}$ ($5\ 15/16''$) de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127\text{ mm}$ ($2,416 \pm 0,005''$) de espesor (Figura 36), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

- Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).

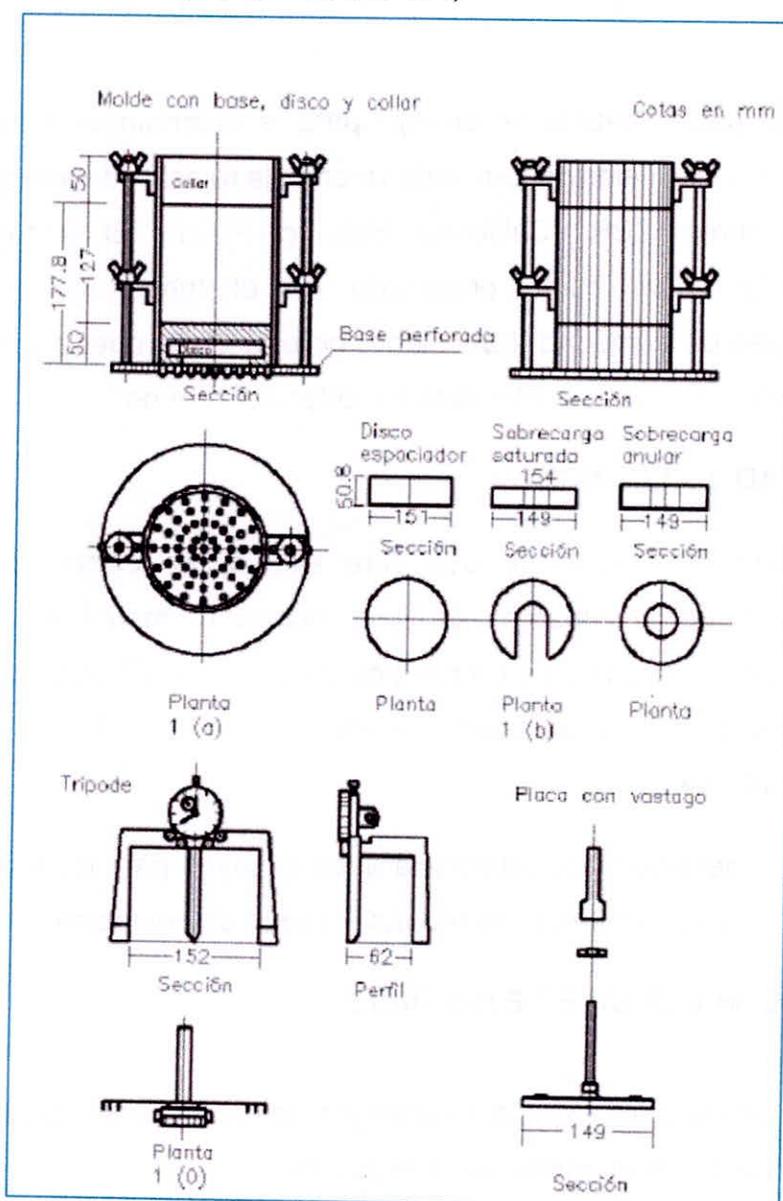


Figura 36: Partes del molde y disco espaciador, utilizados en el ensayo CBR.

Nota: Fuente MTC (2016).

- Aparato medidor de expansión compuesto por:
 - Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149,2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Figura 36).
 - Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo

vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm (0,001") (Figura 36).

- Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de $4,54 \pm 0,02$ kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de $2,27 \pm 0,02$ kg.
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de $49,63 \pm 0,13$ mm ($1,954 \pm 0,005$ ") de diámetro.
- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0,025 mm (0,001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, respectivamente.
- Tamices, de 4,76 mm (No. 4), 19,05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

d. MUESTRA.

La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse de acuerdo con los procedimientos dados en los métodos utilizados en el ensayo de proctor modificado.

e. PROCEDIMIENTO.

Preparación de la Muestra.- Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19,1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los

tamices de 19,1 mm (3/4") y de 4,75 mm (Nº4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas (Figura 37). Es frecuente utilizar tres de 55, 26 y 12 golpes por capa, por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del Suelo de acuerdo con la Norma MTC E 108.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta.

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.

Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una

sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya.

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. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, 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. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) "con el nivel de agua aproximadamente constante.

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración.

Penetración. Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con $\pm 2,27$ kg de aproximación) pero no menor de 4,54 kg.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones del Cuadro 45.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

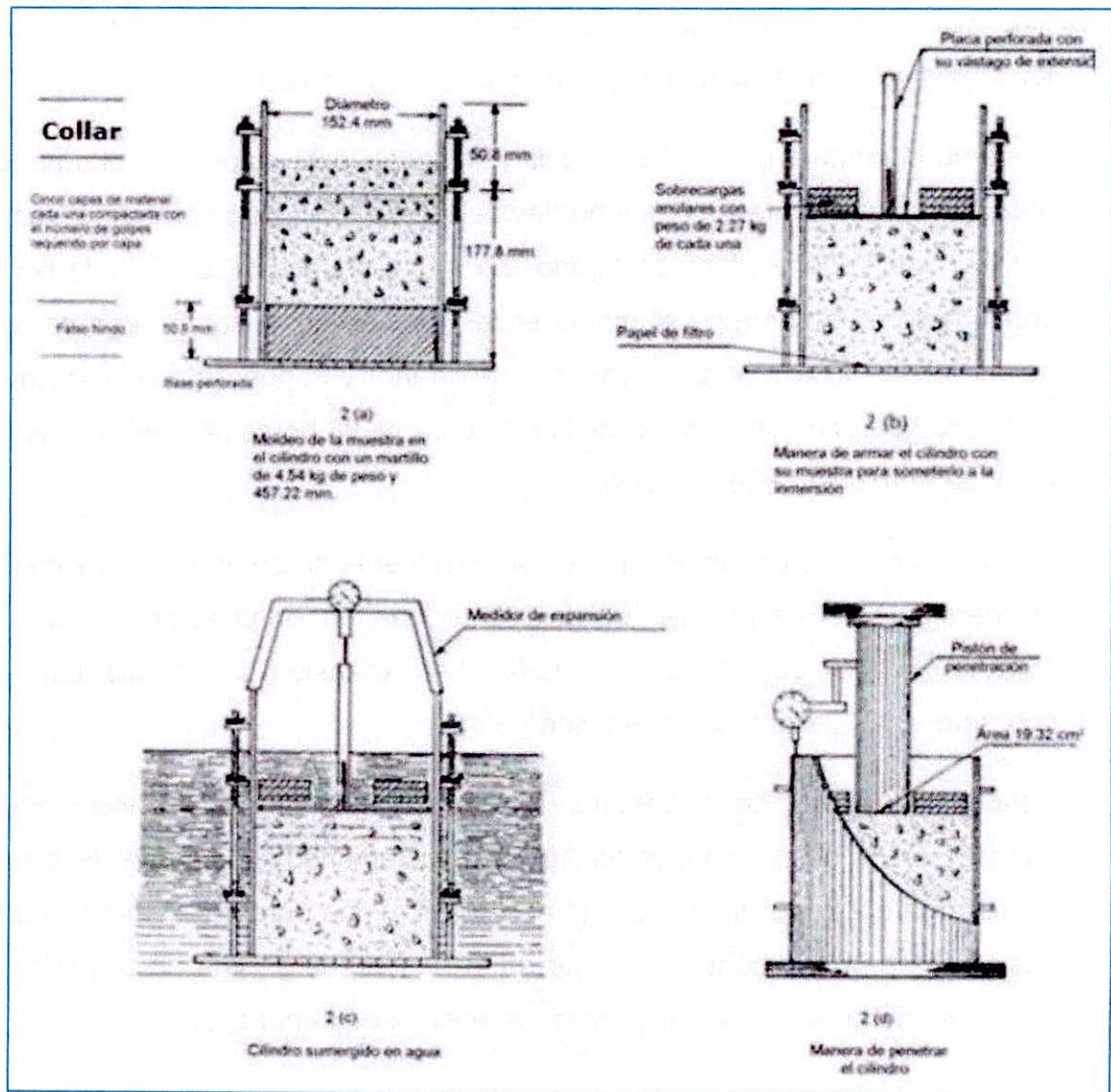


Figura 37: Determinación del valor de la relación de soporte en el laboratorio.
 Nota: Fuente MTC (2016).

Tabla 45: Penetración en milímetros y pulgadas.

Milímetros	Pulgadas
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

Nota: Fuente Manual de ensayos de materiales (MTC E132), ASTM D 1883.

f. CALCULOS.

Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H-h}{100+h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada.

h = Humedad natural

Densidad o peso unitario. La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

Agua absorbida. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (Figura 38).

Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{Expansión} = \frac{L2-L1}{127} \times 100$$

Donde:

L1= Lectura inicial en mm.

L2= Lectura final en mm.

Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Tabla 46: Características de la muestra patrón.

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Nota: Fuente MTC (2016).

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- a) Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- b) De la curva corregida se toma los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (10001b/plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

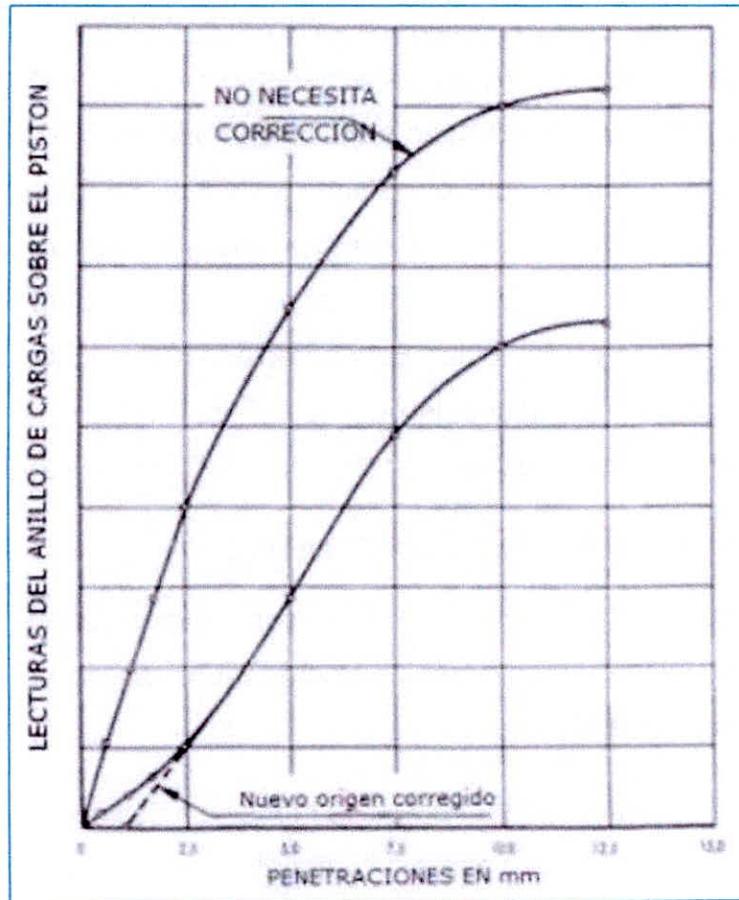


Figura 38: Curva para cálculo de índice de CBR.

Nota: Fuente MTC (2016).

2.7.9. ESPECTOMETRIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La energía absorbida por los átomos de la muestra genera la producción de rayos X secundarios, ó de fluorescencia emitidos por la muestra. (Martinez,Gil y Barón,2006,p1).

La FRX es la técnica empleada, normalmente, cuando se quiere conocer con rapidez la composición elemental exacta de una sustancia, pues permite determinar todos los elementos del sistema periódico, desde el flúor hasta el uranio, en muestras sólidas, en polvos y en líquidos. (Martinez,Gil y Barón,2006,p1).

La espectrometría de fluorescencia de rayos X es una técnica de espectroscopía atómica. Esta se basa en las transiciones de electrones de los átomos que se producen cuando una radiación electromagnética de cierta energía incide con el material en estudio, produciendo una excitación del átomo, el cual pasa de un estado basal (estable) a otro de mayor energía (inestable) de lo que resultan transiciones en diferentes estados energéticos en el átomo, los cuales son únicos para cada átomo en particular. Esta característica se utiliza para la identificación de los analitos o compuestos que queremos analizar, por lo que es de gran utilidad en el análisis cualitativo. (Meléndez y Camacho, 2009, p2)

ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO.

Análisis cualitativo: la FRX es utilizada para llevar a cabo análisis cualitativos de muestras sólidas (filtros, metales, rocas, muestras en polvo, tejidos, etc.), sin preparación de la muestra.

Análisis cuantitativo: los instrumentos modernos de fluorescencia de rayos X son capaces de proporcionar análisis cuantitativos de materiales complejos con una precisión que iguala o supera la de los métodos químicos clásicos por vía húmeda o la de los otros métodos instrumentales. (Martínez, Gil y Barón, 2006, p2).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación seleccionado fue el tipo experimental ya que se hizo control de las variables, al suelo arcilloso del AA.HH. Nuevo Santa se le adicionaron porcentajes de 20%, 25% y 30% de conchas de abanico y cenizas de carbón.

3.1.1. TIPO DE ESTUDIO

Exploratorio-Experimental: Es exploratorio debido a que no se han realizado investigaciones de suelos arcillosos con diferentes adiciones de cenizas y conchas de abanico, la cual conlleva a realizar un marco referencial tanto en lo teórico y práctico; la cual servirá de guía para posteriores investigaciones. Es experimental ya que se busca obtener resultados de las distintas adiciones de cenizas de carbón y conchas de abanico en el suelo arcilloso, mediante protocolos establecidos. En el siguiente esquema se muestra el diseño experimental.

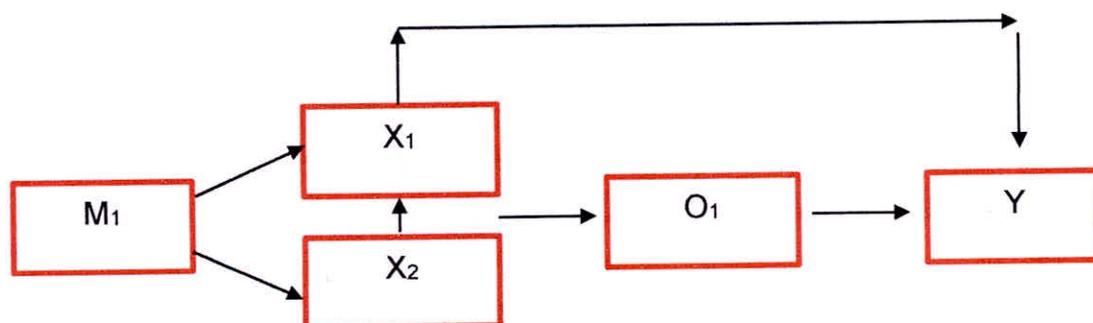


Figura 39: Diseño experimental.

Nota: Fuente propia.

M₁: Muestra que se empleará para la investigación

- **M₁:** Suelo arcilloso

X₁: Variables Independientes

- **X₁:** Conchas de Abanico
- **X₂:** Cenizas de carbón.

O₁ : resultados obtenidos

Y: Variables dependientes

- **Y:** Estabilización de los suelos arcillosos.

3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 47: Operacionalización de variable Cenizas de carbón.

Variable	Nombre variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala valorativa	Escala de medición
Indep.	Cenizas de Carbón	<p>Carbón: sólido, generalmente marrón o negro, material rico en carbono que ocurre con mayor frecuencia en depósitos sedimentarios estratificados. Es uno de los combustibles fósiles primarios más importantes. (Otto, C.Kopp, 2018).</p> <p>Cenizas: Es el producto de la combustión de algún material, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles (UCOL, 2012)</p>	<p>El análisis de las cenizas de carbón fue interpretadas por el Método Cuantitativo: Este método permite evaluar una muestra mediante una serie de patrones, protocolos, etc., con el fin de obtener resultados numéricos. Para nuestra investigación se analizaron las adiciones de cenizas de carbón en suelos arcillosos. La cantidad de cenizas utilizado fue proporcional al suelo arcilloso.</p>	Composición química de las Cenizas de Carbón	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de Composición Química. - Análisis de materia orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> - Fluorescencia de Rayos X - Gravimetría 	<p>De acuerdo al rendimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Malo - Regular - Bueno - Muy Bueno - Excelente 	Nominal

Nota: Fuente propia.

Tabla 48: Operacionalización de variable Conchas de abanico.

Variable	Nombre variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala valorativa	Escala de medición
Independiente.	Conchas de Abanico	<p>Conchas de Abanico: Es el nombre común de la especie <i>Argopecten purpuratus</i> perteneciente a la familia <i>Pectinidae</i>. (Lamarck, 1819).</p> <p>Es una especie de forma orbicular que presenta valva convexa. Habita de 2 a 40 m, desde suelos fangos a arena endurecidas con presencia de algas y a temperaturas de 12 a 25°C. (Ysla, 1986).</p>	<p>El análisis de las conchas de abanico calcinadas y pulverizadas fue interpretadas por el Método Cuantitativo: Este método permite evaluar una muestra mediante una serie de patrones, protocolos, etc., con el fin de obtener resultados numéricos. Para nuestra investigación se analizaron las adiciones de conchas de abanico en suelos arcillosos.</p>	Composición química de las conchas de abanico calcinadas y pulverizadas	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de Composición Química. - Análisis de materia orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> - Fluorescencia de Rayos X - Gravimetría 	<p>De acuerdo al rendimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Malo - Regular - Bueno - Muy Bueno - Excelente 	Nominal

Nota: Fuente propia.

Tabla 49: Operación de variable dependiente Estabilización de suelos arcillosos.

Variable	Nombre variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala valorativa	Escala de medición
Dependiente.	Estabilización de suelos arcillosos	<p>Suelos Arcillosos. Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados. (Juárez y Rico, 2005). Sus partículas son menores a 0,002 mm y tiene propiedades plásticas. (Bañón y Beviá, 2000).</p> <p>Estabilización: La estabilización de un suelo es el proceso por el cual se mejoran las propiedades del mismo (Sowers, 1994).</p>	<p>El análisis para la estabilización de suelos arcillosos con diferentes dosificaciones de cenizas y conchas de abanico fue interpretadas por el</p> <p>Método Cuantitativo: Este método permite evaluar una muestra mediante una serie de patrones, protocolos, etc., con el fin de obtener resultados numéricos.</p>	Propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos adicionando conchas de abanico y cenizas de carbón al 20%, 25% y 30% en peso.	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución granulométrica. • Porcentaje de Humedad • Límites de consistencia. • Densidad Máxima Seca. • Capacidad Portante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría por Tamizado (MTC E 107). • Contenido de Humedad (MTC E-108). • Granulometría mediante Hidrómetro (MTC E-109) • Límite de Atterberg. (MTC E 110-111). • Gravedad específica mediante Picnómetro (MTC E-113) • Proctor Modificado (MTC E-115) • California Bearing ratio (CBR) (MTC E -132) 	<p>Cbr < 3%: Subrasante inadecuada</p> <p>Cbr > 3% < 6% Subrasante insuficiente</p> <p>Cbr > 6% < 10% Subrasante regular</p> <p>Cbr > 10% < 20% Subrasante buena</p> <p>Cbr > 20% < 30% Subrasante muy buena</p> <p>Cbr > 30% Excelente.</p>	Razón

Nota: Fuente propia.

3.3. POBLACIÓN MUESTRAL.

Suelo arcilloso del AA.HH. Nuevo Santa.

3.4. DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

La muestra de suelo arcilloso se obtuvo de las calicatas realizadas en el AA.HH. Nuevo Santa, se realizaron 04 calicatas en diferentes calles de dicho asentamiento. El número de calicatas estuvo acorde con lo dispuesto en la norma CE.010 Pavimentos Urbanos, la distribución de estas se muestra en el Anexo N°1. El suelo obtenido se usó para los ensayos de caracterización física y mecánica de acuerdo a la reglamentación nacional.

Las conchas de abanico fueron obtenidas de la planta de la empresa Aquapesca SAC ubicada en el distrito de Samanco, estas se encontraban depositadas a la intemperie y procedían de los residuos por mortalidad en la cosecha de las conchas de abanico. Las valvas de conchas de abanico fueron sumergidas en agua potable en tinas grandes y escobilladas, para posteriormente secar al aire libre.

Una vez culminado el secado de las valvas de conchas de abanico, se procedió a triturar las valvas con pisón de concreto de 50 kg y herramientas manuales como martillos y combas para facilitar la calcinación posterior.

Se calcinó las conchas de abanico a una temperatura de 900°C por cuatro horas en un horno de fundición de metales. Culminado este proceso se dejó enfriar por un día, luego del cual se procedió a pulverizar por medio de un molino manual hasta obtener un polvo fino que fue adicionado al suelo junto con las cenizas de carbón para realizar los ensayos de caracterización.

Las cenizas de carbón se obtuvieron de los depósitos de estos restos ubicados en los alrededores de las ladrilleras artesanales en el AA.HH. San Luis, distrito de Santa.

El suelo arcilloso, las conchas de abanico y cenizas de carbón fueron mezclados en tres porcentajes en peso: Suelo 80% - Conchas de abanico y Cenizas 20%,

Suelo 75% - Conchas de abanico y Cenizas 25% y Suelo 70% - Conchas de abanico y Cenizas 30%. Los porcentajes fueron seleccionados teniendo en cuenta las investigaciones realizadas anteriormente por los autores Emilliani y Dygku (2010), Pérez R. (2012), Altamirano (2012), Pérez C. (2014) y Cañar (2017). Las adiciones de conchas de abanico y cenizas de carbón se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 50: Porcentajes en peso de conchas de abanico y cenizas de carbón.

Material	% Conchas de abanico	% Cenizas de carbón	%Total
S80%-CoCe20%	15.00	5.00	20.00
S75%-CoCe25%	18.75	6.25	6.25
S70%-CoCe30%	22.50	7.50	7.50

Nota: Fuente propia.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizó como técnica la observación y como instrumentos los protocolos validados por el MTC en el Manual de Ensayos de Materiales.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.6.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.

- Mediante plantillas de cálculos en Excel, gráficos, tablas etc. se recopila la información de los ensayos realizados con el fin de determinar los resultados.

3.6.2. PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Interpretación de los resultados obtenidos respecto a los objetivos específicos y la hipótesis planteada.
- Analizar los resultados obtenidos respecto a investigaciones anteriores, con el fin de evaluar la hipótesis,

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARA EL OBJETIVO: DETERMINAR Y COMPARAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DEL AA.HH NUEVO SANTA Y LAS COMBINACIONES DEL SUELO CON LA ADICIÓN DEL 20%, 25% Y 30% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN.

4.1.1. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA

a. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

En la Tabla 51 se observa que el suelo natural tiene 18.65%, 20.16% y 23.79% más de limos y arcillas que las combinaciones al 20%, 25% y 30% respectivamente. Además el suelo natural y las combinaciones pertenecen al grupo de suelos de grano fino ya que están formado por más del 50% de limos y arcillas.

Tabla 51: Distribución granulométrica del suelo natural y las combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Material	Suelo natural	S80%- CoCe20%	S75%- CoCe25%	S70%- CoCe30%
Gravas (%)	0.04	0.00	0.00	0.00
Arenas (%)	25.48	44.17	45.68	49.31
Limos y arcillas (%)	74.48	55.83	54.32	50.69

Nota: Fuente propia

b. LÍMITES DE ATTERBERG

En la Tabla 52 se muestra los resultados de Limite Líquido, Limite Plástico, Índice Plástico del suelo natural y las combinaciones del suelo natural, cenizas de carbón y conchas de abanico al 20%,25% y 30%.

Se observa que la combinación al 20% presenta un I.P. mayor al del suelo natural en 1.44%, mientras que las combinaciones al 25% y 30% presentan un I.P.

menor al del suelo natural en 0.6% y 3.15% respectivamente. Además el límite líquido (L.L.) de las combinaciones al 20%, 25% y 30% son mayores en 6.89%, 8.31% y 7.41% respecto al L.L del suelo natural. También se aprecia que el Límite plástico (L.P.) de las combinaciones al 20%, 25% y 30% son mayores al L.P. del suelo natural en 5.45%, 8.9% y 10.56% respectivamente.

Además los valores del índice de plasticidad del suelo natural y combinaciones al ser mayores a 7, se clasifican como de Plasticidad media según el MTC (2014), identificándose estos como suelos arcillosos.

Tabla 52: Resultados del L.L, L.P. e I.P. del suelo natural y las combinaciones al 20%,

LIMITES	Suelo Natural	S80%-CoCe20%	S75%-CoCe25%	S70%-CoCe30%
L. Líquido (%)	32.43	39.32	40.74	39.84
L. Plástico (%)	19.42	24.87	28.32	29.98
I.P. (%)	13.01	14.45	12.41	9.86

25% y 30%.

Nota: Fuente propia.

En la Figura 40 se observa como los límites de consistencia van incrementando al adicionar conchas de abanico y cenizas de carbón. En el caso del límite Líquido, éste llega a un máximo valor de 40.74% perteneciente a la adición de 25% de conchas de abanico y cenizas de carbón, en cambio la variación del Límite plástico con las adiciones va en aumento según se incrementa el porcentaje de adición, hasta llegar a un máximo de 29.98% perteneciente a la adición del 30%.

En la Figura 41 se observa la variación del índice de plasticidad a medida que aumenta el contenido de conchas de abanico y cenizas de carbón, notándose que el I.P. aumenta hasta llegar al valor máximo de 14.45% que corresponde a la adición del 20%. Después de la combinación al 20%, el I.P. comienza a decrecer a medida que aumenta el porcentaje de contenido de conchas de abanico y cenizas de carbón hasta llegar a un mínimo de 9.86% para la combinación al 30%.

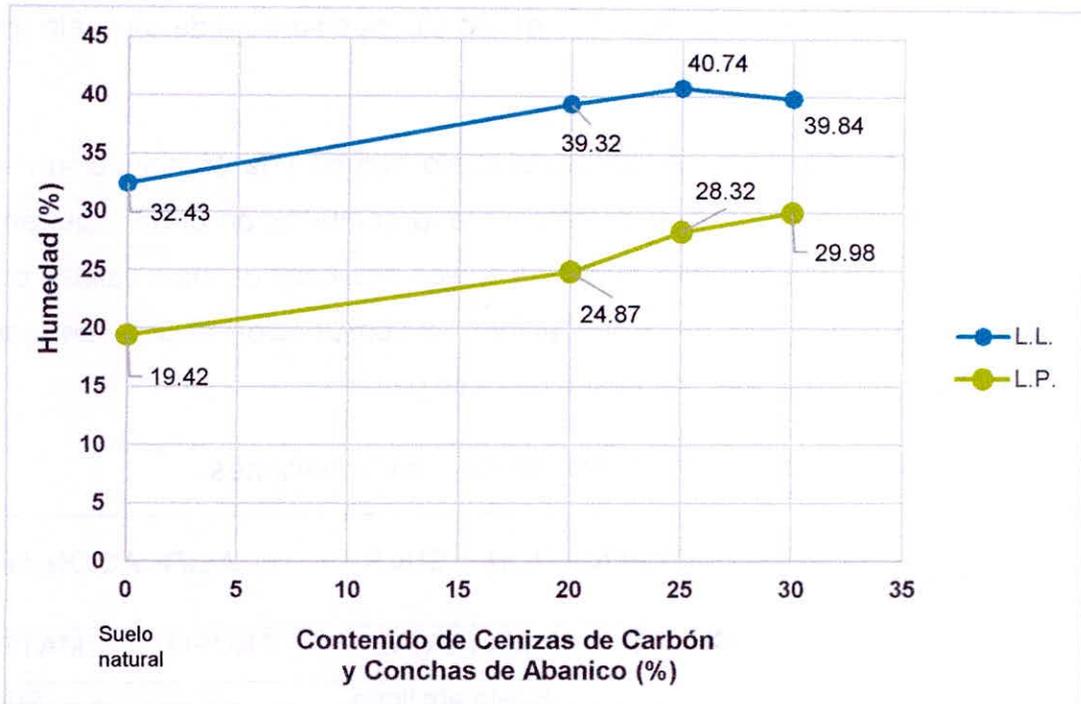


Figura 40: Variación del Limite Líquido y Plástico del suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Nota: Fuente propia.

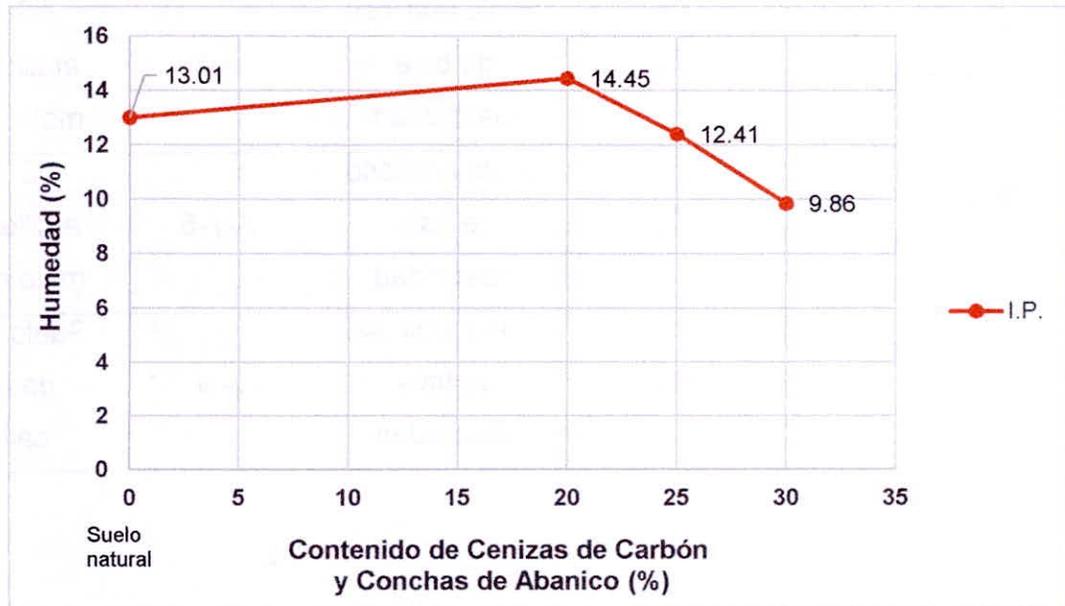


Figura 41: Variación del Índice de Plasticidad del suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Nota: Fuente propia.

c. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

En la Tabla 53 se presenta la clasificación del suelo natural y combinaciones por el método SUCS y AASHTO. Según la clasificación SUCS, el suelo natural

y las combinaciones pertenecen al tipo CL, que se trata de un suelo arcilloso de baja plasticidad.

Según la clasificación AASHTO el suelo natural y la combinación del 20% pertenecen al grupo A-6, mientras que la combinación al 25% pertenece al grupo A-7-5, conformado por los de suelos arcillosos de mala calidad para ser utilizado como terreno de fundación. La combinación al 30% pertenece al grupo A-4 de los suelos limosos de mala calidad.

Tabla 53: Clasificación del suelo natural y combinaciones.

MATERIAL	CLASIFICACIÓN SUCS		CLASIFICACIÓN AASHTO	
	GRUPO	MATERIAL	GRUPO	MATERIAL
Suelo Natural	CL	Suelo arcilloso de baja plasticidad	A-6	Suelo arcilloso de mala calidad
S80%- CoCe20%	CL	Suelo arcilloso de baja plasticidad	A-6	Suelo arcilloso de mala calidad
S75%- CoCe25%	CL	Suelo arcilloso de baja plasticidad	A-7-5	Suelo arcilloso de mala calidad
S70%- CoCe30%	CL	Suelo arcilloso de baja plasticidad	A-4	Suelo limoso de mala calidad

Nota: Fuente propia.

4.1.2. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

a. PROCTOR MODIFICADO

En la Tabla 54 se muestra los resultados del Optimo Contenido de Humedad (OCH) y la Máxima Densidad Seca (MDS) respecto al suelo natural y sus combinaciones de cenizas de carbón, conchas de abanico al 20%, 25% y 30%.

Los óptimos contenidos de humedad de las combinaciones al 20%, 25% y 30% son mayores en 2.4%, 3.2% y 0.4% respectivamente respecto al OCH del suelo natural mientras que las máximas densidades secas de las combinaciones al 20%, 25% y 30% son menores en 0.0042, 0.09 y 0.081 gr/cm³ respectivamente respecto a la MDS del suelo natural.

Tabla 54: Resultados de Ensayos de Compactación de suelo natural y las combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Material	Proctor Modificado	
	Óptimo Contenido de Humedad (%)	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)
Suelo Natural	10.6	1.928
S80%-CoCe20%	13.0	1.886
S75%-CoCe25%	13.8	1.838
S70%-CoCe30%	11.0	1.847

Nota: Fuente propia.

En la Figura 42 se observa que el mayor Optimo Contenido de Humedad corresponde a la adición del 25%. También se observa que el suelo natural presenta el menor Optimo Contenido de Humedad. Se aprecia que el OCH aumenta con la adición de conchas de abanico y cenizas de carbón hasta llegar al valor máximo de 13.8% para la combinación al 25%, adiciones mayores originan el decrecimiento de los contenidos de humedad hasta llegar a un valor de 11% para la combinación al 30%.

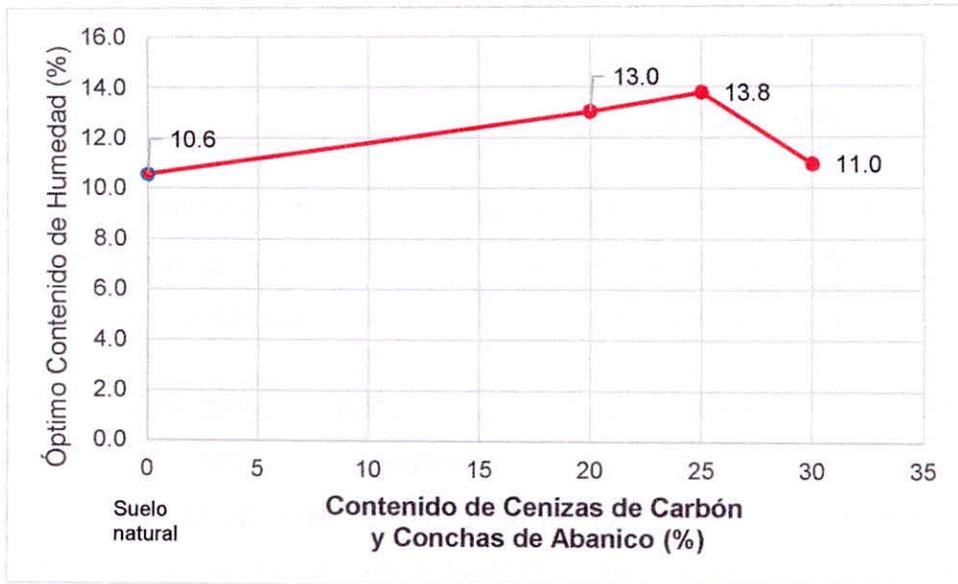


Figura 42: Variación del OCH del suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Nota: Fuente propia.

En la Figura 43 se observa que la Máxima Densidad Seca corresponde al suelo natural con 1.928. También se aprecia que mientras se va adicionando cenizas de carbón y conchas de abanico al suelo natural, la Máxima densidad seca descende hasta llegar a 1.838 para el 25% de adición. Adiciones mayores al 25% causan un incremento de la MDS hasta llegar al valor de 1.847 para la combinación al 30%.

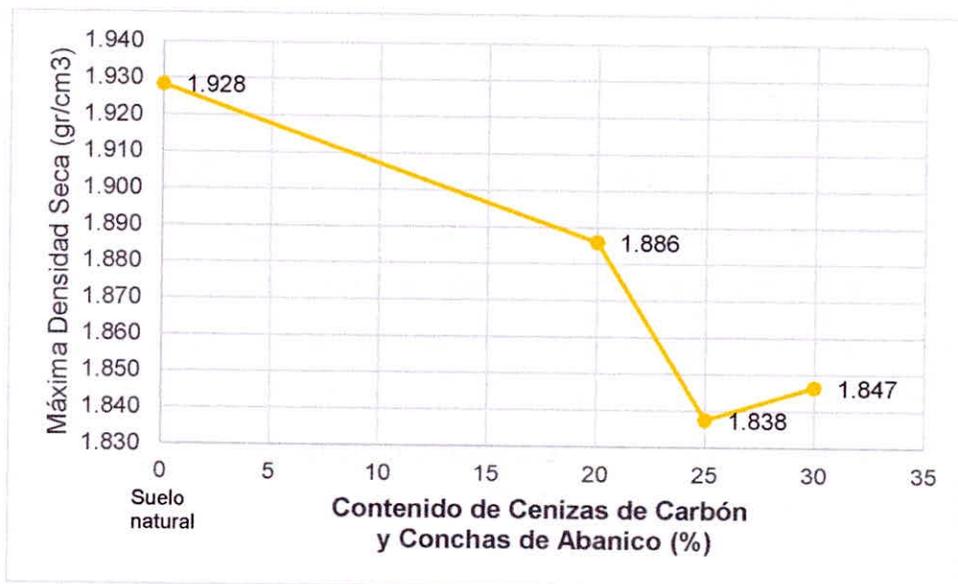


Figura 43: Variación de la M.D.S del suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Nota: Fuente propia.

b. CBR

En la Tabla 55 se muestran los resultados del CBR al 95% de la MDS del suelo natural y la combinación del suelo con las conchas y cenizas de carbón en porcentajes de 20%, 25% y 30%, observándose el incremento del valor CBR en 11.7%, 17% y 12.8% respectivamente con respecto al CBR del suelo natural.

Según el MTC (2014) la calidad de subrasante se define de acuerdo al valor de su CBR por la cual el suelo natural se clasifica como subrasante inadecuada y todas las combinaciones como subrasantes buenas, debido a que son mayor al 10% de acuerdo a la norma mencionada, pudiendo ser utilizadas como subrasante ya que sus valores son mayores al 6%

Tabla 55: Resultados de Ensayos de CBR al 95% de la MDS del suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Material	CBR al 95% de la MDS (%)
Suelo Natural	2.80
S80%-CoCe20%	14.50
S75%-CoCe25%	19.80
S70%-CoCe30%	15.60

Nota: Fuente propia.

En la Figura 44 se observa el incremento del valor del CBR al aumentar el contenido de conchas de abanico y cenizas de carbón, pasando del valor CBR de 2.8% para el suelo natural hasta el valor máximo de 19.8% para la combinación del suelos con conchas de abanico y cenizas de carbón al 25%.

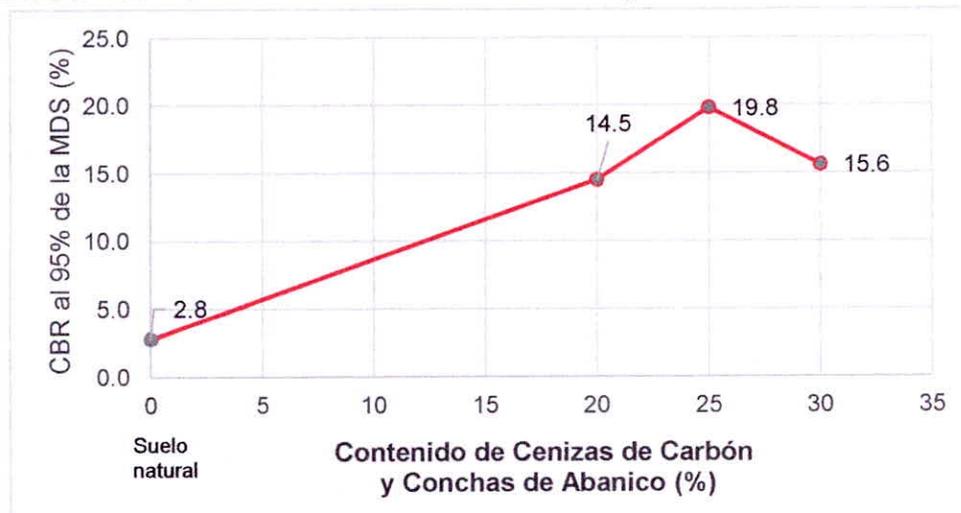


Figura 44: Variación del CBR del suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.

Nota: Fuente propia.

4.2. PARA EL OBJETIVO: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS CONCHAS DE ABANICO CALCINADAS Y CENIZAS DE CARBÓN Y COMPARARLAS CON LA NORMA ASTM C 977.

4.2.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.

a. COMPOSICION QUIMICA

Los resultados de los ensayos para la composición química de las conchas de abanico calcinadas y cenizas de carbón fueron realizados en el Laboratorio LABICER-UNI.

CONCHAS DE ABANICO.

En la Tabla 56 se observa los porcentajes de los elementos químicos que contienen las conchas de abanico. Además se aprecia que el Calcio (Ca) presenta el mayor porcentaje en comparación de los demás elementos químicos. El método que se utilizó para realizar el ensayo fue mediante Fluorescencia de Rayos x.

Tabla 56: Análisis de Composición Química Elemental en la Concha de Abanico calcinadas.

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Humedad	0.88	
Calcio, Ca	48.569	
Elementos livianos ⁽¹⁾	32.413	
Magnesio, Mg	0.692	Fluorescencia de Rayos X
Hierro, Fe	0.171	
Fósforo, P	0.159	
Estroncio, Sr	0.140	
Azufre, S	0.098	

Silicio, Si	0.087
Titanio, Ti	0.021
Manganeso, Mn	0.011
Zinc, Zn	0.006
Cromo, Cr	0.005
Cobre, Cu	0.005
Molibdeno, Mo	0.002

(1) Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

Nota: Fuente LABICER-UNI.

En la tabla 57 se observa los porcentajes de óxidos que contienen las conchas de abanico. Además se aprecia que el Óxido de Calcio (CaO) presenta el mayor porcentaje en comparación con los demás los óxidos. .

Tabla 57: Análisis de Composición Química Expresado en Óxidos en la Concha de Abanico calcinadas.

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de calcio, CaO	48.569	
Elementos livianos (1)	32.413	
Óxido de magnesio, MgO	0.692	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.171	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.159	
Óxido de estroncio, SrO	0.140	
Óxido de azufre, SO ₃	0.098	
Óxido de silicio, SiO ₂	0.087	Fluorescencia de Rayos X ⁽²⁾
Óxido de titanio, TiO ₂	0.021	
Óxido de manganeso, MnO	0.011	
Óxido de zinc, ZnO	0.006	
Óxido de cromo, Cr ₂ O ₃	0.005	
Óxido de cobre, CuO	0.005	
Óxido de molibdeno, MoO ₃	0.002	

(1) Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

Nota: Fuente LABICER-UNI.

CENIZAS DE CARBON.

En la Tabla 58 se observa los porcentajes de los elementos químicos que contienen las cenizas de carbón. Además se aprecia que el Silicio (Si) presenta el mayor porcentaje en comparación de los demás elementos químicos. El método que se utilizó para realizar el ensayo fue mediante Fluorescencia de Rayos x.

Tabla 58: Análisis de Composición Química Elemental en las Cenizas de Carbón.

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Humedad	0.70	Gravimetría
Elementos livianos ⁽¹⁾	57.515	
Silicio, Si	23.008	
Aluminio, Al	11.972	
Hierro, Fe	1.537	
Potasio, K	1.329	
Titanio, Ti	1.066	
Calcio, Ca	1.032	Fluorescencia de Rayos X
Azufre, S	0.533	
Fósforo, P	0.334	
Zinc, Zn	0.031	
Manganeso, Mn	0.028	
Estroncio, Sr	0.023	
Cobre, Cu	0.012	

⁽¹⁾ Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

Nota: Fuente LABICER-UNI.

En la Tabla 59 se observa los porcentajes de óxidos que contienen las cenizas de carbón. Además se aprecia que el Óxido de Sílice (SiO₂) presenta el mayor porcentaje en comparación con los demás óxidos.

Tabla 59: Análisis de Composición Química Expresado en Óxidos en las Cenizas de Carbón.

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Humedad	0.70	Gravimetría
Materia orgánica	0.88	Gravimetría
Elementos livianos ⁽¹⁾	40.843	
Óxido de silicio, SiO ₂	34.954	

Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	16.064	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	1.561	
Óxido de potasio, K ₂ O	1.137	
Óxido de titanio, TiO ₂	1.263	
Óxido de calcio, CaO	1.025	Fluorescencia de Rayos X
Óxido de azufre, SO ₃	0.946	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.544	
Óxido de zinc, ZnO	0.027	
Óxido de manganeso, MnO	0.025	
Óxido de estroncio, SrO	0.019	
Óxido de cobre, CuO	0.011	

(1) Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

Nota: Fuente LABICER-UNI.

b. CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.

Los resultados de materia orgánica que presenta las Conchas de Abanico y Cenizas de Carbón se muestran en la tabla 60, en éste se observa que las conchas de abanico calcinadas presenta un mayor porcentaje de materia orgánica en comparación con las cenizas de carbón.

Tabla 60: *Materia orgánica en las conchas de abanico calcinadas y cenizas de carbón.*

MATERIAL	RESULTADO (%)
Concha de Abanico	16.74
Cenizas de Carbón	0.88

Nota: Fuente LABICER-UNI.

4.3. PARA EL OBJETIVO: REALIZAR UNA PROPUESTA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO PARA EL SUELO NATURAL Y EL SUELO CON DIFERENTES CON ADICIÓN DEL 20%, 25% Y 30% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN.

4.3.1. RESULTADOS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

En la tabla 61 se muestra los resultados del diseño de pavimento flexible usando la metodología AASHTO 93, se observa que el mayor espesor es del pavimento para el suelo natural y el menor espesor es del pavimento para la combinación de suelo conchas de abanico y cenizas de carbón al 25%, habiendo una diferencia entre ambos de 12”.

Tabla 61: *Espesores del pavimento flexible para el suelo natural y combinaciones al 20%, 25% y 30%.*

Material	CAPA ASFALTICA (pulg)	BASE (pulg)	SUBBASE (pulg)	ESPESOR TOTAL (pulg)
Suelo Natural	2	14	16	32
S80%-CoCe20%	2	9	10	21
S75%-CoCe25%	2	8	10	20
S70%-CoCe30%	2	9	10	21

Nota: Fuente propia.

En la Figura 45 se observa la disminución del espesor del pavimento flexible al adicionarse conchas de abanico y cenizas de carbón, observándose un valor máximo de 32” correspondiente al suelo natural y 20” de espesor de pavimento para la combinación al 25%.

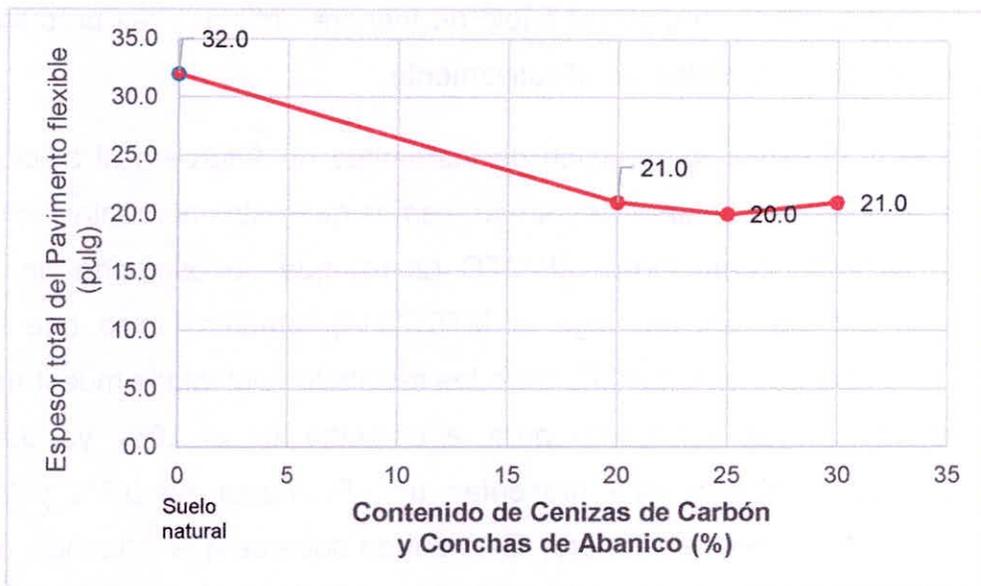


Figura 45: Variación del esesor total del pavimento flexible para el suelo natural y para las combinaciones al 20%,25% y 30%.

Nota: Fuente propia.

4.4.DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados de caracterización física del suelo natural, éste se clasifica según SUCS en tipo CL (Suelo arcilloso de baja plasticidad) y según AASHTO en tipo A-6 (Suelo arcilloso de mala calidad), además presenta un IP de 13.01%, éstas características del suelo lo hacen apto para ser estabilizado con cal según lo especificado en el Manual de Suelos, Geología y Pavimentos del MTC (2014). Además, debido a que el suelo natural es de tipo A-6 y presenta un tamaño máximo menor de 5cm, L.L. inferior a 40 e I.P. entre 10 y 50, cumple con los requerimientos para los materiales a ser estabilizados con cal especificados en la norma EG-2013 del MTC.

Siguiendo con los requerimientos del MTC (2014), ésta indica que la cal viva debe cumplir con lo norma ASTM C 977, es así que al evaluar la composición química de las conchas de abanico calcinadas que sería una cal viva, se encontró que ésta no llega a tener el porcentaje mínimo de óxido de calcio y magnesio que es de 90%, sino que tiene sólo un 49.261% de estos óxidos, pero su humedad si llega a ser menor que la indicada en la norma ASTM C 977. Este bajo contenido de óxidos de las conchas calcinadas puede subyacer en que no

se produzca las reacciones con el suelo de manera óptima, y las propiedades del suelo natural no cambien significativamente.

Es así que al observar la variación de los límites de Atterberg al adicionarle conchas de abanico y cenizas de carbón, vemos que estos aumentan entre un 5.45% y 10.56 % como indica el MTC (2014) que se comporta un suelo estabilizado con cal, sin embargo el MTC(2014) también indica que la cal produce un ligero aumento del I.P., pero los resultados obtenidos muestran que sólo hay un aumento en 1.44% para la combinación al 20%, ya que las combinaciones al 25% y 30% presentan un I.P. menor en 0.6% y 3.15% respectivamente al del suelo natural. Esto puede deberse a la influencia de las cenizas del carbón que modificarían también el comportamiento de los suelos arcillosos. Al respecto, Altamirano (2012) en su tesis observó una disminución entre 0.5 y 7% de sus límites líquido y plástico al adicionarle 10% y 15% de conchas de abanico y hojas de bambú a su suelo arcilloso, lo que contrastaría con la norma del MTC (2014) y la presente investigación, sin embargo el autor si obtuvo un aumento de su I.P. con las adiciones del 10% y 15% en 1.02% y 6.51% respectivamente, que si confirmaría lo mencionado en el MTC. Esta diferencia de comportamiento del suelo a lo indicado por el MTC (2014) se debe a que en ambas tesis, hay otro material siendo adicionado al suelo, y también a que en la presente investigación la cal que se utilizó no cumple con la composición química requerida.

Camacho et al. (2006) indica que la adición del 25% de cenizas al suelo causan una disminución del límite líquido e índice de plasticidad, esto se confirma con la tesis de Pérez (2012) que observó una disminución entre 2% y 12% de los límites y una disminución del I.P. entre 2% y 6% al adicionarle 20% y 40% de cenizas volantes, además Pérez (2014) obtuvo disminuciones de 2% y 24% en los límites y disminución entre 8% y 15% del I.P. para sus combinaciones al 10%, 20%, 30% y 40%, así mismo en la investigación de Emilliani y Dygku (2010) se aprecia que el límite líquido disminuye entre 2.5% y 9% con la adición de cenizas volantes al 5%, 10%, 15%, 20%. De acuerdo a lo mencionado, podemos deducir que la disminución del I.P. de 0.6% y 3.15% para las combinaciones al 25% y 30% respectivamente de la presente investigación se deben a la mayor adición de cenizas en el suelo (adiciones de 6.25% y 7.5% de cenizas respectivamente),

mientras que para la combinación al 20%, el I.P. es mayor a la de suelo natural en 1.44%, debido a que la adición de cenizas para esta combinación (5%) es menor al de las combinaciones al 25% y 30%, lo que disminuye el efecto de las cenizas en el I.P. del suelo natural.

Por lo tanto los límites de consistencia han aumentado por la adición de conchas de abanico, sin embargo la diferencia con respecto al suelo natural es baja debido a los efectos en el suelo arcilloso de las cenizas de carbón y la baja concentración de óxidos de calcio (CaO) y magnesio (MgO) presente en las conchas de abanico calcinadas. Por otro lado, el I.P. de las combinaciones al 25% y 30% disminuyen en 0.6% y 3.15% respectivamente debido a la mayor adición de cenizas de carbón que mitigan el efecto de las conchas de abanico que tienden a aumentarlo, en cambio para la combinación al 20%, el I.P. aumenta debido a que el efecto de las conchas de abanico es más predominante que el de las cenizas de carbón, las cuales producen una disminución del I.P.

Así mismo, los óptimos contenidos de humedad aumentaron entre 0.4% y 3.2% para todas las combinaciones respecto al suelo natural, éste aumento se debe a la adición de conchas de abanico calcinadas que según el MTC (2014) es un efecto de la cal en los suelos, que también fue verificado por Altamirano (2012), cuyos resultados muestran un aumento entre 0.7% y 2.3% de los óptimos contenido de humedad al adicionarle conchas de abanico y hojas de bambú a su suelo arcilloso. En este caso, el efecto de las cenizas de carbón en la variación de los óptimos contenido de humedad no ha sido dominante, pues según las investigaciones de Pérez (2012) y Pérez (2014) el aumento de la adición de cenizas volantes en el suelo causa una disminución del óptimo contenido de humedad entre 0.5% y 2.2%.

Las máximas densidades secas de las combinaciones disminuyen entre 0.042 g/cm³ y 0.09 g/cm³ con respecto a la de suelo natural. Por otro lado en la tesis de Pérez (2012) se observa una disminución de 0.007 para la adición del 20% de cenizas y un aumento de 0.002 para la adición del 40% de cenizas, mientras que en la tesis Pérez (2014), se observa una disminución entre 0 gr/cm³ y 0.007 gr/cm³ para las adiciones del 10%, 20%, 30% y 40% de cenizas, por lo cual se

acepta parcialmente lo indicado por Pérez (2014) ya que la disminución de la máxima densidad seca es mayor a lo obtenido en su investigación.

Sin embargo para todas las combinaciones al 20%, 25 y 30% se han obtenido valores CBR mayores al 6% cumpliendo con la norma MTC (2014) para ser utilizada como subrasante. Además estos valores son mayores que el valor CBR del suelo natural, estos incrementos estuvieron entre 11.7% y 17%. Respecto al CBR del suelo natural, este incremento se refleja también la tesis de Pérez (2012) donde se observó incrementos entre 9.2% y 15.8% y en la tesis de Pérez (2014) donde se observa incrementos entre el 4.4% y 12.5%. Se deduce que a pesar que la variación de las máximas densidades secas sean mínimas entre 0.042 g/cm³ y 0.09 g/cm³, los suelos estabilizados con cenizas de carbón y conchas de abanico son muy resistentes, esto se debe a la reacción del óxido de calcio de las conchas de abanico que se hidrata con el agua y los óxidos de silicio, aluminio, férrico y de calcio de las cenizas del carbón que en contacto con el suelo y el agua producen una reacción cementante.

El diseño de pavimentos flexibles muestran una disminución entre 11" y 12" en el espesor total de la estructura de las combinaciones con respecto al suelo sin estabilizar, esto se debe a los mayores valores de CBR. En las investigaciones Pérez (2012) y Pérez (2014) se muestra una disminución del espesor de afirmado entre 121 mm (4.9") y 155 mm (6.1") respecto a su suelo natural. De acuerdo a lo mencionado el espesor de la estructura del pavimento será menor en 12" al incrementarse el valor del CBR en 17%.

De la investigación realizada, se ha verificado un incremento del valor CBR para todas las combinaciones realizadas (20%, 25% y 30%) con respecto al CBR del suelo natural, que fue de 2.8% clasificado como subrasante inadecuada según el Manual de Suelos, geología y pavimentos del MTC. Los resultados de los ensayos CBR de todas las combinaciones cumplen con el requerimiento que estipula la norma del MTC (2014) al tener un CBR mayor al 6%, además sus valores permiten clasificarlos como subrasante buena. Sin embargo, en la composición química de las conchas calcinadas, se observa un porcentaje de óxidos de calcio y magnesio de 49.261% que no cumple con lo mínimo

especificado en la norma ASTM C 977, por lo que se rechaza parcialmente la hipótesis planteada **“Si se adiciona el 20%, 25% y 30% de conchas de abanico y cenizas de carbón al suelo arcilloso entonces se estabiliza, obteniéndose CBR mayor al 6% para fines de pavimentación”** ya que se logra estabilizar los suelos arcillosos pero el material utilizado no cumplen con la norma mencionada anteriormente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las adiciones del 20%, 25% y 30% de conchas de abanico y cenizas de carbón al suelo arcilloso, aumentan su capacidad portante, obteniéndose CBR de 14.50%, 19.80% y 15.60% respectivamente, siendo estos valores mayores al 6%, pudiendo ser una subrasante buena, sin embargo las conchas de abanico calcinadas no cumplen con las especificaciones como material estabilizador de la norma ASTM C 977, por lo cual no se acepta la hipótesis.
- Se determinaron las características físicas del suelo natural del AA.HH Nuevo Santa, las cuales permitieron clasificar al suelo como tipo CL (suelo arcilloso de baja plasticidad) según SUCS y como un suelo dentro del grupo A-6 (suelo arcilloso de mala calidad) según AASHTO. Además se obtuvieron sus características mecánicas, presentando así una MDS de 1.928 gr/cm³ y un valor CBR de 2.8% al 95% de su MDS.

Las combinaciones de suelo natural, conchas de abanico y cenizas de carbón al 20%, 25% y 30% se clasifican como un suelo tipo CL, suelo arcilloso de baja plasticidad, según SUCS. Por otro lado, la combinación al 20% se clasifica dentro del grupo A-6 (suelo arcilloso de mala calidad) según AASHTO; la combinación al 25%, dentro del grupo A-7-5 (suelo arcilloso de mala calidad) y la combinación al 30%, dentro del grupo A-4 (suelo limoso de mala calidad). Respecto a sus características mecánicas dieron como resultado MDS de 1.886 gr/cm³, 1.838 gr/cm³ y 1.847 gr/cm³ y un valor CBR de 14.50%, 19.80% y 15.60% para las combinaciones al 20%, 25% y 30% respectivamente.

El porcentaje de finos que pasan la malla N°200 disminuye a medida que aumenta el porcentaje de adición de conchas de abanico y cenizas de carbón al suelo natural. Además el I.P. del suelo natural aumenta de 13.01% a 14.45% para la combinación al 20%, sin embargo, las combinaciones al 25% y 30%

presentan un I.P. menor al del suelo natural, lográndose una disminución máxima de 3.15% para la combinación al 30%.

Así mismo, existe una disminución de las MDS para todas las combinaciones respecto al suelo natural. La combinación al 20% tuvo la mayor MDS comparado con las demás combinaciones, pero menor en 0.042 gr/cm³ en relación a la MDS del suelo natural.

El valor del CBR se incrementó para todas las combinaciones respecto al suelo natural, siendo el máximo aumento de 17% para la combinación al 25%. Todas las combinaciones lograron obtener CBR mayores al 6%, pudiendo ser utilizadas como subrasante.

- Las conchas de abanico calcinadas están compuestas por un 48.569% de óxido de calcio y las cenizas de carbón contienen un 34.954% de óxido de silicio y un 16.064% de óxido de aluminio. Asimismo las conchas de abanico calcinadas no cumplen con la norma ASTM C 977, debido a que presentan un porcentaje del 49.261% de óxido de calcio y magnesio, siendo éste inferior al requerido por la norma mencionada.
- De acuerdo al diseño estructural del pavimento flexible realizado se obtuvo un espesor total de 32" para el suelo natural y de 21", 20" y 21" para las combinaciones al 20%, 25% y 30% respectivamente, lo cual significa una reducción en el espesor del pavimento flexible máxima de 12".

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros investigadores no utilizar las conchas de abanico calcinadas para estabilización de suelos y buscar otro material calcáreo que contenga como mínimo el 90% de óxidos de calcio y magnesio para cumplir con la especificación ASTM C 977.
- Se recomienda a tesisistas y/o investigadores evaluar la experiencia en otro tipo de suelo, utilizando solo cenizas de carbón y con otros porcentajes de adición, con la finalidad de obtener su mayor eficiencia.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

Altamirano (2012) *Estabilización de suelos con híbrido de concha de abanico y hojas de bambú*. Universidad San Pedro, Perú.

Alva, Arenas, Galindo y Flores (2002). Cultivo concha de abanico *Argopectenpurpuratus*. Internacional Resources Groups and United States Agency for International Development, Perú, p86.

Badilla y Elizondo (Noviembre 2010).Mejoramiento y estabilización de subrasantes con cal. *Programa de Ingeniería en Infraestructura del Transporte*, (Vol.1, N°9), p.5.

Bañon, L. y Beví, J. (2002).*Manual de Carreteras, construcción y mantenimiento*. Universidad de alicante, España, Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.

Braja, M.Das (2008).*Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México, CENGAGE learning.

Braja, M.Das (1999).*Principio de Ingeniería de Cimentaciones*. México, THOMPSON Editores.

Braja, M.Das (2001).*Principio de Ingeniería de Cimentaciones*. México, THOMPSON Editores.

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

Crespo, C. (2004).*Mecánica de suelos y cimentaciones*. México, limusa.

Emilliani y Dygku. (2010) *Geotechnical Properties of Fly Ash and its Application on Soft Soil Stabilization* .Universiti Malaysia Sarawak, Malasia.

Espinosa y Molina (1999).*Acidez y Encalado de los Suelos*. Internacional Plant Nutrition Institute (IPNI), Costa Rica, p42.

García G. (2010). *Evolución de los procesos de fabricación de la arcilla cocida estructural en la industria ladrillera desde 1940 hasta la actualidad: caso de la comarca de la Sagra*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, España.

Instituto del Mar del Perú (1996). *Compendio biológico tecnológico de las principales especies hidrobiológicas comerciales del Perú*. Lima, Perú, IMARPE.

Juárez, E. y Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos Tomo I – Fundamentos*. México, Limusa.

Jiménez, J.A y De Justo, J.L (1975). *Geotecnia y Cimientos I, Propiedades de los suelos y rocas*. Madrid, Rueda.

Martínez, Gil y Barón. (Junio 2006). Espectrometría de fluorescencia de rayos X. *Revista colombiana de física*, (38), p.4.

Maza Q. (2011). *Producción más limpia para ladrilleras en la parroquia Sinincay*. Universidad del Azuay, Ecuador.

Meléndez P. y Camacho D. (Enero 2009). Espectrometría de fluorescencia de rayos X. *Aventuras del pensamiento*. (1), p.4.

Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Lima, Perú, Instituto de Construcción y Gerencia (ICG).

Ministerio de la producción (PRODUCE, 2002). *Anuario Estadístico Sub sector Pesca-2015*, Lima, Perú.

Montejo, A. (2002). *Ingeniería para Pavimentos en Carreteras -Tomo I*. Bogotá, Colombia, Universidad Católica de Colombia.

Mora, G. (2013) *Estudio de problemas geotécnicos asociados a la presencia de arcillas expansivas en la carretera Rocafuerte – Tosagua, Provincia de Manabí-Ecuador. Análisis de posibles tratamientos de mejora del terreno y recomendaciones*. Madrid, España.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), (2013). *Especificaciones Técnicas Generales de la Construcción (EG-2013)*. Lima, Perú

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), (2014). *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), (2006) *Manual de Materiales –Suelos*. Lima –Perú.

Pérez, C. (2014) *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Pérez G. Y Barcos H. (2004). *Optimización de una maquina extrusora de arcilla para la construcción de ladrillos en la industria ladrillera de la costa* Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia.

Pérez, R. (2012) *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE. (2010) *Norma CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima –Perú.

VII. ANEXOS

ANEXO 1.
UBICACIÓN DE CALICATAS.

UBICACIÓN DE CALICATAS



CUADRO DE UBICACIÓN DE CALICATAS

CALICATA	COORDENADAS UTM ZONA 17L
C-1	762376.26 m E 9006167.64 m S
C-2	762333.68 m E 9006198.65 m S
C-3	762441.62 m E 9006162.37 m S
C-4	762409.25 m E 9006072.14 m S

ANEXO 2.
ENSAYOS QUE DETERMINARON LA
CARACTERIZACION FISICA DEL SUELO NATURAL
Y COMBINACIONES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL SUELO NATURAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E-107, ASTM D 422)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

TESITAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR: AA.HH. NUEVO SANTA - SANTA - SANTA - ANCASH

FECHA : 16/03/2018

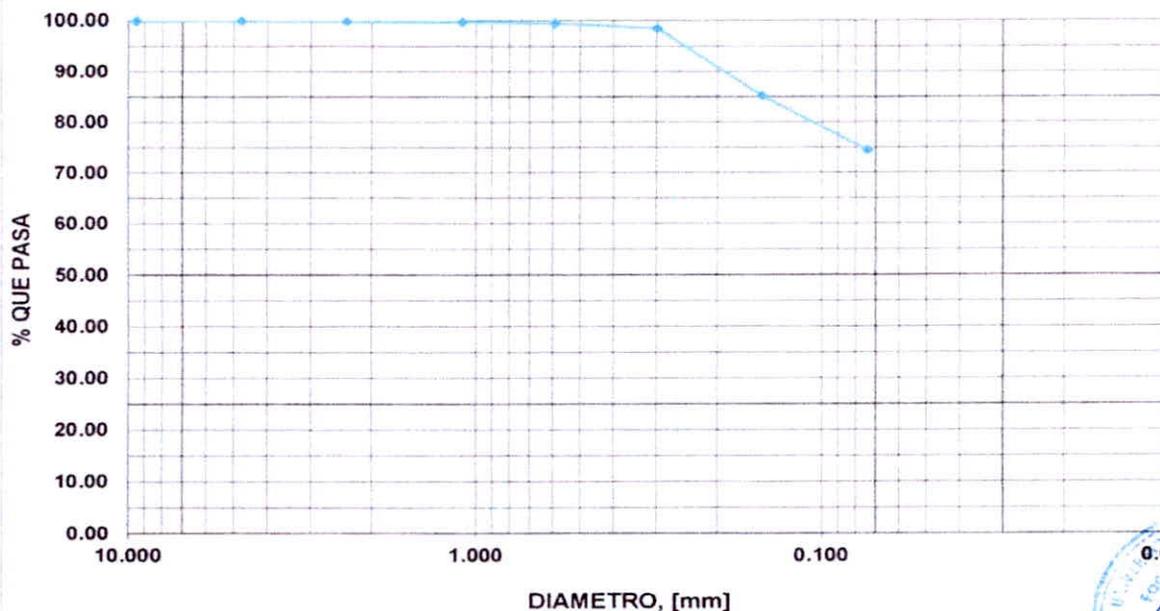
CALICATA : C-3

PROFUNDIDAD : 0.30 - 0.60 M

Peso Seco Lavado, (gr.)	164
Peso Seco pasante en el Lavado, (gr.)	338

MALLAS	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.750	0.20	0.04	0.04	99.96
#8	2.360	0.63	0.12	0.16	99.84
#16	1.100	0.62	0.12	0.29	99.71
#30	0.590	1.32	0.26	0.55	99.45
#50	0.297	4.86	0.97	1.52	98.48
#100	0.149	66.83	13.31	14.83	85.17
#200	0.074	53.69	10.70	25.52	74.48
FONDO	FONDO	373.87	74.48	100.00	0.00
		502.00	100.00		

CURVA GRANULOMÉTRICA



DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DE LAS CONCHAS DE ABANICO
CALCINADAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
(MTC E-107, ASTM D 422)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

TESITAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

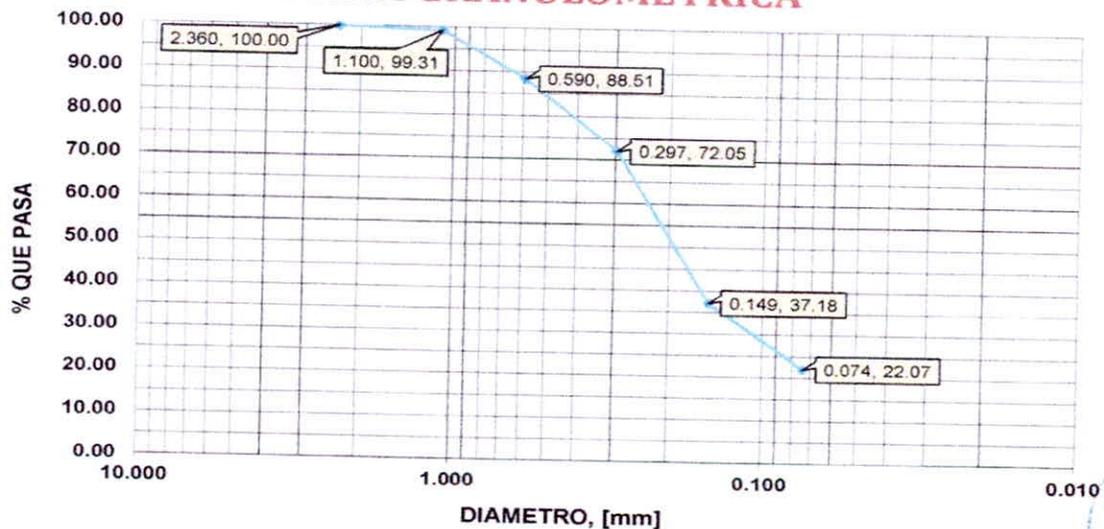
LUGAR: LADRILLERAS DEL AA HH. SAN LUIS - SANTA - SANTA - ANCASH

FECHA : 16/03/2018

Peso Inicial Seco. (gr.)	500
--------------------------	------------

MALLAS	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASA
#8	2.360	0.00	0.00	0.00	100.00
#16	1.100	3.44	0.69	0.69	99.31
#30	0.590	54.02	10.80	11.49	88.51
#50	0.297	82.27	16.45	27.95	72.05
#100	0.149	174.35	34.87	62.82	37.18
#200	0.074	75.58	15.12	77.93	22.07
FONDO	FONDO	110.34	22.07	100.00	0.00
		500.00	100.00		

CURVA GRANULOMÉTRICA



DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS CENIZAS DE CARBÓN.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

(MTC E-107, ASTM D 422)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN
CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

TESITAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

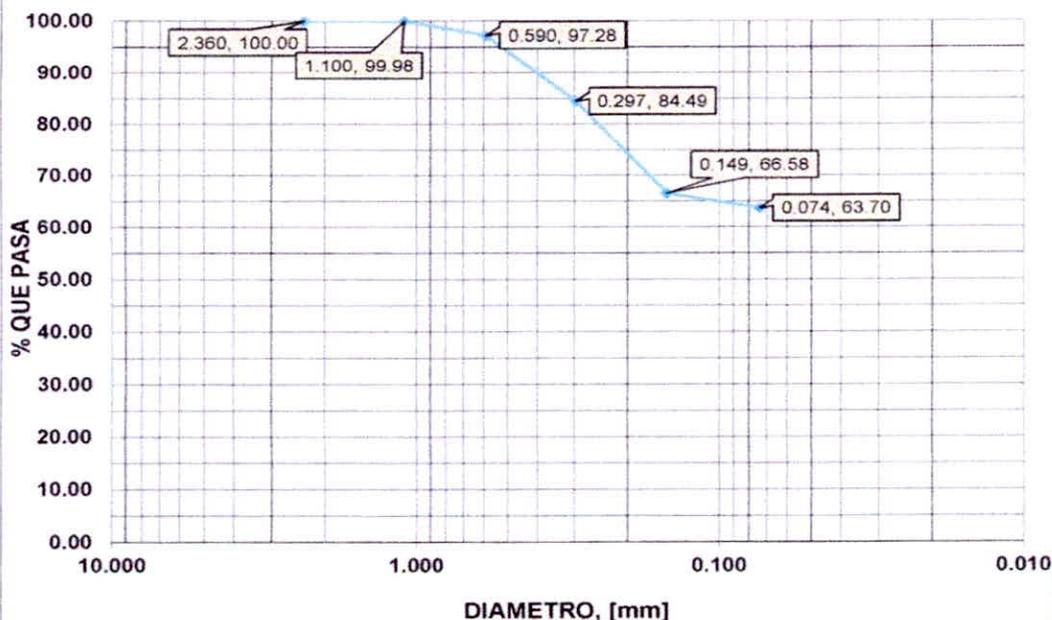
LUGAR: ACUAPESCA SAC - SAMANCO - SANTA - ANCASH

FECHA : 16/03/2018

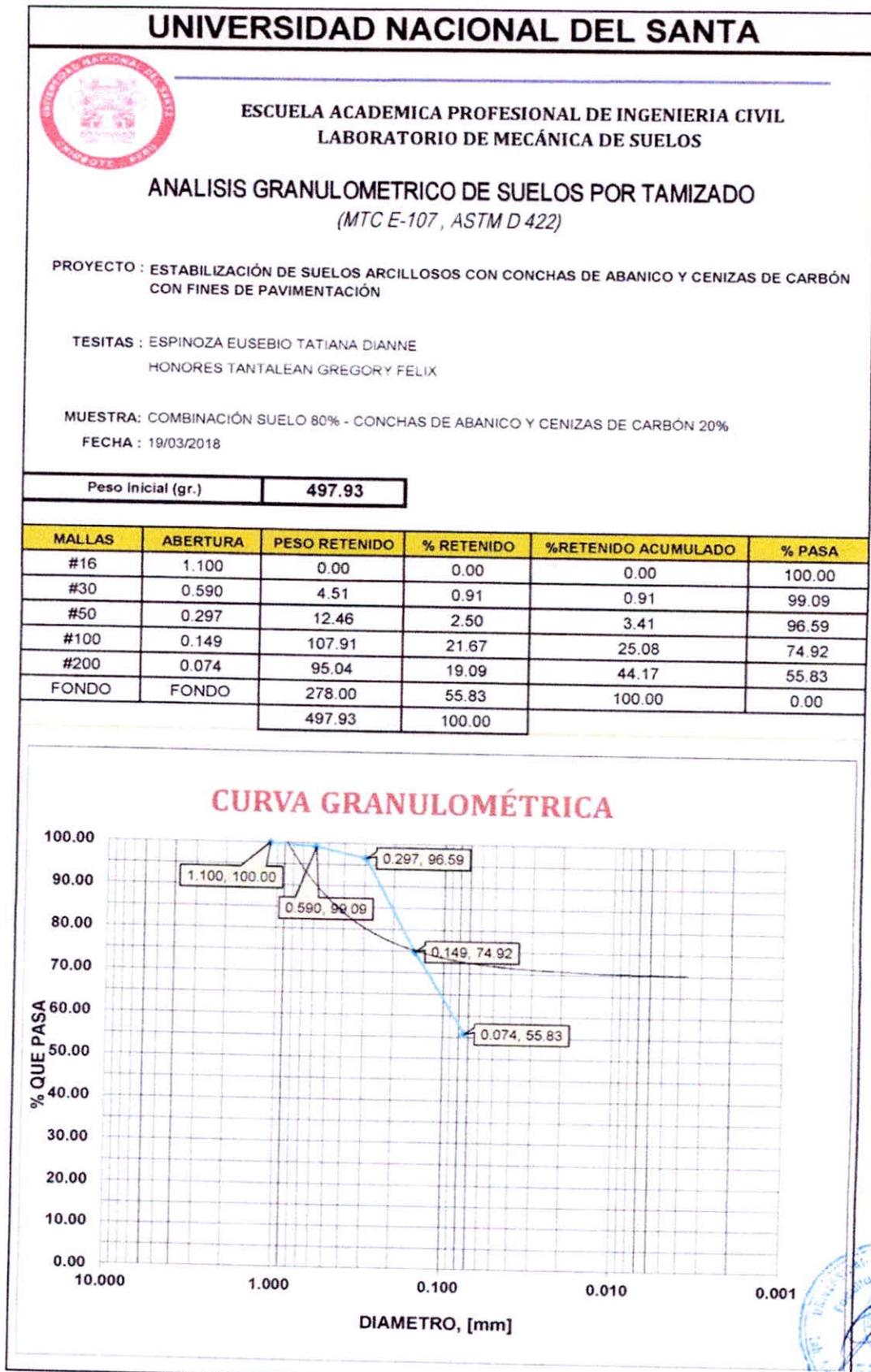
Peso Inicial Seco. (gr.)	500
--------------------------	------------

MALLAS	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASA
#8	2.360	0.00	0.00	0.00	100.00
#16	1.100	0.09	0.02	0.02	99.98
#30	0.590	13.53	2.71	2.72	97.28
#50	0.297	63.94	12.79	15.51	84.49
#100	0.149	89.52	17.90	33.42	66.58
#200	0.074	14.43	2.89	36.30	63.70
FONDO	FONDO	318.49	63.70	100.00	0.00
		500.00	100.00		

CURVA GRANULOMÉTRICA



DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL SUELO NATURAL CON LA COMBINACION AL 20% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON



DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DEL SUELO NATURAL CON LA COMBINACION AL 25%DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
(MTC E-107, ASTM D 422)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

TESITAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

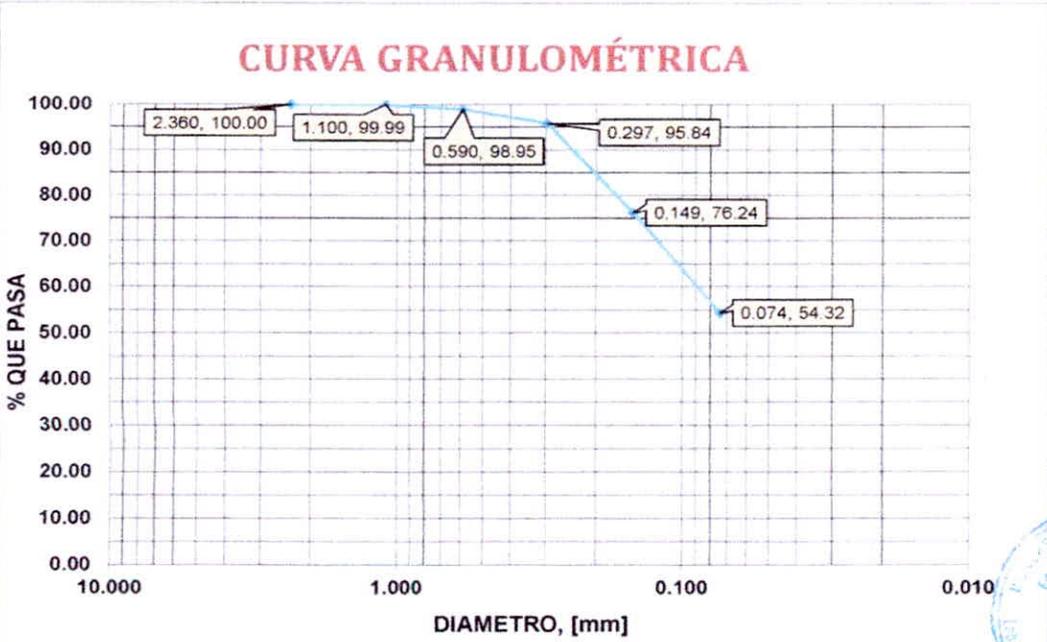
MUESTRA: COMBINACIÓN SUELO 75% - CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN 25%

FECHA : 19/03/2018

Peso Inicial (gr.)	498.91
--------------------	---------------

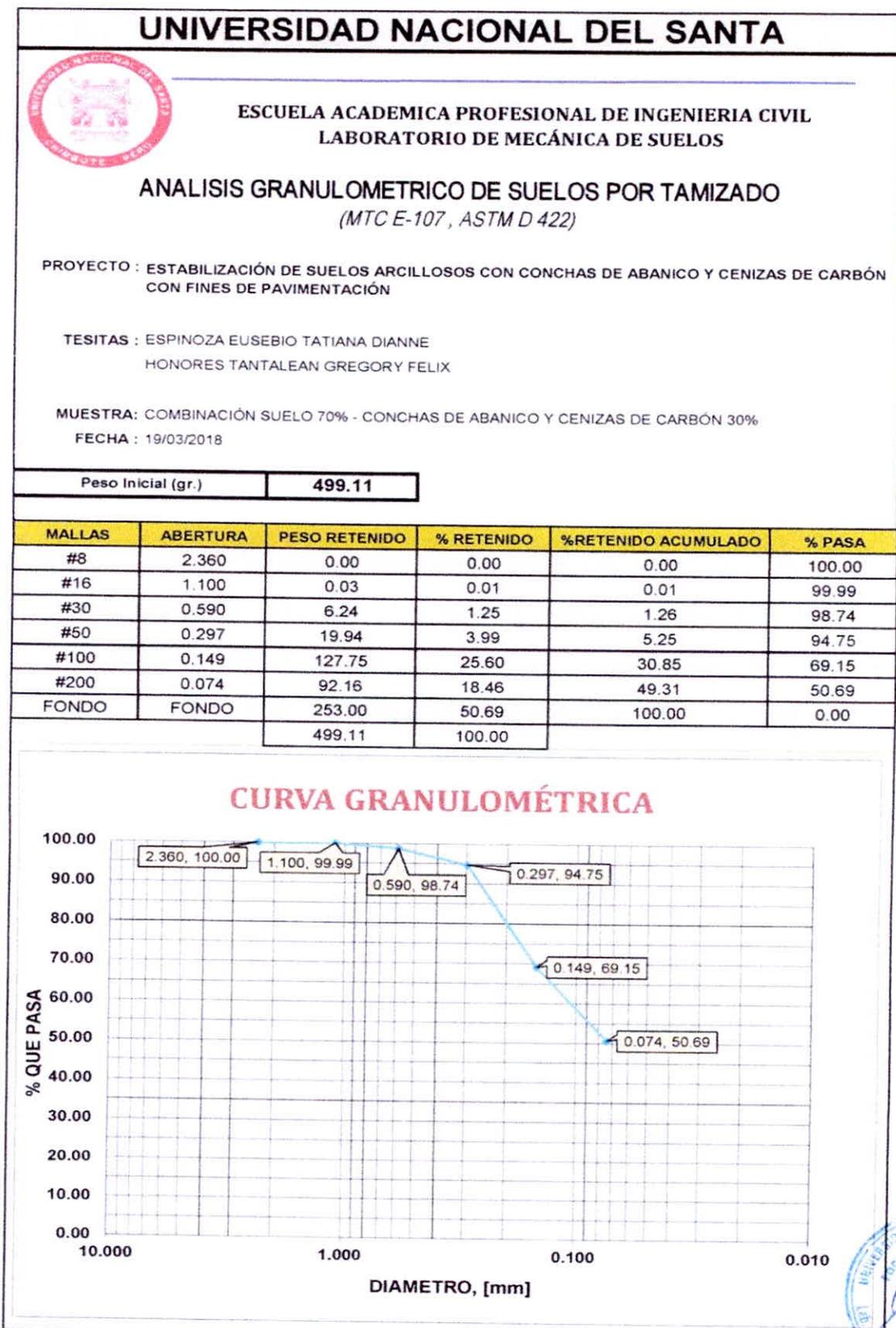
MALLAS	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASA
#8	2.360	0.00	0.00	0.00	100.00
#16	1.100	0.04	0.01	0.01	99.99
#30	0.590	5.19	1.04	1.05	98.95
#50	0.297	15.52	3.11	4.16	95.84
#100	0.149	97.80	19.60	23.76	76.24
#200	0.074	109.36	21.92	45.68	54.32
FONDO	FONDO	271.00	54.32	100.00	0.00
		498.91	100.00		

CURVA GRANULOMÉTRICA





DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL SUELO NATURAL CON LA COMBINACION AL 30% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON.



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL, CALICATA N° 01.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E-108, ASTM D2216)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS
DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 11/01/2018 CALICATA: C-1 PROF.(m): 030-0.60

N° DE LATA	T1	T2	T3
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	178.628	179.905	203.772
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	169.523	170.140	192.289
PESO DE LATA (gr.):	26.563	27.521	26.858
PESO DE SUELO SECO (gr.):	142.960	142.619	165.431
PESO DE AGUA (gr.):	9.105	9.765	11.483
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	6.369	6.847	6.941
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%):	6.719		



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL, CALICATA N° 02.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E-108, ASTM D2216)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS
DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 11/01/2018 CALICATA: C-2 PROF.(m): 030-0.60

N° DE LATA	T4	T5	T6
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	178.235	178.976	179.576
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	168.486	169.135	170.340
PESO DE LATA (gr.):	26.594	27.634	26.689
PESO DE SUELO SECO (gr.):	141.892	141.501	143.651
PESO DE AGUA (gr.):	9.749	9.841	9.236
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	6.871	6.955	6.429
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%):	6.752		



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL, CALICATA N° 03.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E-108, ASTM D2216)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS
DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 11/01/2018 CALICATA: C-3 PROF.(m): 030-0.60

N° DE LATA	T7	T8	T9
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	177.385	178.487	178.798
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	167.905	168.895	168.967
PESO DE LATA (gr.):	25.987	26.202	25.303
PESO DE SUELO SECO (gr.):	141.918	142.693	143.664
PESO DE AGUA (gr.):	9.480	9.592	9.831
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	6.680	6.722	6.843
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%):	6.748		



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL, CALICATA N° 04.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E-108, ASTM D2216)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS
DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 11/01/2018 CALICATA: C-4 PROF.(m): 030-0.60

N° DE LATA	T10	T11	T12
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	178.345	179.102	179.456
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	168.814	169.486	169.734
PESO DE LATA (gr.):	26.534	25.475	25.345
PESO DE SUELO SECO (gr.):	142.280	144.012	144.389
PESO DE AGUA (gr.):	9.531	9.616	9.722
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	6.699	6.677	6.733
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%):	6.703		



DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DEL SUELO NATURAL POR SEDIMENTACION.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO (MTC E-109, ASTM D 422)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

TESITAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR: AA.HH. NUEVO SANTA - SANTA - SANTA - ANCASH

MUESTRA : SUELO NATURAL

FECHA : 04/05/2018

CALICATA : C-3

PROFUNDIDAD : 0.30 - 0.60 M

Peso Lavado y Seco. (gr.)	50.078
Tipo de Hidrómetro	151H

s^*	
Ge^*	2.30

Tiempo (min)	R'	Temperatura (°c)	Cm	R	Ct	Cd	L(cm)	K	D(mm)	%Que pasa
1	1033	21	0.006	1033.006	0.2	1008.206	7.60	0.015328526	0.042	88.32
2	1032	21	0.006	1032.006	0.2	1008.206	7.80	0.015328526	0.030	84.79
5	1028	21	0.006	1028.006	0.2	1008.206	8.90	0.015328526	0.020	70.66
15	1025	21	0.006	1025.006	0.2	1008.206	9.70	0.015328526	0.012	60.06
30	1025	21	0.006	1025.006	0.2	1008.206	9.70	0.015328526	0.009	60.06
60	1023	21	0.006	1023.006	0.2	1008.206	10.20	0.015328526	0.006	52.99
120	1020	22	0.006	1020.006	0.4	1008.406	11.00	0.015327231	0.005	42.40
240	1018	23	0.006	1018.006	0.6	1008.606	11.50	0.015325819	0.003	35.33
1440	1016	21	0.006	1016.006	0.2	1008.206	12.10	0.015328526	0.001	28.26



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO (MTC E-109, ASTM D 422)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

TESITAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

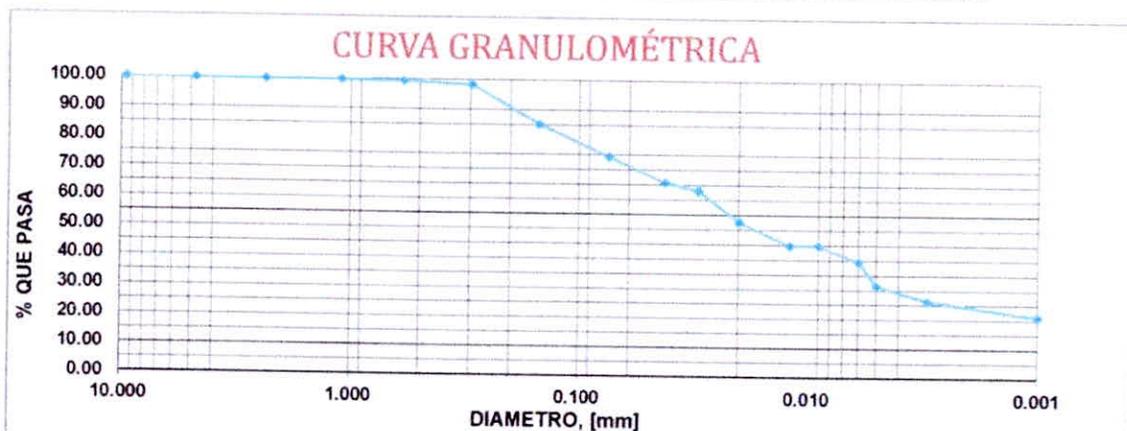
LUGAR: AA.HH. NUEVO SANTA - SANTA - SANTA - ANCASH

FECHA : 04/06/2018 CALICATA : C-3

MUESTRA : SUELO NATURAL
PROFUNDIDAD : 0.30 - 0.60 M

Peso Seco (gr.)	502
-----------------	-----

MALLAS	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.750	0.20	0.04	0.04	99.96
#8	2.360	0.63	0.12	0.16	99.84
#16	1.100	0.62	0.12	0.29	99.71
#30	0.590	1.32	0.26	0.55	99.45
#50	0.297	4.86	0.97	1.52	98.48
#100	0.149	66.83	13.31	14.83	85.17
#200	0.074	53.69	10.70	25.52	74.48
	0.042	43.65	8.70	34.22	65.78
	0.030	13.20	2.63	36.85	63.15
	0.020	52.86	10.53	47.38	52.62
	0.012	39.61	7.89	55.27	44.73
	0.009	0.00	0.00	55.27	44.73
	0.006	26.41	5.26	60.53	39.47
	0.005	39.66	7.90	68.43	31.57
	0.003	26.41	5.26	73.69	26.31
	0.001	26.41	5.26	78.95	21.05



GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO NATURAL.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA																
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA <i>(MTC E-113, ASTM D 854-02)</i>																
PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN																
TESITAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX																
LUGAR: AA.HH. NUEVO SANTA - SANTA - SANTA - ANCASH																
FECHA : 04/05/2018 MUESTRA: SUELO NATURAL																
Peso Inicial Seco. (gr.)		50.093														
CURVA DE CALIBRACION																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">T (°)</th> <th style="width: 70%;">Wp+Wagua</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">25</td><td style="text-align: center;">671</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">37</td><td style="text-align: center;">669</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">51</td><td style="text-align: center;">667</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">62</td><td style="text-align: center;">666</td></tr> </tbody> </table>		T (°)	Wp+Wagua	25	671	37	669	51	667	62	666					
T (°)	Wp+Wagua															
25	671															
37	669															
51	667															
62	666															
ETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS																
Nº de Ensayo	1															
Nº de Picnometro	A	A	A	A	A	Peso promedio										
Peso de Picnometro(g)	172	173	173	173	174	173										
Peso de Picnometro +Suelo+Agua(g)	699															
Temperatura (T°C)	37															
Peso de Picnometro +Agua(g) (Calibración)	669															
Peso de Bandeja(g)	394															
Peso de Bandeja + Suelo Seco(g)	447															
Peso de Suelo Seco (g)	53															
Gravedad Especifica	2.30															



LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO NATURAL.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO (MTC E-110, MTC E-111, ASTM 4318)

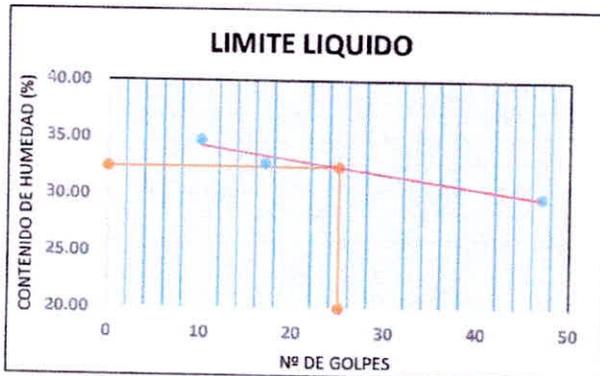
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 19/03/2018 **MATERIAL:** SUELO NATURAL

ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	10	17	47	4	5	6
Nº DE GOLPES	1	2	3	4	5	6
Nº DE LATA	1	2	3	4	5	6
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	46.64	36.97	33.46	35.01	36.27	34.27
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	41.61	34.66	31.91	33.75	34.76	32.98
PESO DE LATA (gr.):	27.13	27.62	26.72	27.35	26.76	26.47
PESO DE AGUA (gr.):	5.04	2.31	1.55	1.26	1.51	1.29
PESO DE SUELO SECO (gr.):	14.47	7.04	5.20	6.40	8.00	6.51
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	34.79	32.79	29.84	19.61	18.88	19.78



LIMITE LIQUIDO	
LL (%) :	32.43

LIMITE PLASTICO	
LP (%) :	19.42

INDICE DE PLASTICIDAD	
IP (%) :	13.01



LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO NATURAL CON LA COMBINACION AL 20% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO (MTC E-110, MTC E-111, ASTM 4318)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

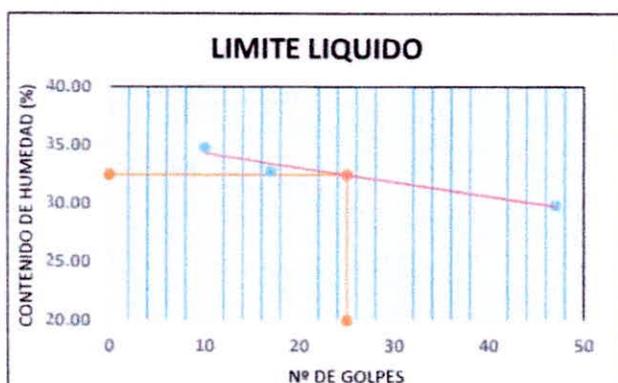
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 19/03/2018

MATERIAL: 580%-CoCe20%

ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	17	21	29	4	5
Nº DE GOLPES					
Nº DE LATA	1	2	3	4	5
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	32.45	33.20	32.25	33.19	30.88
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	30.99	31.45	30.81	32.12	30.02
PESO DE LATA (gr.):	27.29	26.92	27.17	27.85	26.56
PESO DE AGUA (gr.):	1.47	1.75	1.44	1.06	0.86
PESO DE SUELO SECO (gr.):	3.69	4.53	3.65	4.27	3.45
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	39.74	38.60	39.58	24.84	24.90



LIMITE LIQUIDO	
LL (%) :	39.32

LIMITE PLASTICO	
LP (%) :	24.87

INDICE DE PLASTICIDAD	
IP (%) :	14.45



**LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO NATURAL CON LA COMBINACION
AL 25% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON.**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO
(MTC E-110, MTC E-111, ASTM 4318)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

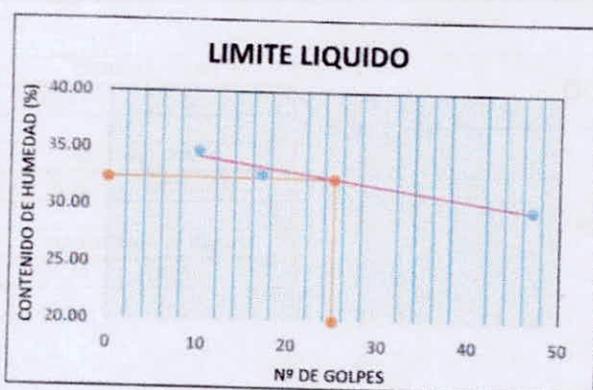
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 19/03/2018

MATERIAL: S75%-CoCe25%

ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	32	18	28	9	10
Nº DE GOLPES					
Nº DE LATA	6	7	8	9	10
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	33.65	33.14	31.88	32.60	33.70
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	31.73	31.65	30.53	31.27	32.30
PESO DE LATA (gr.):	26.99	27.99	27.25	26.65	27.29
PESO DE AGUA (gr.):	1.92	1.49	1.34	1.32	1.40
PESO DE SUELO SECO (gr.):	4.75	3.66	3.29	4.63	5.01
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	40.45	40.80	40.91	28.63	28.02



LIMITE LIQUIDO
LL (%) : 40.74

LIMITE PLASTICO
LP (%) : 28.32

INDICE DE PLASTICIDAD
IP (%) : 12.41



**LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO NATURAL CON LA COMBINACION
AL 30% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON.**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO
(MTC E-110, MTC E-111 , ASTM 4318)**

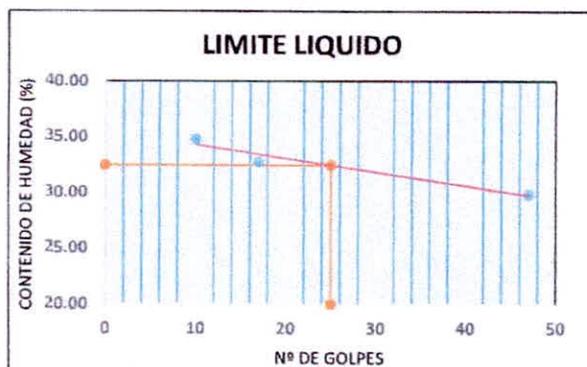
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON
CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 19/03/2018 **MATERIAL:** S70%-CoCe30%

ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	18	23	28	14	15
Nº DE GOLPES	18	23	28	14	15
Nº DE LATA	11	12	13	14	15
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	33.56	32.75	33.87	34.04	32.44
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	31.65	31.08	31.93	32.56	31.13
PESO DE LATA (gr.):	27.18	26.96	26.91	27.58	26.77
PESO DE AGUA (gr.):	1.91	1.68	1.94	1.49	1.31
PESO DE SUELO SECO (gr.):	4.47	4.12	5.03	4.97	4.36
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	42.70	40.65	38.62	29.90	30.05



LIMITE LIQUIDO	
LL (%) :	39.84

LIMITE PLASTICO	
LP (%) :	29.98

INDICE DE PLASTICIDAD	
IP (%) :	9.86



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO "S.U.C.S."

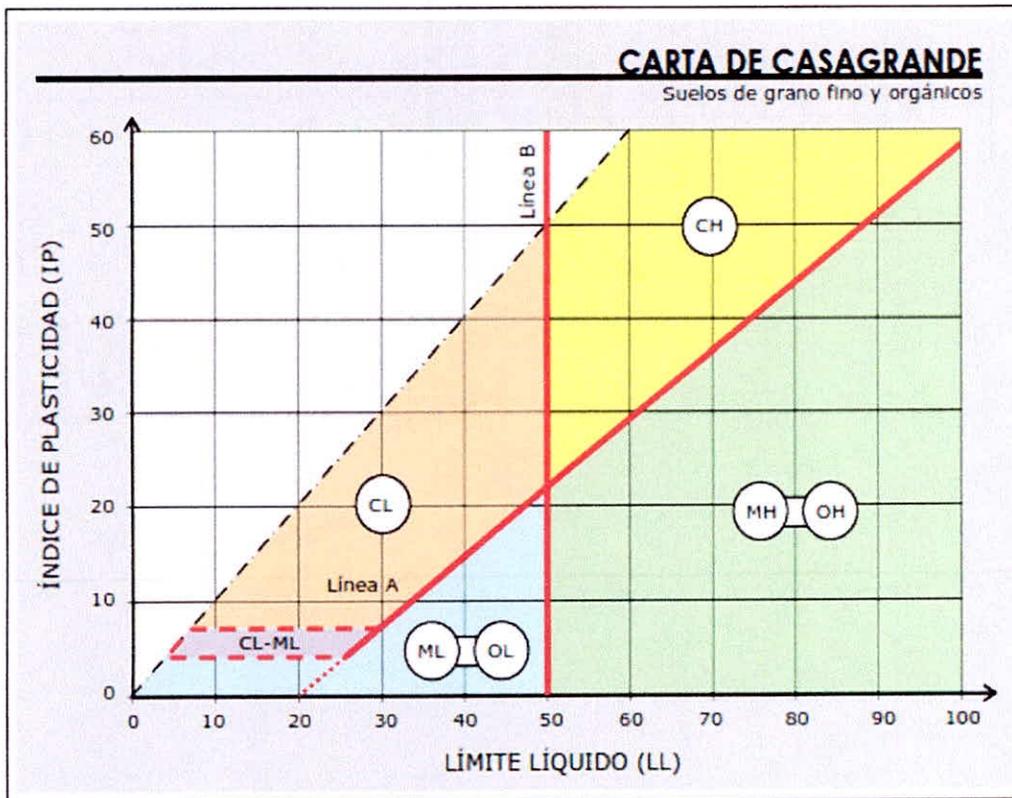
FACTORES	COMBINACIONES			
	0.00	0.20	0.25	0.30
L.LL (%)	32	39	41	40
IP(%)	9	14	15	15
GRUPO	CL	CL	CL	CL

CL: "Arcilla inorganica de baja plasticidad"

La clasificacion SUCS del suelo natural y sus combinaciones se realizó mediante la carta de casagrande

$$\text{Línea A: } IP = 0.73 * (LL - 20)$$

$$\text{Línea B: } LL = 50$$



CLASIFICACION DE SUELOS "AASHTO"

CALCULO DE INDICE DE GRUPO Y CLASIFICACION

$$IG = 0.2 \cdot a + 0.005 \cdot a \cdot c + 0.01 \cdot b \cdot d$$

FACTORES	COMBINACIONES			
	0%	20%	25%	30%
%Pasa malla Nº 200	74	56	54	51
L.L(%)	32	39	41	40
I.P(%)	13	14	12	10
a	39	21	19	16
b	40	40	39	36
c	0	0	1	0
d	3	4	2	0
I.G	9	6	5	3
GRUPO	A-6	A-6	A-7-5	A-4

La clasificación AASHTO del suelo natural y sus combinaciones se realizaron mediante la siguiente tabla utilizando en ella los valores del Limite Liquido(L.L), Indice de Plasticidad(I.P) y el Indice de Grupo

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	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
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Limite liquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP < LL-30)	>41 (IP > LL-30)
Indice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
INDICE 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					

ANEXO 4:
ENSAYOS QUE DETERMINARON LA
CARACTERIZACION MECANICA DEL SUELO
NATURAL Y COMBINACIONES.

PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL, ENSAYO N° 01



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

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

(MTC E-115-ASTM D- 1557)

PROYECTO: ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREORY FELIX

LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

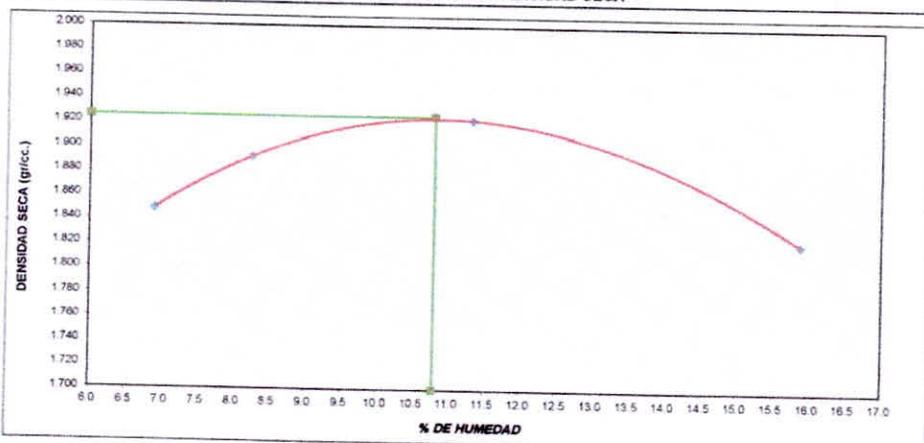
FECHA: 21/02/2018 **MATERIAL:** SUELO NATURAL **N° DE ENSAYO:** 1

METODO	"A"	Volumen Molde	956.04	cm ³
		Peso Molde	3893	gr

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
Peso Suelo + Molde	gr.	5,782	5,851	5,939	5,912
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	1,889	1,958	2,046	2,019
Peso Volumetrico Humedo	gr.	1,976	2,048	2,140	2,112
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	79,297	94,150	72,619	74,759
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	75,938	89,779	69,266	71,016
Peso de la Tara	gr.	26,804	27,021	27,656	26,739
Peso del agua	gr.	3,359	4,371	3,353	3,743
Peso del suelo seco	gr.	49,134	62,758	41,608	44,277
Contenido de agua	%	6.90	8.26	11.32	15.89
Densidad Seca	gr/cc	1.848	1.892	1.922	1.822

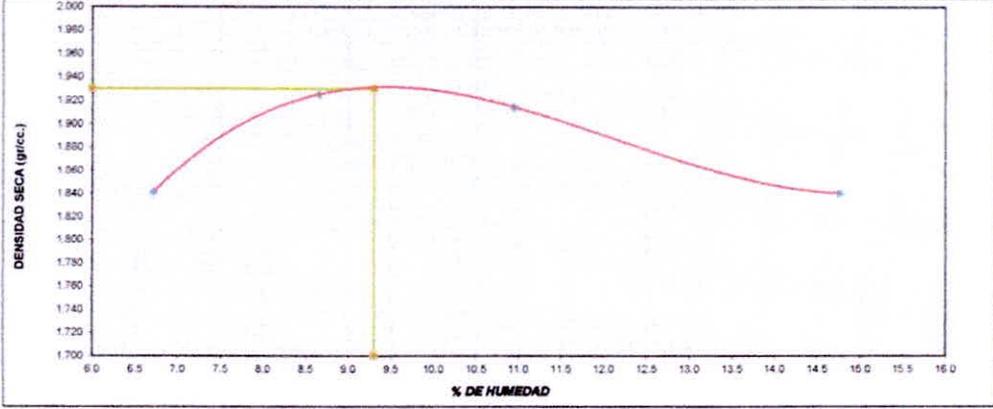
Densidad Máxima Seca 1.925 gr/cm³ **Contenido Humedad Optima** 10.8 %

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA



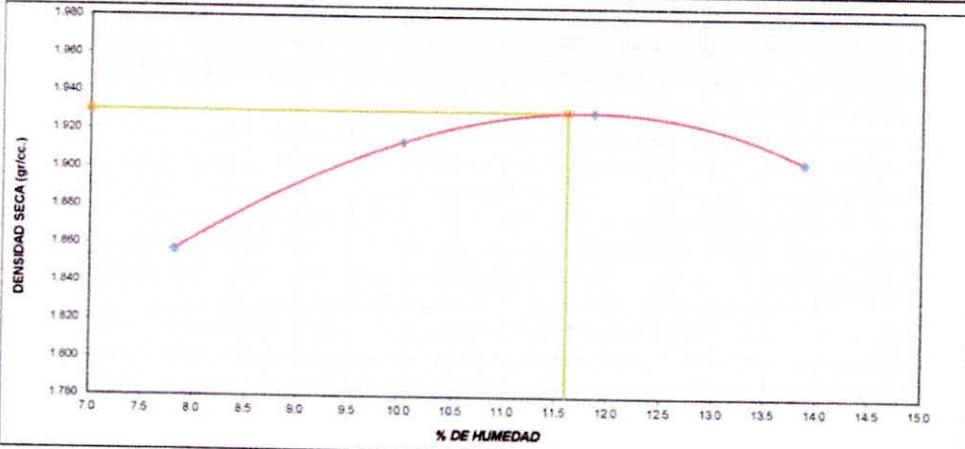


PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL, ENSAYO N° 02.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	
	ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) <small>(MTC E-115-ASTM D-1557)</small>	
PROYECTO :	ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION
TESISTAS:	ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX
LUGAR:	AA HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH
FECHA:	22/02/2018 MATERIAL: SUELO NATURAL N° DE ENSAYO: 2
METODO	"A" Volumen Molde 956.04 cm ³ Peso Molde 3893 gr
NUMERO DE ENSAYOS	1 2 3 4
Peso Suelo + Molde	gr. 5.772 5.893 5.924 5.912
Peso Suelo Humedo Compactado	gr. 1.879 2.000 2.031 2.019
Peso Volumetrico Humedo	gr. 1.965 2.092 2.124 2.112
Peso Suelo Humedo + Tara	gr. 73.530 90.018 70.724 84.410 81.894 89.416 67.484 64.734
Peso Suelo Seco + Tara	gr. 70.472 86.213 67.202 79.864 76.423 83.299 62.198 60.001
Peso de la Tara	gr. 26.479 27.508 26.593 27.195 26.597 27.235 27.375 26.988
Peso del agua	gr. 3.058 3.805 3.522 4.546 5.471 6.117 5.286 4.733
Peso del suelo seco	gr. 43.993 58.707 40.609 52.669 49.826 56.064 34.823 33.013
Contenido de agua	% 6.72 8.65 10.95 14.76
Densidad Seca	gr/cc 1.842 1.925 1.915 1.840
Densidad Maxima Seca	1.830 gr/cm ³ Contenido Humedad Optima 9.3 %
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA	
	

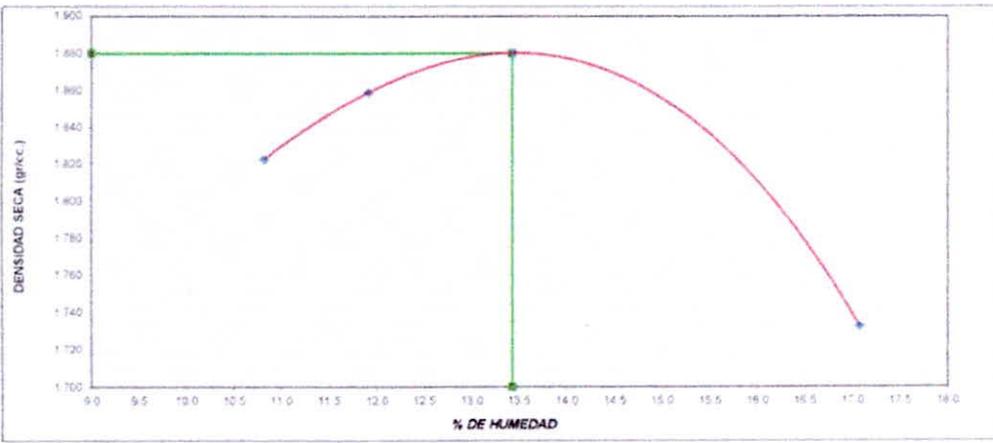


PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL, ENSAYO N° 03

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA					
		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS			
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) <small>(MTC E-115-ASTM D- 1557)</small>					
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION					
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX					
LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH					
FECHA: 22/02/2018		MATERIAL: SUELO NATURAL		N° DE ENSAYO: 3	
METODO		"A"	Volumen Molde	956.04	cm ³
			Peso Molde	3893	gr.
NUMERO DE ENSAYOS					
		1	2	3	4
Peso Suelo + Molde	gr.	5,807	5,906	5,957	5,966
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	1,914	2,013	2,064	2,073
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,002	2,106	2,159	2,168
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	90.087	76.280	77.153	73.576
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	85.735	72.535	72.510	69.456
Peso de la Tara	gr.	26.836	27.090	27.718	26.826
Peso del agua	gr.	4.352	3.745	4.643	4.120
Peso del suelo seco	gr.	58.899	45.445	44.792	42.630
Contenido de agua	%	7.81	10.02	11.85	13.87
Densidad Seca	gr/cc	1.857	1.914	1.930	1.904
Densidad Máxima Seca		1.930		gr/cm ³ .	
				Contenido Humedad Óptima	
				11.6 %	
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA					
					

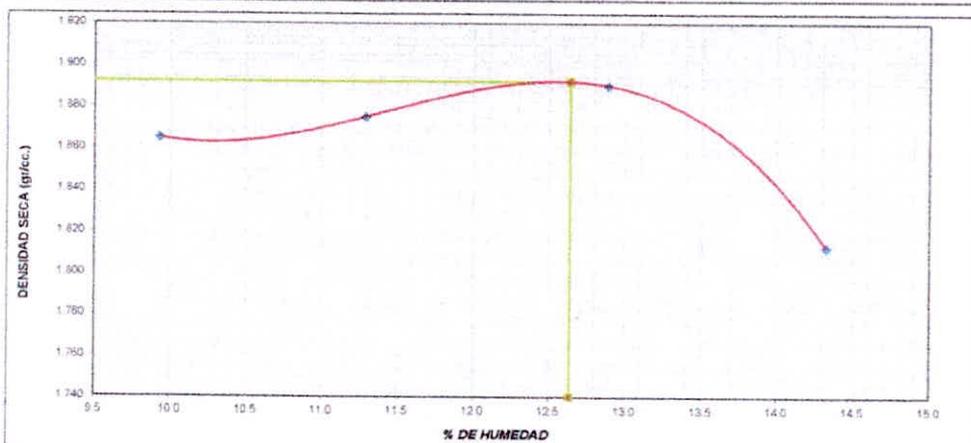


**PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 20%
DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON, ENSAYO N° 01**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA					
 <p align="center">ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</p> <p align="center">COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) <i>(MTC E-115-ASTM D- 1557)</i></p>					
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION					
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX					
LUGAR: AA HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH					
FECHA: 11/03/2018		MATERIAL: S80%-CcCe20%		N° DE ENSAYO: 1	
METODO	"A"	Volumen Molde	956.04	cm ³	
		Peso Molde	3893	gr	
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
Peso Suelo + Molde	gr	5.824	5.882	5.932	5.832
Peso Suelo Humedo Compactado	gr	1.931	1.989	2.039	1.939
Peso Volumetrico Humedo	gr	2.020	2.080	2.133	2.028
Peso Suelo Humedo + Tara	gr	64.394 67.459	65.241 75.624	70.759 74.357	89.598 71.821
Peso Suelo Seco + Tara	gr	61.108 63.156	61.545 70.085	65.463 68.822	80.502 65.123
Peso de la Tara	gr	27.248 27.080	27.832 26.850	26.839 26.792	27.126 27.143
Peso del agua	gr	3.286 4.303	3.696 5.559	5.296 5.535	9.098 6.498
Peso del suelo seco	gr	33.862 36.076	33.713 43.215	38.624 42.030	53.376 37.980
Contenido de agua	%	10.82	11.91	13.44	17.08
Densidad Seca	gr/cc	1.823	1.859	1.880	1.732
Densidad Máxima Seca		1.880 gr/cm³		Contenido Humedad Optima	
				13.4 %	
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA					
					

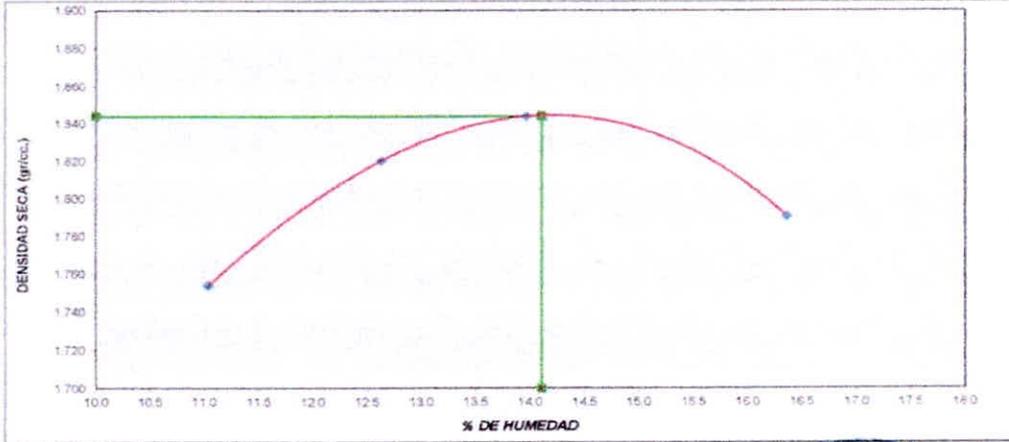


**PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 20%
DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON, ENSAYO N° 02**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA									
		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS							
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) <small>(MTC E-115-ASTM D- 1557)</small>									
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION									
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX									
LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH									
FECHA: 11/03/2018		MATERIAL: S80%-CoCe20%		N° DE ENSAYO: 2					
METODO		"A"	Volumen Molde Peso Molde	956.04 3863	cm ³ gr				
NUMERO DE ENSAYOS									
		1	2	3	4				
Peso Suelo + Molde	gr.	5,853	5,888	5,933	5,874				
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	1,960	1,995	2,040	1,981				
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,050	2,087	2,134	2,072				
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	64,156	68,398	73,542	72,048	83,349	83,395	88,269	88,427
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	61,101	64,341	68,991	67,340	76,913	69,075	80,497	80,749
Peso de la Tara	gr.	26,802	27,298	26,634	27,563	26,973	28,533	26,680	26,717
Peso del agua	gr.	3,055	4,057	4,551	4,708	6,436	14,320	7,772	7,678
Peso del suelo seco	gr.	34,299	37,053	42,357	39,777	49,940	42,542	53,817	54,032
Contenido de agua	%	9.93	11.29	12.89	11.89	12.89	12.89	14.33	14.33
Densidad Seca	gr/cc	1.865	1.875	1.890	1.890	1.890	1.890	1.890	1.812
Densidad Máxima Seca		1.892 gr/cm³		Contenido Humedad Optima		12.6 %			
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA									
									

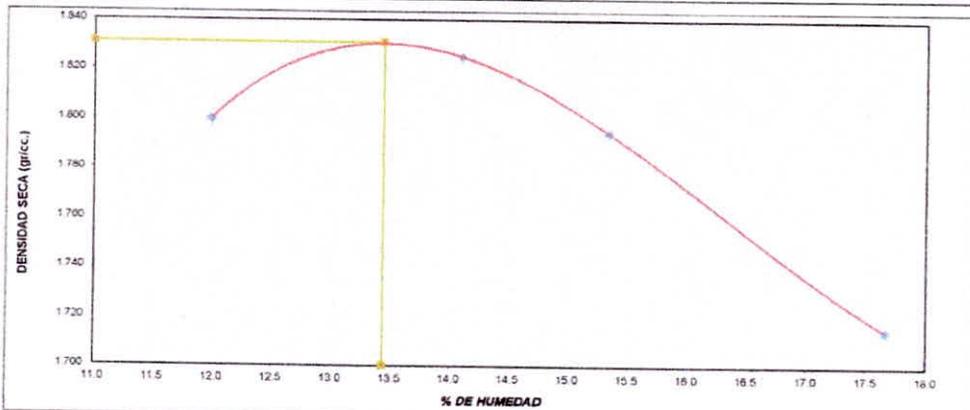


**PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 25%
DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON, ENSAYO N° 01**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA									
		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS							
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) <small>(MTC E-115-ASTM D- 1557)</small>									
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION									
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX									
LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH									
FECHA: 14/03/2018		MATERIAL: S75%-CoCe25%				N° DE ENSAYO: 1			
METODO		"A"		Volumen Molde	956.04	cm ³			
				Peso Molde	3893	gr.			
NUMERO DE ENSAYOS			1	2	3	4			
Peso Suelo + Molde	gr.		5,755	5,853	5,902	5,885			
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.		1,862	1,960	2,009	1,992			
Peso Volumetrico Humedo	gr.		1,948	2,050	2,101	2,064			
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	60.285	69.094	67.480	73.231	71.574	66.291	84.316	75.337
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	56.874	65.079	63.010	68.056	66.140	61.404	76.209	68.612
Peso de la Tara	gr.	27.251	27.077	27.823	26.849	26.833	26.783	27.137	27.122
Peso del agua	gr.	3.411	4.015	4.470	5.175	5.434	4.887	8.107	6.725
Peso del suelo seco	gr.	29.623	38.002	35.187	41.207	39.307	34.621	48.072	41.490
Contenido de agua	%	11.04	12.63	12.63	13.97	13.97	14.11	16.86	16.36
Densidad Seca	gr/cc	1.754	1.820	1.820	1.844	1.844	1.844	1.791	1.791
Densidad Máxima Seca		1.844		gr/cm³.		Contenido Humedad Optima		14.1 %	
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA									
									

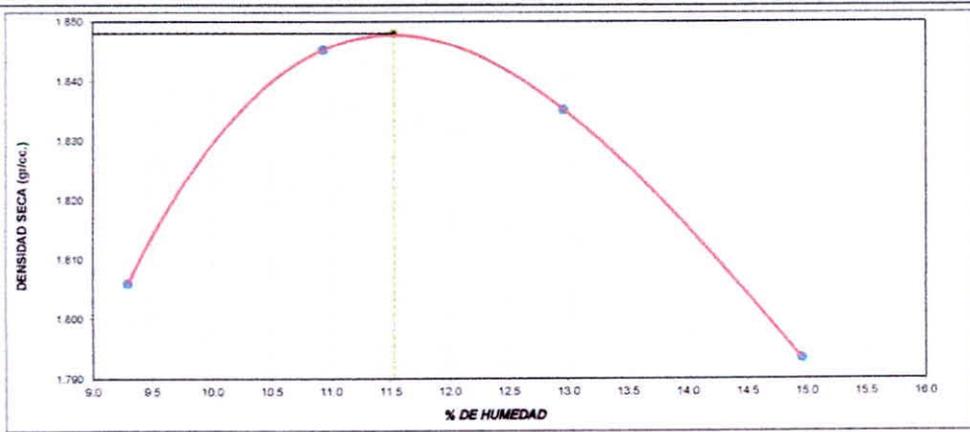


**PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 25%
DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON, ENSAYO N° 02**

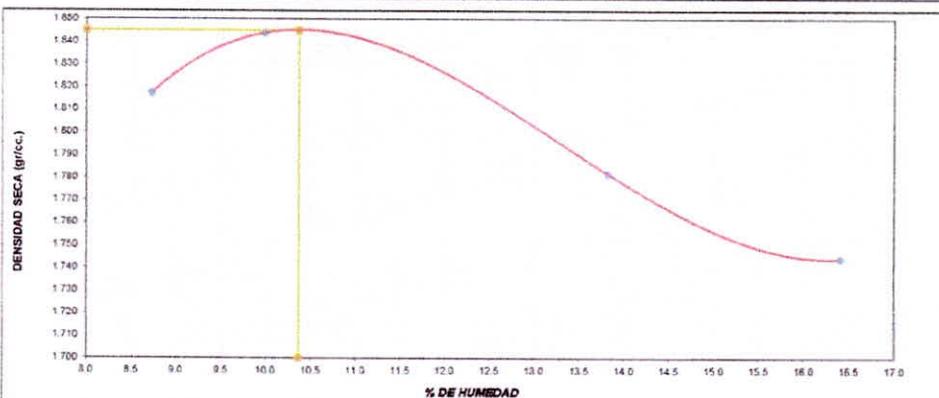
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA																	
																	
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS																	
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) <small>(MTC E-115-ASTM D- 1557)</small>																	
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION																	
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX																	
LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH																	
FECHA: 14/03/2018		MATERIAL: S75%-CoCe25%		N° DE ENSAYO: 2													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">METODO</td> <td style="width:10%;">"A"</td> <td style="width:20%;">Volumen Molde</td> <td style="width:10%;">956.04</td> <td style="width:10%;">cm³</td> <td style="width:10%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Peso Molde</td> <td>3893</td> <td>gr.</td> <td></td> </tr> </table>						METODO	"A"	Volumen Molde	956.04	cm ³				Peso Molde	3893	gr.	
METODO	"A"	Volumen Molde	956.04	cm ³													
		Peso Molde	3893	gr.													
NUMERO DE ENSAYOS																	
		1	2	3	4												
Peso Suelo + Molde	gr.	5,820	5,884	5,872	5,822												
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	1,927	1,991	1,979	1,929												
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,018	2,083	2,070	2,018												
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	68,554	76,009	74,574	88,254												
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	64,019	70,870	68,828	80,531												
Peso de la Tara	gr.	26,776	27,276	26,632	27,543												
Peso del agua	gr.	4,535	5,139	5,748	7,723												
Peso del suelo seco	gr.	37,243	43,594	42,194	52,988												
Contenido de agua	%	11.98	14.10	15.34	17.66												
Densidad Seca	gr/cc	1.800	1.825	1.795	1.715												
Densidad Máxima Seca		1.831	gr/cm ³ .	Contenido Humedad Optima													
				13.4	%												
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA																	
																	



**PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 30%
DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON, ENSAYO N° 01**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA										
										
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS										
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E-115-ASTM D- 1557)										
PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION										
TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX										
LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH										
FECHA: 09/03/2018 MATERIAL: S70%-CoCe30% N° DE ENSAYO: 1										
METODO		"A"		Volumen Molde 956.04 cm ³	Peso Molde 3893 gr.					
NUMERO DE ENSAYOS										
		1		2		3		4		
Peso Suelo + Molde	gr.	5,780		5,850		5,875		5,864		
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	1,887		1,957		1,982		1,971		
Peso Volumetrico Humedo	gr.	1,974		2,047		2,073		2,062		
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	96.771	70.918	72.051	74.172	71.391	69.486	80.784	67.554	
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	90.829	67.166	67.585	69.474	66.328	64.687	73.394	62.615	
Peso de la Tara	gr.	26.854	26.788	26.651	26.591	27.125	27.786	27.245	27.082	
Peso del agua	gr.	5.942	3.752	4.466	4.698	5.063	4.799	7.390	4.939	
Peso del suelo seco	gr.	63.975	40.378	40.934	42.883	39.203	36.901	46.149	35.533	
Contenido de agua	%	9.29		10.93		12.96		14.96		
Densidad Seca	gr/cc	1.806		1.845		1.835		1.793		
Densidad Máxima Seca		1.848		gr/cm ³ .		Contenido Humedad Optima		11.6 %		
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA										
										
										

**PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 30%
DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON, ENSAYO N° 02**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA					
		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS			
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) <small>(MTC E-115-ASTM D- 1557)</small>					
PROYECTO :	ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION				
TESISTAS:	ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE HONORES TANTALEAN GREORY FELIX				
LUGAR:	AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH				
FECHA:	09/03/2018	MATERIAL:	S70%-CcCe30%	N° DE ENSAYO:	2
METODO	"A"	Volumen Molde	956.04	cm ³	
		Peso Molde	3893	gr.	
NUMERO DE ENSAYOS					
		1		2	
Peso Suelo + Molde	gr.	5,782	5,832	5,832	5,834
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	1,889	1,939	1,939	1,941
Peso Volumetrico Humedo	gr.	1,976	2,028	2,028	2,030
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	57,828	84,726	68,871	66,957
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	55,432	80,067	65,120	63,243
Peso de la Tara	gr.	27,832	26,847	26,824	26,771
Peso del agua	gr.	2,396	4,669	3,751	3,714
Peso del suelo seco	gr.	27,600	53,210	38,296	36,472
Contenido de agua	%	8,73	9,99	13,82	16,40
Densidad Seca	gr/cc	1,817	1,844	1,782	1,744
Densidad Máxima Seca		1,846		gr/cm ³ .	
				Contenido Humedad Optima	10,4 %
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA					
					



CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO NATURAL.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO -C.B.R

(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO: ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA: 03/03/2018 **MATERIAL:** SUELO NATURAL

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.928
Óptimo Contenido de Humedad (%)	10.60

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III	
N° de capas		5	5	5	
N° de golpes por capa		56	26	12	
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	11246.00	10937.00	10868.00	
2	Peso del molde [gr]	6719.00	6731.00	6759.00	
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2)	4527.00	4206.00	4109.00
4	Volumen de molde [cm ³]		2123.06	2123.06	2151.09
5	Densidad húmeda [gr/cm ³]	(3)/(4)	2.13	1.98	1.91

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		5	16	3	
6	Peso de la tara, [gr]	26.600	27.229	26.765	
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	73.310	87.298	97.926	
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	68.943	81.627	90.056	
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8)	4.367	5.671	7.870
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6)	42.343	54.398	63.291
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100	10.313	10.425	12.435
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm ³]	5/(1+(11)/100)	1.933	1.794	1.699

c) Prueba de penetración

Area del anillo = 3 pulg²

Presión (libras/pulg²) = (L x 7.36 + 30.18) / 3

Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg ²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.025		3.5	19	1.5	14	0.8	12
0.050		7.0	27	3.0	17	1.6	14
0.075		12.0	39	4.0	20	2.1	15
0.100	1000	16.0	49	5.0	22	2.6	17
0.150		24.0	69	7.0	27	3.7	19
0.200	1500	32.5	90	9.0	32	4.7	22
0.250		43.0	116	12.0	39	6.3	26
0.300	1900	53.0	140	13.5	43	7.1	27
0.400	2300	77.0	199	18.5	55	9.7	34
0.500	2600						





ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO -C.B.R

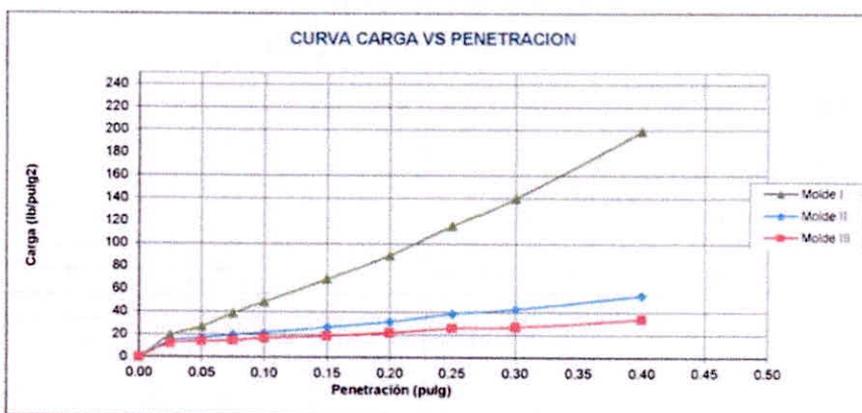
(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

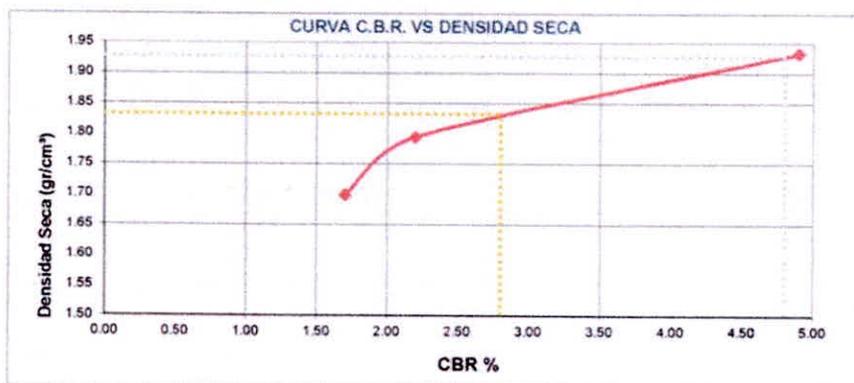
TESISTAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA: 03/03/2018 **MATERIAL:** SUELO NATURAL



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión Patrón (lb/pulg²)	C.B.R. (%)
I	0.1	49.0	1000	4.90
II	0.1	22.0	1000	2.20
III	0.1	17.0	1000	1.70



CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS :	4.80%
CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :	2.80%



CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 20% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO -C.B.R

(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA: 12/03/2018 **MATERIAL:** S80%-CoCe20%

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.886
Optimo Contenido de Humedad (%)	13.00

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III	
N° de capas		5	5	5	
N° de golpes por capa		56	26	12	
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	12722.00	12301.00	11659.00	
2	Peso del molde [gr]	8203.00	8153.00	8210.00	
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2)	4519.00	4148.00	3449.00
4	Volumen de molde [cm ³]	2123.06	2104.92	2132.70	
5	Densidad húmeda [gr/cm ³]	(3)/(4)	2.13	1.97	1.62

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		5	16	3	
6	Peso de la tara, [gr]	27.456	26.813	26.620	
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	89.685	79.540	74.500	
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	82.558	74.023	69.331	
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8)	7.127	5.517	5.170
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6)	55.102	47.210	42.711
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100	12.934	11.687	12.103
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm ³]	5/(11)/100	1.885	1.764	1.443

c) Prueba de penetración

Area del anillo = 3 pulg²

Presión (libras/pulg²) = (L x 7.36 + 30.18) / 3

Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg ²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.025		18.4	55	11.5	38	9.6	34
0.050		35.4	97	22.1	64	18.4	55
0.075		58.4	153	36.5	100	30.4	85
0.100	1000	82.4	212	51.5	136	42.9	115
0.150		137.6	348	86.0	221	71.7	186
0.200	1500	187.2	469	117.0	297	97.5	249
0.250		228.8	571	143.0	361	119.2	302
0.300	1900	265.6	662	166.0	417	138.3	349
0.400	2300	324.8	807	203.0	508	169.2	425
0.500	2600	384.0	952	240.0	599	200.0	501



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R

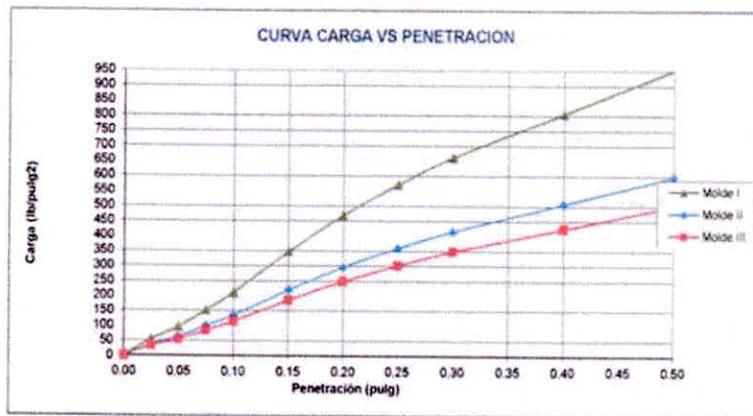
(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

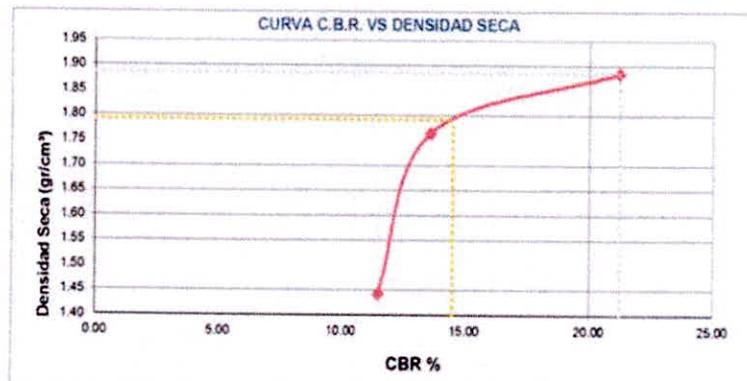
TESISTAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 12/03/2018 MATERIAL: S80%-CoCe20%



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión Patrón (lb/pulg²)	C.B.R. (%)
I	0.1	212.0	1000	21.20
II	0.1	136.0	1000	13.60
III	0.1	115.0	1000	11.50



CBR 0,1° DE PENETRACIÓN A 100% MDS :	21.20%
CBR 0,1° DE PENETRACIÓN A 95% MDS :	14.50%



CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 25% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO -C.B.R

(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO: ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR: AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA: 15/03/2018 **MATERIAL:** S75%-CoCe25%

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.838
Optimo Contenido de Humedad (%)	13.80

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III	
N° de capas		5	5	5	
N° de golpes por capa		56	26	12	
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	11077.00	10754.00	10401.00	
2	Peso del molde [gr]	6719.00	6731.00	6759.00	
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2)	4358.00	4023.00	3642.00
4	Volumen de molde [cm ³]		2123.06	2123.06	2151.09
5	Densidad húmeda [gr/cm ³]	(3)/(4)	2.05	1.89	1.69

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		5	16	3	
6	Peso de la tara, [gr]	27.161	27.330	26.807	
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	87.555	103.786	79.060	
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	80.538	94.910	72.986	
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8)	7.018	8.877	6.074
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6)	53.377	67.580	46.179
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100	13.147	13.135	13.153
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm ³]	5/(1+11)/100	1.814	1.675	1.496

c) Prueba de penetración

Area del anillo = 3 pulg²

Presión (libras/pulg²) = (L x 7.36 + 30.18) / 3

Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg ²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.025		17.9	54	11.0	37	12.0	39
0.050		38.7	105	26.7	76	23.5	68
0.075		65.0	170	42.9	115	36.8	100
0.100	1000	94.9	243	62.0	162	51.1	135
0.150		164.3	413	95.1	243	71.0	184
0.200	1500	223.4	558	112.0	285	80.9	209
0.250		258.9	645	132.8	336	87.1	224
0.300	1900	281.9	702	144.9	366	93.0	238
0.400	2300	314.8	782	172.0	432	102.9	262
0.500	2600	357.1	886	207.0	518	113.8	289



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO -C.B.R

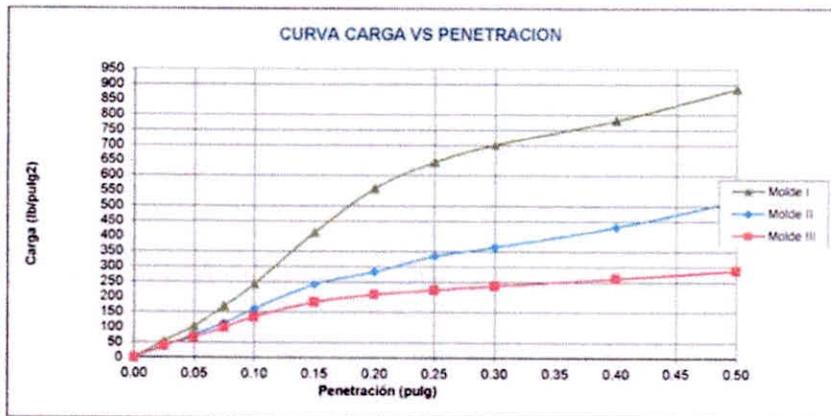
(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

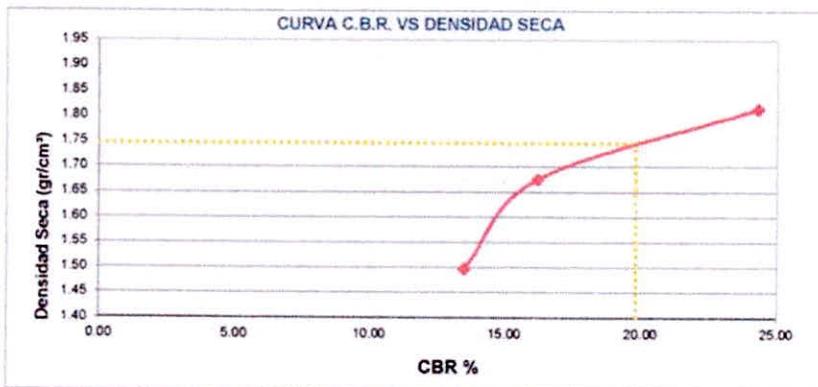
TESISTAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA: 15/03/2018 MATERIAL: S75%-CoCe25%



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión Patrón (lb/pulg²)	C.B.R. (%)
I	0.1	243.0	1000	24.30
II	0.1	162.0	1000	16.20
III	0.1	135.0	1000	13.50



CBR 0,1° DE PENETRACIÓN A 100% MDS :	
CBR 0,1° DE PENETRACIÓN A 95% MDS :	19.80%



CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO NATURAL Y SU COMBINACION AL 30% DE CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO -C.B.R

(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

TESISTAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA: 10/03/2018 **MATERIAL:** S70%-CoCe30%

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.847
Optimo Contenido de Humedad (%)	11.00

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III
N° de capas		5	5	5
N° de golpes por capa		56	26	12
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	10774.00	10621.00	10355.00
2	Peso del molde [gr]	6719.00	6731.00	6759.00
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2)	4055.00	3890.00
4	Volumen de molde [cm ³]	2123.06	2123.06	2151.09
5	Densidad húmeda [gr/cm ³]	(3)/(4)	1.91	1.83

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		5	16	3
6	Peso de la tara, [gr]	27.457	26.819	26.624
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	69.055	81.787	83.653
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	66.301	78.477	79.673
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8)	2.754	3.310
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6)	38.844	51.658
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100	7.090	6.408
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm ³]	5/(11)/100	1.784	1.722

c) Prueba de penetración

Area del anillo = 3 pulg²

Presión (libras/pulg²) = (L x 7.36+30.18)/3

Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg ²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.025		25.2	72	16.8	51	14.0	44
0.050		41.4	112	27.6	78	23.0	66
0.075		58.5	154	39.0	106	32.5	90
0.100	1000	76.5	198	51.0	135	42.5	114
0.150		113.4	288	75.6	196	63.0	165
0.200	1500	147.6	372	98.4	251	82.0	211
0.250		171.0	430	114.0	280	95.0	243
0.300	1900	194.4	487	129.6	328	108.0	275
0.400	2300	234.0	584	156.0	393	130.0	329
0.500	2600	268.2	668	178.8	449	149.0	376





ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO -C.B.R

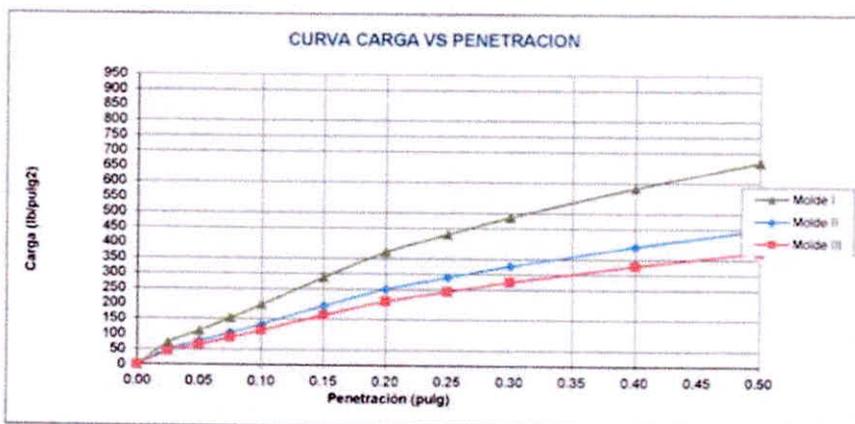
(MTC E-132, ASTM D-1883)

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

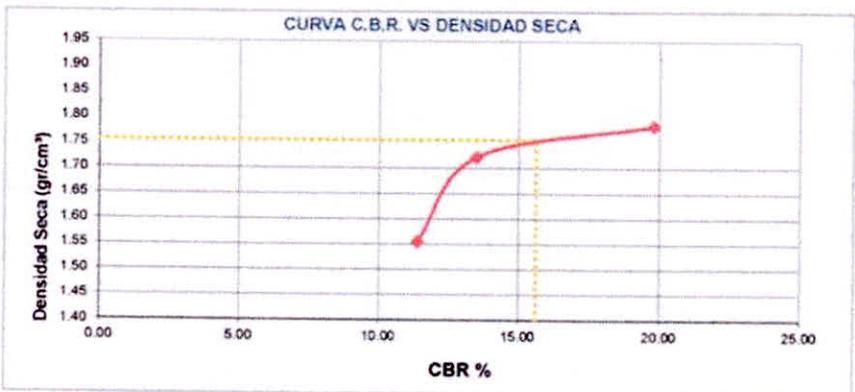
TESISTAS : ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

LUGAR : AA.HH NUEVO SANTA-PROVINCIA DEL SANTA-ANCASH

FECHA : 10/03/2018 **MATERIAL:** S70%-CoCe30%



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión Patrón (lb/pulg²)	C.B.R. (%)
I	0.1	198.0	1000	19.80
II	0.1	135.0	1000	13.50
III	0.1	114.0	1000	11.40



CBR 0,1° DE PENETRACIÓN A 100% MDS :	
CBR 0,1° DE PENETRACIÓN A 95% MDS :	15.6%



ANEXO 5.
RESULTADOS DE CARACTERIZACION QUIMICA
DE LAS CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE
CARBON.

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CONCHAS DE ABANICO CALCINADAS.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0521 – 18 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : TATIANA DIANNE ESPINOZA EUSEBIO/
GREGORY FELIX HONORES TANTALEAN
 - 1.2 DNI : 72692293/ 73866244
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 16 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 16 / 04 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 18 / 04 / 2018
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE MUESTRA DE CONCHAS DE ABANICO CALCINADAS
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CONCHAS DE ABANICO CALCINADAS
 - 4.2 TESIS : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN"
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25.0 °C; Humedad relativa: 65%
7. **EQUIPOS UTILIZADOS** : ANALIZADOR DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X.
OLYMPUS, VANTA M.
MUFLA. DAIHAN INSTRUMENTS.
8. **RESULTADOS**
- 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**



ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Humedad	0.88	Gravimetría
Materia orgánica	16.74	Gravimetría
Calcio, Ca	48.569	Fluorescencia de Rayos X
Elementos livianos ⁽¹⁾	32.413	
Magnesio, Mg	0.692	
Hierro, Fe	0.171	
Fósforo, P	0.159	
Estroncio, Sr	0.140	
Azufre, S	0.098	
Silicio, Si	0.087	
Titanio, Ti	0.021	
Manganeso, Mn	0.011	
Zinc, Zn	0.006	
Cromo, Cr	0.005	
Cobre, Cu	0.005	
Molibdeno, Mo	0.002	

⁽¹⁾ Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Humedad	0.88	Gravimetría
Materia orgánica	16.74	Gravimetría
Óxido de calcio, CaO	48.569	Fluorescencia de Rayos X ⁽²⁾
Elementos livianos ⁽¹⁾	32.413	
Óxido de magnesio, MgO	0.692	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.171	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.159	
Óxido de estroncio, SrO	0.140	
Óxido de azufre, SO ₃	0.098	
Óxido de silicio, SiO ₂	0.087	
Óxido de titanio, TiO ₂	0.021	
Óxido de manganeso, MnO	0.011	
Óxido de zinc, ZnO	0.006	
Óxido de cromo, Cr ₂ O ₃	0.005	
Óxido de cobre, CuO	0.005	
Óxido de molibdeno, MoO ₃	0.002	

⁽¹⁾ Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

⁽²⁾ Valores de óxidos calculados del análisis elemental.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Nadia Rodriguez
Analista
LABICER - UNI



M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable de Análisis
Jefa de Laboratorio
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS DE CARBÓN.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0522 – 18 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : TATIANA DIANNE ESPINOZA EUSEBIO/
GREGORY FELIX HONORES TANTALEAN
 - 1.2 DNI : 72692293/ 73866244
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 16 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 16 / 04 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 18 / 04 / 2018
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE MUESTRA DE CENIZAS DE CARBÓN
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CENIZAS DE CARBÓN
 - 4.2 TESIS : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN"
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25.0 °C; Humedad relativa: 65%
7. **EQUIPOS UTILIZADOS** : ANALIZADOR DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X.
OLYMPUS, VANTA M.
MUFLA. DAIHAN INSTRUMENTS
8. **RESULTADOS**
 - 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**



ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Humedad	0.70	Gravimetría
Materia orgánica	0.88	Gravimetría
Elementos livianos ⁽¹⁾	57.515	Fluorescencia de Rayos X
Silicio, Si	23.008	
Aluminio, Al	11.972	
Hierro, Fe	1.537	
Potasio, K	1.329	
Titanio, Ti	1.066	
Calcio, Ca	1.032	
Azufre, S	0.533	
Fósforo, P	0.334	
Zinc, Zn	0.031	
Manganeso, Mn	0.028	
Estroncio, Sr	0.023	
Cobre, Cu	0.012	

⁽¹⁾ Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Humedad	0.70	Gravimetría
Materia orgánica	0.88	Gravimetría
Elementos livianos ⁽¹⁾	40.843	Fluorescencia de Rayos X ⁽²⁾
Óxido de silicio, SiO ₂	34.954	
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	16.064	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	1.561	
Óxido de potasio, K ₂ O	1.137	
Óxido de titanio, TiO ₂	1.263	
Óxido de calcio, CaO	1.025	
Óxido de azufre, SO ₃	0.946	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.544	
Óxido de zinc, ZnO	0.027	
Óxido de manganeso, MnO	0.025	
Óxido de estroncio, SrO	0.019	
Óxido de cobre, CuO	0.011	

⁽¹⁾ Elementos livianos (desde el hidrógeno al sodio).

⁽²⁾ Valores de óxidos calculados del análisis elemental.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


 Bach. Nadia Rodríguez
 Analista
 LABICER -UNI




 M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Responsable de Análisis
 Jefa de Laboratorio
 CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

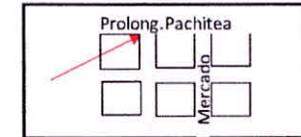
ANEXO 6:
AFORO VEHICULAR- IMDA

PROYECTO: ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON , CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

AFORADOR(A): ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
CORDINADOR: HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX

Esquema



CONDICION CLIMATICA	SOLEADO
SENTIDO:	DERECHA (D) , IZQUIERDA(I)
UBICACIÓN	PROLONGACION PACHITEA , AA.HH NVO SANTA , SANTA

ESTACION	PACHITEA
DIA	SÁBADO
FECHA	28/04/2018

HORA	SENTIDO	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
					PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	B2	B3	C2	C3	C4	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	T3S3	2T2	T3SE2	3T2	C3R4		
8-9	D	63	45	11	15	3	14	12	5		15		2					3				1	288
	I	31	17	4	8	2	9	8	4		12		2					2					
9-10	D	52	39	9	13	2	12	11	4		13	1											247
	I	27	16	5	6	2	10	9	2		12		2										
10-11	D	48	35	8	13	1	9	9	3		11		1					1					211
	I	28	12	3	6	1	3	7	3		8		1										
11-12	D	42	25	5	12		7	7	1		9	1						1					183
	I	24	16	2	5	2	8	5			9							2					
12-13	D	53	32	3	6	3	2	6	1		11												197
	I	41	11	3	8	1	3	5	1		5	1										1	
13-14	D	31	26	9	10	2	7	7	1		5		1					2					164
	I	17	18	3	6		1	6	2		9							1					
14-15	D	25	22	7	8	2	6	5	1		3		1										126
	I	13	12	5	4	1	1	2	2		3		1					1		1			
15-16	D	22	19	5	3	1	4	2	1		2												93
	I	11	9	3	2		1	3	1		2	1						1					
16-17	D	18	17	4	3	1	3	4	1		5		1										96
	I	13	10	4	4	1	2	2	2		2									1			
17-18	D	31	24	12	7	1	6	12	2		13	1						2				1	167
	I	16	4	6	9	1	3	4	3		7	1	1										
18-19	D	29	27	8	11	1	9	5	3		6	2						1		1			144
	I	21	7	2	1		1	4	1		2		1					1					
19-20	D	22	14	1	5	1	1		1		1	1											67
	I	15	4		1																		
TOTAL		693	461	122	166	29	122	135	43	0	165	9	14	0	0	0	18	0	3	0	3	1983	

FACTORES DE
CORRECCION PARA
DETERMINAR EL

PEAJE	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo	
	Ligeros	Pesados								
ZARUMILLA	1.06579588	0.95159804	0.98574334	0.87184409	1.05797476	0.96170966	1.06209225	0.97769972	1.20812613	1.13644859
CANCAS	0.98095946	1.02264281	0.90103561	0.97240387	1.00490109	0.96737195	1.08750856	1.06445403	1.32935258	1.20403204
TALARA	0.96068573	1.06652305	0.97078082	1.00970233	1.02836006	1.00388256	1.07375941	1.02959480	1.13588075	1.02989457
TAMBO GRANDE	0.86866394	0.66955579	0.92934777	0.76582179	1.03809614	1.10612149	1.12611221	1.37553884	1.16176526	1.26975923
PIURA SULLANA	0.90535656	0.98898111	0.89882313	0.95061471	0.98919578	1.00918392	1.08178555	1.06732564	1.11104057	1.06210642
CHULUCANAS	0.97738636	0.98652256	1.03384005	0.98145863	1.13359904	1.14698754	1.13848101	1.13828418	1.08194473	1.09127364
BAYOVAR	0.93097675	0.94323256	0.98350915	0.95561674	0.93999663	1.02917542	1.20134902	1.19732710	1.14087880	1.07041223
OLMOS	1.03883787	1.03483522	1.07916008	1.05430639	1.12932983	1.05453678	1.12979866	1.06180495	1.14402809	1.10078242
MORROPE	0.87737021	0.95533106	0.94284169	0.96399285	1.04138931	1.00581206	1.13454783	1.10722854	1.16912499	1.08689726
MOCCE	0.96429443	1.01729579	0.95025526	1.06795575	1.00181291	1.15447676	1.10839991	1.12158500	1.11020716	1.02896671
PACANGUILLA	0.94724072	0.94841164	0.98455351	0.95858341	1.06104078	1.01104822	1.03694835	1.47249474	1.08814591	1.24596916
CIUDAD DE DIOS	0.98979458	1.09694894	0.99568264	1.02682850	1.07811537	1.08161391	1.05675462	1.05864898	1.01028042	1.10709709
CHICAMA	0.97104355	1.00548785	0.96755719	1.00961017	1.00680821	1.06709110	1.01040906	1.10187263	1.04972649	1.10253596
VIRU	0.97913831	0.98119260	0.96636811	0.98233870	1.00923050	1.00457285	0.99443092	1.04891382	1.08253846	1.07638259
VESTIQUE	0.83976421	0.97914205	0.87938061	0.98576509	0.97378959	1.00808018	1.04803948	1.07106765	1.09814446	1.08639026
HUARMEY	0.89508045	0.96622365	0.92191022	0.97679022	1.00580747	1.01089113	0.98562777	1.08185952	1.16132302	1.11027618
TUNAN	1.11269700	1.02232923	1.12596531	1.05948846	1.10784668	1.10921016	0.96584554	1.07905521	1.08672480	1.02943687

**PROYECTO: ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y CENIZAS DE CARBON CON FINES
DE PAVIMENTACIÓN**

**TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONORES TANTALEAN GREGORY FELIX**

FECHA: 06/05/2018

UBICACIÓN: PROLONGACION PACHITEA, AA.HH NUEVO SANTA

CALCULO DEL INDICE MEDIO DIARIO (IMDA)

TIPO DE VEHICULO	DIA		TOTAL DIARIO	IMDS	FACTOR DE CORRECCION	IMDA	DISTRIBUCION (%)
	SABADO	LUNES					
MOTOS	693	907	1600	800	1.04803948	838	35.51
AUTO	461	536	997	499	1.04803948	522	22.13
STATION WAGON	122	156	278	139	1.04803948	146	6.17
PICK UP	166	206	372	186	1.04803948	195	8.26
PANEL	29	58	87	44	1.04803948	46	1.93
COMBI	122	165	287	144	1.04803948	150	6.37
MICRO	135	148	283	142	1.07106765	152	6.42
BUS 2B	43	63	106	53	1.07106765	57	2.40
CAMION 2C	165	190	355	178	1.07106765	190	8.05
CAMION 3C	9	13	22	11	1.07106765	12	0.50
CAMION 4C	14	27	41	21	1.07106765	22	0.93
SEMITRAYLER T3S3	18	27	45	23	1.07106765	24	1.02
TRAYLER T3SE2	3	4	7	4	1.07106765	4	0.16
TRAYLER C3R4	3	4	7	4	1.07106765	4	0.16
				2244		2361	

ANEXO 7:
FACTOR DE TRAFICO EN PAVIMENTO FLEXIBLE

PROYECTO : ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CENIZAS DE CARBON CON FINES DE PAVIMENTACION

**TESISTAS: ESPINOZA EUSEBIO TATIANA DIANNE
HONRES TANTALEAN GREGORY FELIX**

**UBICACIÓN: PROLONGACION PACHITEA, AA.HH NVO SANTA, SANTA
FECHA 06/04/2018**

FACTOR DE TRAFICO EN PAVIMENTO FLEXIBLE

Pt= 2.5 Índice de serviciabilidad (bondad de servicio) L2=1 Eje Simple
 SN= 5 Número estructural, (calidad de la capa) L2=2 Eje Tandem
 Lx = Carga en Kips sobre un eje Simple, Tandem y tridem L2=3 Eje Tridem
 L2 = 1, 2, 3 Código de eje

$$EALF = \frac{W_{118}}{W_n}$$

EALF = FACTOR DE EJE DE CARGA EQUIVALENTE :

Es el número de cargas equivalentes que definen el daño por paso, sobre una superficie de rodadura debido al eje en cuestión, en relación al paso de un eje de carga Stándar, que usualmente es de 18 Kips=18000lb Calculado mediante las siguientes expresiones

$$\log\left(\frac{W_{cs}}{W_{118}}\right) = 4.79 \log(18+1) - 4.79 \log(Lx + L2) + 4.33 \log(L2) + \frac{G_s - G_t}{B_s - B_t}$$

$$B_s = 0.4 + \frac{0.08(Lx + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{2.19} L2^{3.23}}$$

$$B_t = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{2.19}}$$

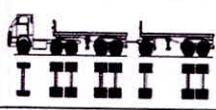
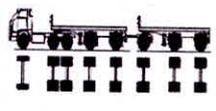
$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}\right)$$

B₁₈= 0.499 Para Lx=18 y L2=1 G_t= -0.201

MEDIO DE TRANSPORTE	IMDA	PESO TOTAL (Tn)	PESO POR EJES (Tn)			PESO TOTAL (Kips)	Lx POR EJES (Kips)	L2	B _s	EALF _i (POR EJE)	FACTOR CAMIÓN FC=ΣEALF _i	FC*IMDA
			EJE	%	Lx							
VEHICULOS MENORES												
CATEGORIA " L " 838												
MOTOKAR / MOTO LINEAL	838	0.30	Del.	30.0%	0.09	0.661	0.198	1	0.400	0.0000022	0.000008	0.0067612
			Post. 01	70.0%	0.21							
VEHIC. MAYOR												
CATEGORIA " M " 1116												
AUTOMOVILES												
STATION WAGON	146	3.50	Del.	50.0%	1.75	7.709	3.855	1	0.401	0.0018174	0.003635	0.5295175
			Post. 01	50.0%	1.75							
CAMONETA PICK UP	195	5.00	Del.	50.0%	2.50	11.013	5.507	1	0.403	0.0073516	0.014703	2.8661833
			Post. 01	50.0%	2.50							
PANEL	46	5.00	Del.	50.0%	2.50	11.013	5.507	1	0.403	0.0073516	0.014703	0.6703171
			Post. 01	50.0%	2.50							
COMBI	150	7.00	Del.	50.0%	3.50	15.419	7.709	1	0.408	0.0293085	0.058617	8.8156288
			Post. 01	50.0%	3.50							
BUS (B2)	57	18.00	Del.	38.9%	7.00	39.648	15.419	1	0.462	0.5353527	3.680582	208.9340485
			Post. 01	61.1%	11.00							
BUS (B3-1)	0		Del.		7.00							
			Post. 01		16.00							
BUS (B4-1)	0		Del.		14.00							
			Post. 01		16.00							
BUS (BA-1)	0		Del.		7.00							
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		7.00							
VEHICULOS PESADOS												
CATEGORIA " N " 256												
C-CAMION												
CAMION (C2)	190	17.00	Del.	41.2%	7.00	37.445	15.419	1	0.462	0.5353527	2.729044	518.8308889
			Post. 01	58.8%	10.00							
CAMION (C3)	12	23.00	Del.	30.4%	7.00	50.661	15.419	1	0.462	0.5353527	1.799111	21.1966674
			Post. 01	69.6%	16.00							
CAMION (C4)1-3	22	30.00	Del.	23.3%	7.00	66.079	15.419	1	0.462	0.5353527	1.819288	39.9459055
			Post. 01	76.7%	23.00							
CAMION (C4)2-2			Del.		14.00							
			Post. 01		18.00							
CATEGORIA " O "												
TS=TRACTO CAMIÓN + SEMIREMOLQUE												
T2S1	0		Del.		7.00							
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		11.00							
T2S2	0		Del.		7.00							
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		18.00							
T2Se2	0		Del.		7.00							
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		11.00							
			Post. 03		11.00							
T2S3	24	43.00	Del.	15.3%	7.00	94.714	15.419	1	0.462	0.5353527	5.471854	131.8663260
			Post. 01	25.6%	11.00							
			Post. 02	58.1%	25.00							
T2Se3	0		Del.		7.00							
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		11.00							
			Post. 03		18.00							
T3S1	0		Del.		7.00							
			Post. 01		18.00							
			Post. 02		11.00							

T3S2		0		Del.	7.00	103.524		1			8.836797	33.1268263
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	18.00			2				
T3Se2		4	47.00	Del.	14.9%	7.00	15.419	1	0.462	0.5353527		
				Post. 01	38.3%	18.00	39.648	2	0.533	2.0109866		
				Post. 02	23.4%	11.00	24.229	1	0.647	3.1452289		
				Post. 03	23.4%	11.00	24.229	1	0.647	3.1452289		
T3S3		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	25.00			3				
T3Se3		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	18.00			2				
CR=CAMIÓN + REMOLQUE												
C2R2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	11.00			1				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	11.00			1				
C2R3		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	11.00			1				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	18.00			2				
C3R2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	11.00			1				
C3R3		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	18.00			2				
C3R4		4	61.00	Del.	11.5%	7.00	15.419	1	0.462	0.5353527	6.568313	24.6228749
				Post. 01	29.5%	18.00	39.648	2	0.533	2.0109866		
				Post. 02	29.5%	18.00	39.648	2	0.533	2.0109866		
				Post. 03	29.5%	18.00	39.648	2	0.533	2.0109866		
C4R2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	23.00			3				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	11.00			1				
C4R3		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	23.00			3				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	18.00			2				
C4R2		0		Del.	14.00			2				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	11.00			1				
C4R3		0		Del.	14.00			2				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	11.00			2				
C4R4		0		Del.	14.00			2				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	18.00			2				
				Post. 03	18.00			2				
CRB=CAMIÓN + REMOLQUE BALANCEADO												
C2RB1		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	11.00			1				
				Post. 02	11.00			1				
C2RB2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	11.00			1				
				Post. 02	18.00			2				
C3RB1		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
C3RB2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	18.00			2				
C4RB1		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	23.00			3				
				Post. 02	11.00			1				
C4RB2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	23.00			3				
				Post. 02	18.00			2				
C4RB1		0		Del.	14.00			2				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
C4RB2		0		Del.	14.00			2				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	18.00			2				
TS=TRACTO CAMIÓN + SEMIREMOLQUE DOBLE												
T3S2S2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	18.00			2				
				Post. 03	18.00			2				
T3Se2Se2		0		Del.	7.00			1				
				Post. 01	18.00			2				
				Post. 02	11.00			1				
				Post. 03	11.00			1				
				Post. 04	11.00			1				
				Post. 05	11.00			1				

TS=TRACTO CAMION + SEMIREMOLQUE TRIPLE

T3S2S1S2		0	Del.	7.00		1			
	Post. 01		18.00		2				
	Post. 02		18.00		2				
	Post. 03		11.00		1				
	Post. 04		18.00		2				
T3Se2S1Se2		0	Del.	7.00		1			
	Post. 01		18.00		2				
	Post. 02		11.00		1				
	Post. 03		11.00		1				
	Post. 04		11.00		1				
	Post. 05		11.00		1				
	Post. 06		11.00		1				
	DICE MEDIO DIARIO ANUAL		2210						

- r = 4.08% Tasa de crecimiento
- Y = 20 Período de diseño
- G = Factor de de crecimiento
- D= 0.5 Factor de Distribución en Dirección
- L= 1 Factor de Distribución por Camil

$$(G)(Y) = \frac{(1+r)^Y - 1}{r}$$

(G)(Y) = 30.0265 FACTOR DEL TRAFICO VEHICULAR ACUMULADO

$$ESAL = \sum_{i=1}^{i=m} \text{FACTORCAMIÓN}_i \times \text{IMD}_i (G)(D)(L)(Y) \times 365 = 5,438,623.04$$

ANEXO 8:
DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE EL
METODO ASSTHO -93.

INDICADOR	UNIDAD	VALOR	COMENTARIOS
1.1	mm	100	
1.2	mm	100	
1.3	mm	100	
1.4	mm	100	
1.5	mm	100	
1.6	mm	100	
1.7	mm	100	
1.8	mm	100	
1.9	mm	100	
1.10	mm	100	
1.11	mm	100	
1.12	mm	100	
1.13	mm	100	
1.14	mm	100	
1.15	mm	100	
1.16	mm	100	
1.17	mm	100	
1.18	mm	100	
1.19	mm	100	
1.20	mm	100	
1.21	mm	100	
1.22	mm	100	
1.23	mm	100	
1.24	mm	100	
1.25	mm	100	
1.26	mm	100	
1.27	mm	100	
1.28	mm	100	
1.29	mm	100	
1.30	mm	100	
1.31	mm	100	
1.32	mm	100	
1.33	mm	100	
1.34	mm	100	
1.35	mm	100	
1.36	mm	100	
1.37	mm	100	
1.38	mm	100	
1.39	mm	100	
1.40	mm	100	
1.41	mm	100	
1.42	mm	100	
1.43	mm	100	
1.44	mm	100	
1.45	mm	100	
1.46	mm	100	
1.47	mm	100	
1.48	mm	100	
1.49	mm	100	
1.50	mm	100	

ANEXO 9:
PANEL FOTOGRAFICO.

ENSAYO DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA MEDIANTE PROCESO DE TAMIZADO DEL SUELO NATURAL Y SUS COMBINACIONES AL 20%,25% Y 30%.



Foto N° 1:

Selección de material mediante el proceso de cuarteo, para cada ensayo.

Foto N° 2:

Proceso de lavado de la muestra del suelo natural seleccionada, utilizando la malla #200, con el fin de evitar la acumulación de terrones y ser tamizados luego sin dificultad



Foto N° 3:

Colocación de la muestra retenida y la que pasa el tamiz #200 en recipientes para luego realizar su proceso de secado.

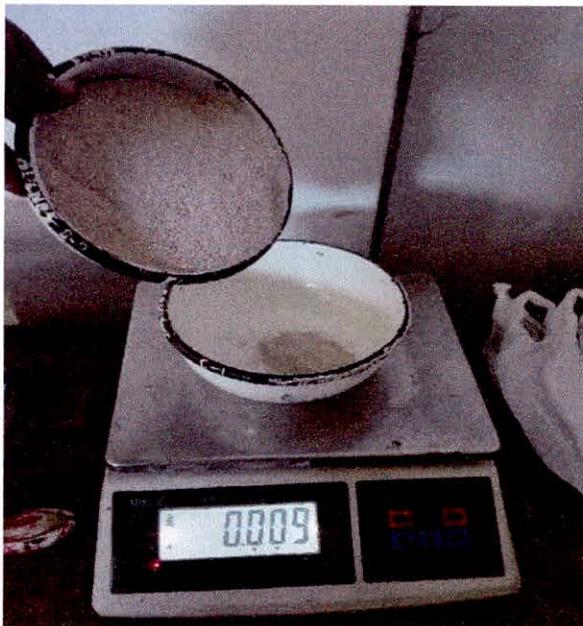
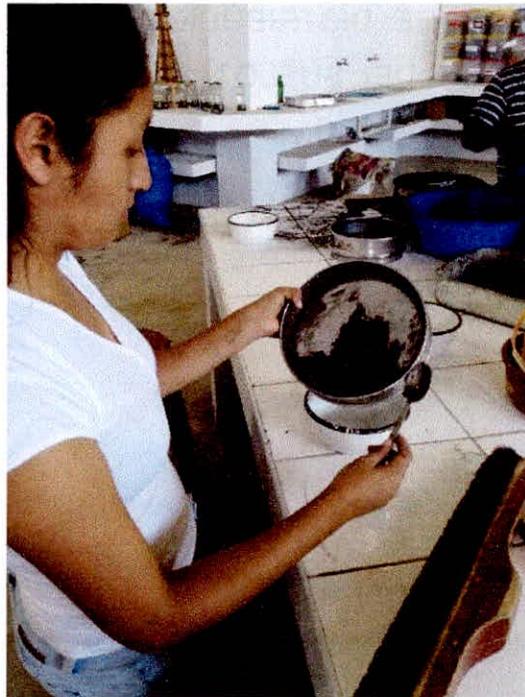


Foto N°4:

Obtención de muestra seca retenida en la malla #200. La cantidad de conchas calcinadas y cenizas de carbón se encuentra en relación de 1 a 3 con respecto al porcentaje de combinación.

Foto N° 5:

Colocación de los tamices. El número de tamices está en función al tipo de suelo.

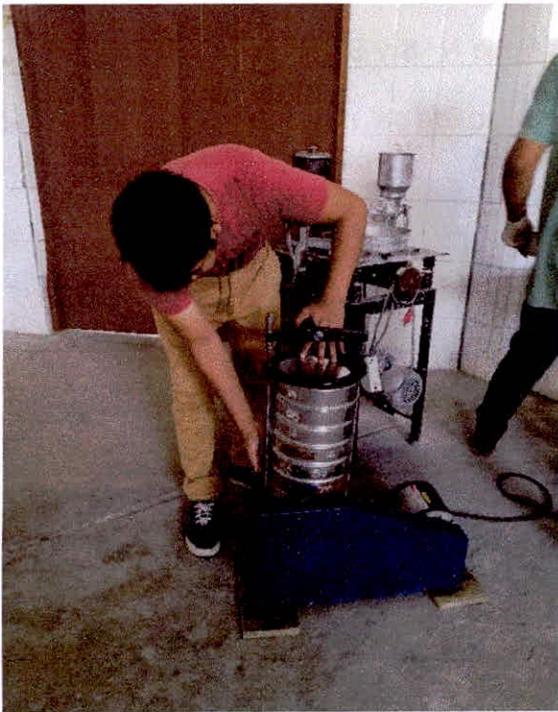


Foto N° 6:

Proceso de tamizado. se coloca la muestra en el tamizador mecánico por un tiempo de 10 minutos.

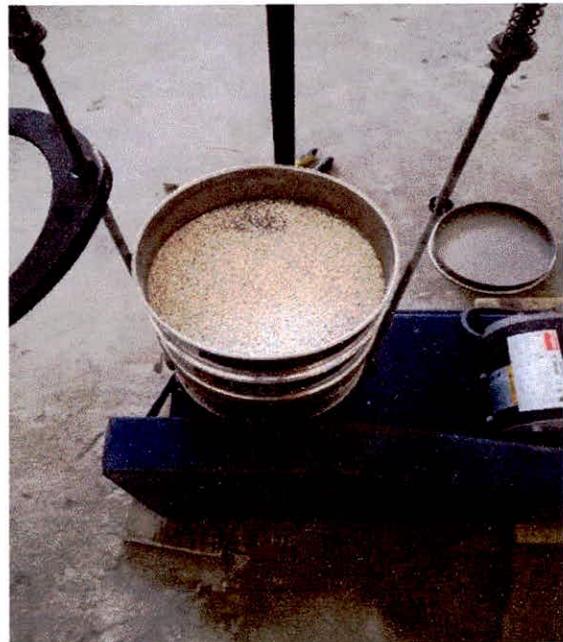


Foto N° 7:

Retiro de los tamices en forma precavida, con el fin de evitar pérdidas de partículas del material.

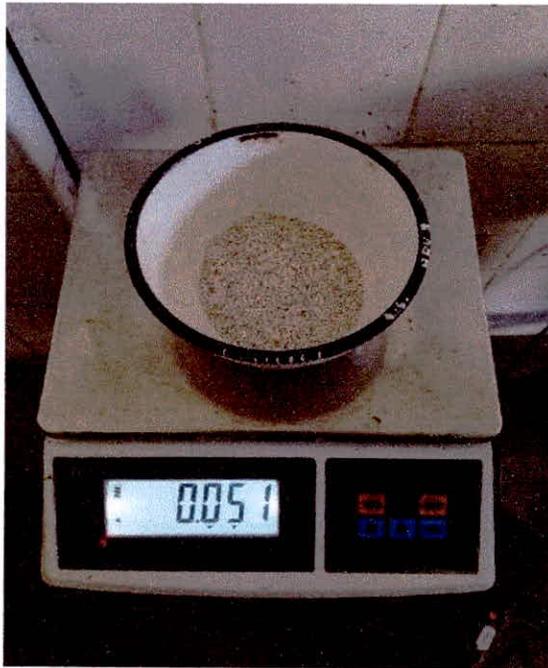


Foto N° 8 y 9:

Peso de la muestra retenida en cada tamiz, para luego realizar sus respectivos cálculos.

Foto N° 10:

Se realiza el mismo procedimiento para cada combinación (20%, 25% y 30%).



ENSAYO DE DISTRIBUCION GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO DEL SUELO NATURAL.



Foto N° 11:

La muestra a utilizar en este ensayo es la que pasa el tamiz #200, la cual fue obtenida del ensayo anterior mediante el proceso de lavado. Posteriormente se coloca en el horno.

Foto N° 12:

Peso de la muestra seca total, la cual de ella se saca una muestra representativa (50 gramos aprox) para ser utilizada en el presente ensayo.





Foto N° 13:

Preparación de agente dispersante. Solución de hexametáfosfato de sodio con agua destilada en proporción de 40 gramos por litro. El pH de la solución debe ser ajustada entre 8-9 mediante Carbonato de sodio.



Foto N° 14 y 15:

Preparación de muestra con el agente dispersante. Se coloca la muestra representativa en una cápsula con 125 ml de agente dispersante (ajustado el pH) y se deja una noche de remojo con el fin de desintegrar los terrones.

Foto N° 16:

Dispersión de la muestra. Remover el material durante unos minutos, con el fin de homogenizar la solución.

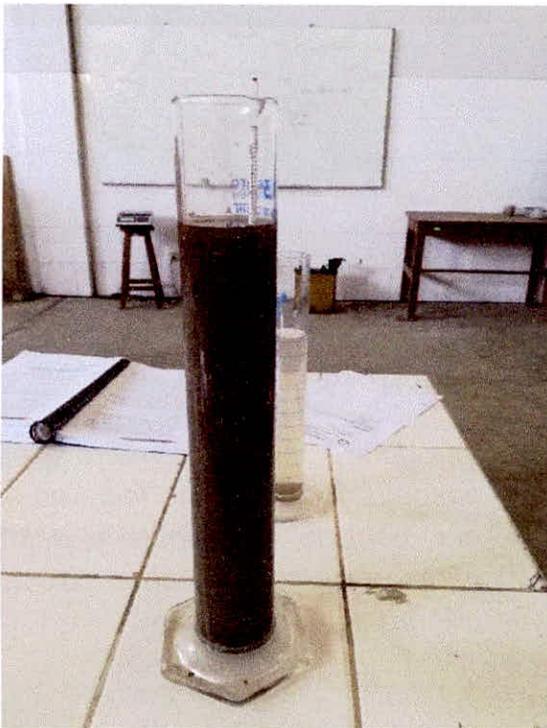


Foto N° 17:

Colocación de muestra en cilindro de suspensión de 1000 ml. Se agrega la muestra en el cilindro y se completa con agua destilada hasta llegar a la línea de aforo de 1000 ml.

Foto N° 18:

Remover los sedimentos un minuto antes del ensayo. Se tapa el cilindro y se comienza a agitar la suspensión durante varios segundos, con el fin de lograr una suspensión uniforme.



Foto N° 19:

Introducir el hidrómetro en la suspensión y se toma lecturas al tope del menisco al minuto y a los dos minutos luego de haber colocado el cilindro sobre el mesón.

Foto N° 20:

Retiro del hidrómetro de la suspensión. Se extrae el hidrómetro luego de haber tomados las 2 primeras lectura y se coloca en un cilindro graduado con agua limpia.



Foto N° 21:

Se ingresa nuevamente el hidrómetro para las siguientes lecturas indicado en la norma del MTC E-109. Las lecturas se hacen al tope del menisco y se retira luego de tomar cada lectura y se coloca en agua limpia

Foto N° 22:

Medición de temperatura a partir de los 2 minutos después haber iniciado el ensayo. Se realiza para cada lectura del hidrómetro.

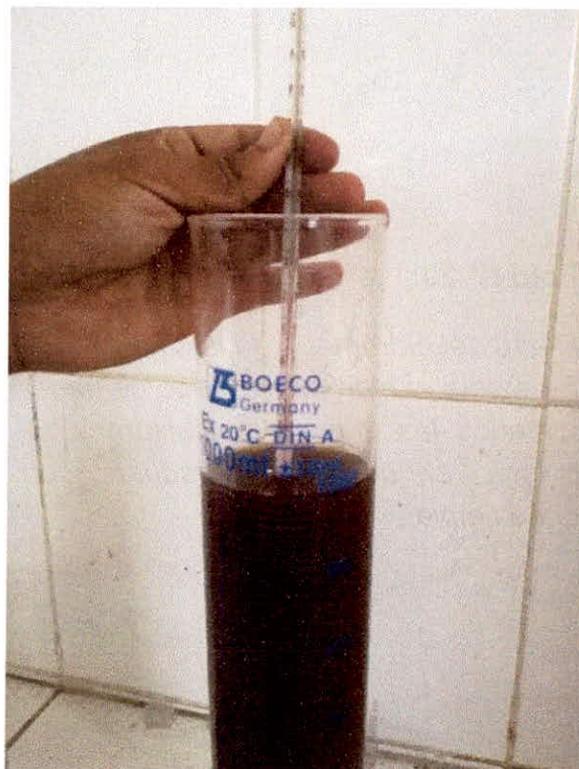


Foto N° 23:

Corrección de agente dispersante. Debido a que el defloculante produce un aumento de densidad, se realiza la corrección, agregando la misma cantidad de solución utilizada en el ensayo y se completa con agua destilada hasta los 1000ml en un cilindro graduado. Se procede a tomar lectura del hidrómetro por debajo del menisco y a medir la temperatura, para luego realizar los respectivos cálculos,

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO NATURAL.

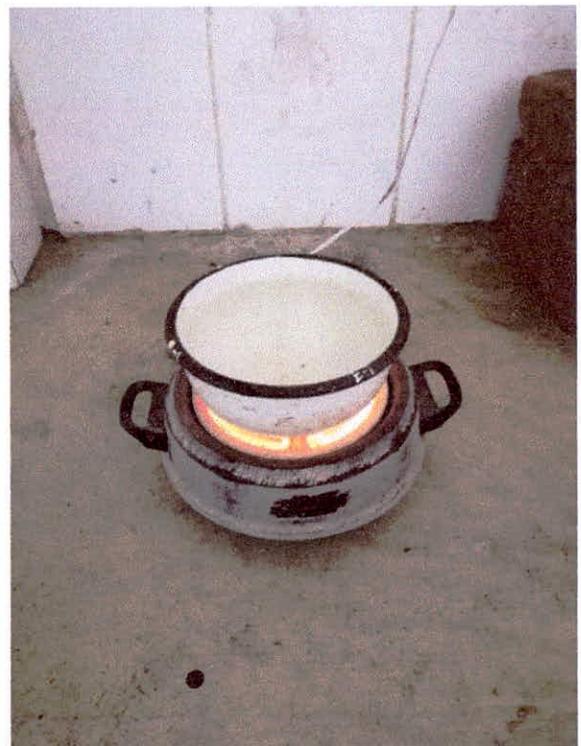


Foto N° 24:

La muestra utilizada en este ensayo tiene las mismas características que la que se utilizó en el ensayo por medio del hidrómetro.

Foto N° 25:

Proceso de ebullición del agua destilada mediante una cocina eléctrica, con el fin de eliminar burbujas de aire y así evitar variación de peso en los resultados.



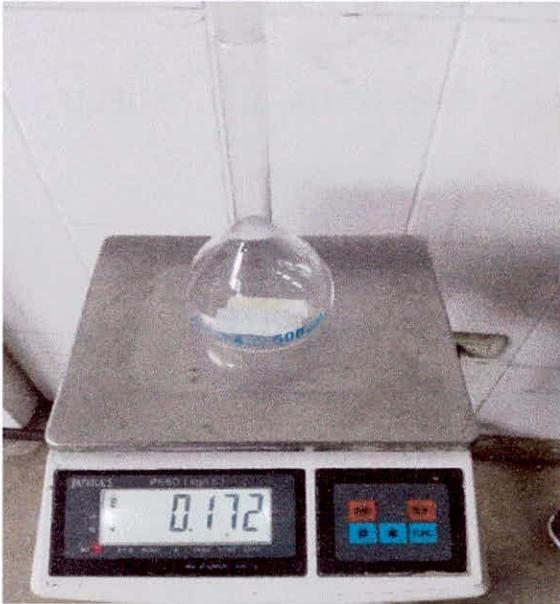


Foto N° 26:

Peso promedio del picnómetro solo y seco. Se registra 5 veces el peso del picnómetro.

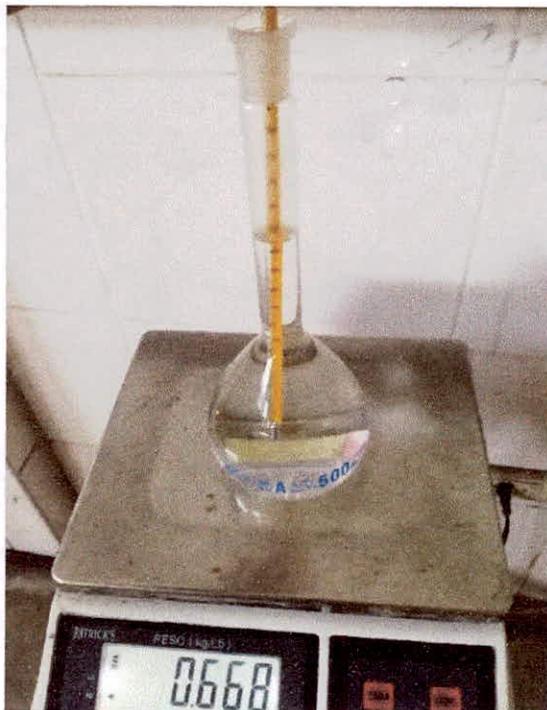


Foto N° 27y 28:

Obtenida el agua desairada se agrega al picnómetro hasta la línea de aforo y se registra la masa del picnómetro más el agua destilada y luego se registra su temperatura. La parte superior de la línea de aforo del picnómetro debe limpiarse con papel absorbente en caso se encuentre partículas adheridas en las paredes

Foto N° 29:

El proceso se realiza para 4 diferentes temperaturas y cada peso del picnómetro más el agua desairada. En cada registro se debe reajustar el nivel del agua del picnómetro.



Foto N° 30:

Se ingresa la muestra al picnómetro y se completa con agua desairada hasta su tercera parte. Se realiza el proceso de ebullición con el fin de eliminar burbujas de aire provocados por la muestra mezclada con el agua.

Foto N° 31:

Luego del proceso de ebullición, se procede a registrar el peso del picnómetro con la muestra y el agua. El nivel de la suspensión debe encontrarse en la línea de aforo caso contrario se ajusta el nivel con papel absorbente.

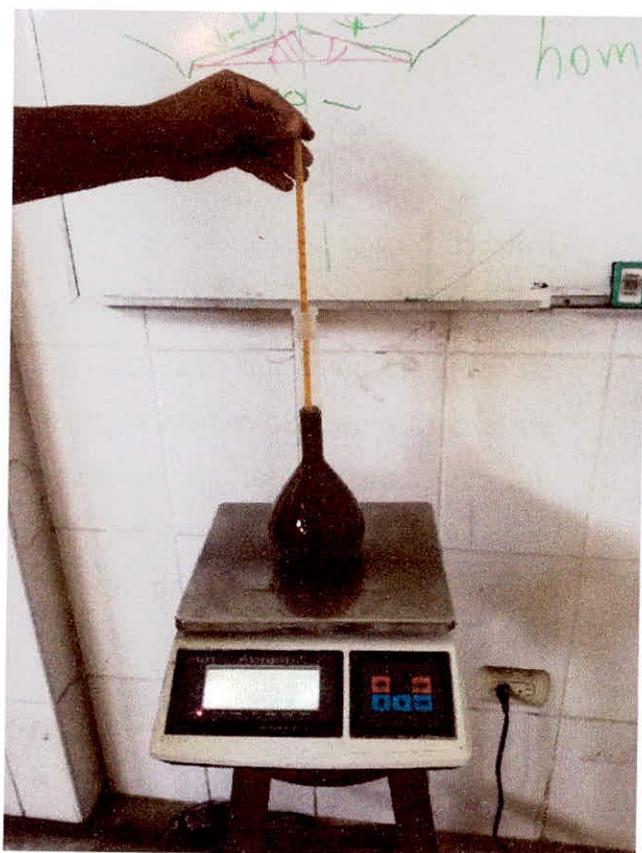
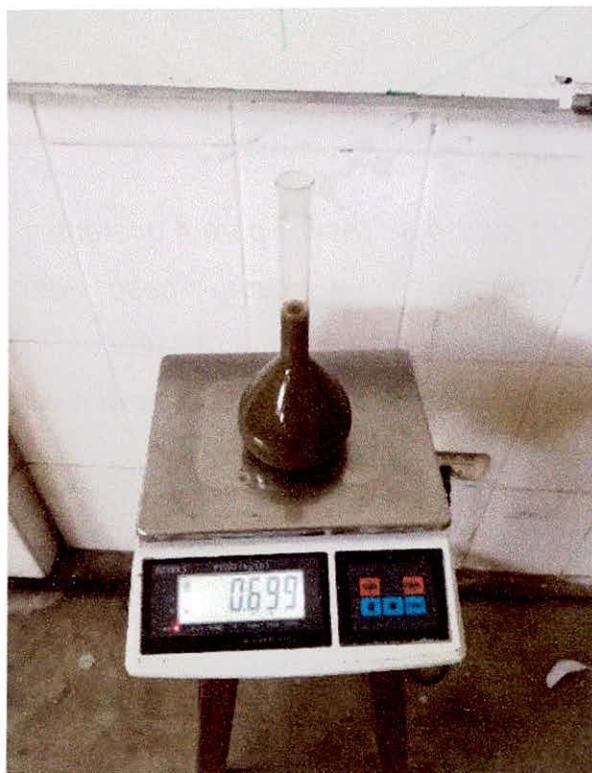


Foto N° 32:

Medición de temperatura de la suspensión en el picnómetro, al instante de haber registrado su masa. La temperatura será corregida por interpolación con las demás temperaturas calculadas anteriormente, con el fin de obtener el peso correcto del picnómetro más el agua desairada.

ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL Y SUS COMBINACIONES AL 20%,25% Y 30%.



Foto N° 33:

Se registra la masa del recipiente .Posteriormente se registra el peso de la muestra mas el peso del recipiente en una balanza calibrada.

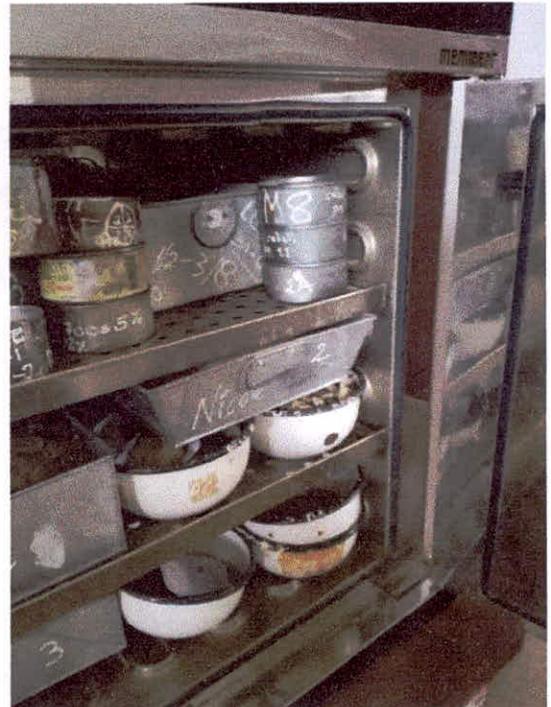


Foto N° 34 y 35:

Se coloca el recipiente con la muestra al horno por 24 horas. Posteriormente se procede a pesar el peso del recipiente más el suelo seco para sus respectivos cálculos. El mismo procedimiento se utilizó para las 4 calicatas.

ENSAYOS PARA DETERMINAR LOS LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO NATURAL Y SUS COMBINACIONES AL 20%,25% Y 30%.

➤ **LIMITE LÍQUIDO.**



Foto N° 36:

Muestra representativa de 150-200 g para cada ensayo .Se utiliza el material que pasa la malla #40.

Foto N°37:

Se procede a preparar la muestra agregando una cantidad arbitraria de agua. Mezclar la muestra hasta tener una consistencia homogénea





Foto N° 38:

Colocación de porción de muestra preparada en la copa Casagrande .Se esparce hasta una profundidad de 10 mm desde su punto más bajo.

Foto N° 39:

Posteriormente se procede a pasar el ranurador desde el punto más alto hasta el punto más bajo sobre el borde de la copa de sin deformar las paredes que este divide.





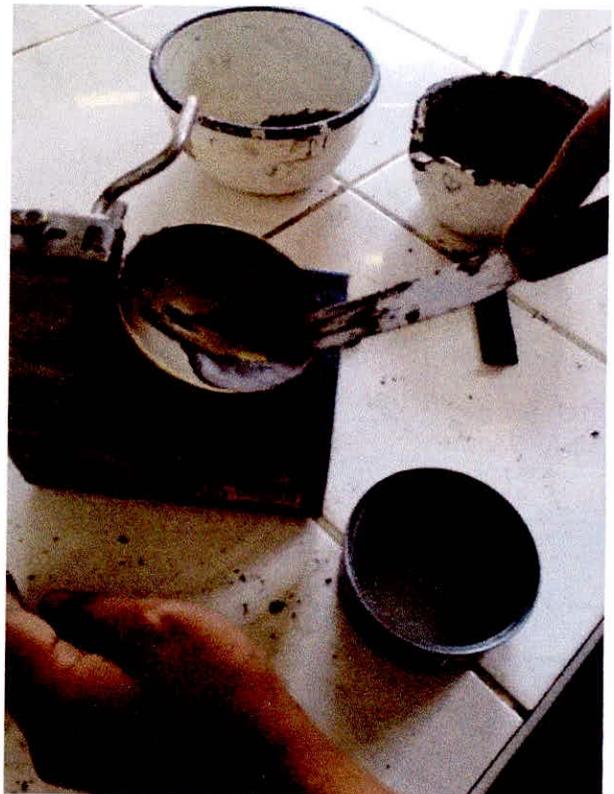
Foto N° 40:

Se levanta y se suelta la copa girando a través del manubrio .Se procede a contar el número de golpes hasta que las dos mitades de suelos se junten a una longitud de 13mm.

Foto N° 41:

Retiro de una porción de muestra y se determina su contenido de humedad. Se realiza el proceso para un cierre que requiera de 25-35 golpes, una para un cierre entre 20-30 golpes y otra para 15-25 golpes, así mismo se determina su contenido de humedad.

Se realiza el mismo procedimiento para todas las combinaciones.



➤ **LIMITE PLÁSTICO.**



Foto N° 42:

Se toma 20 gramos aproximadamente de la muestra que pase el tamiz #40.

Foto N° 43:

Se moldea la mitad de la muestra con una cantidad de agua arbitraria en forma de elipsoide





Foto N° 44:

Se rueda la muestra sobre una superficie lisa, utilizando la presión de los dedos necesaria para formar cilindros hasta llegar desmoronarse en un diámetro de 3,2 mm, caso contrario se vuelve hacer un elipsoide y a repetir el proceso.

Foto N° 45:

Obtenido los cilindros sufridos por el desmoronamiento en dicho diámetro se procede a calcular su contenido de humedad. Se repite el procedimiento para diferentes porcentajes de agua en el molde, con el fin de obtener el promedio.

Se realiza el mismo procedimiento para todas las combinaciones



ENSAYO PARA DETERMINAR LA MAXIMA DENSIDAD SECA Y OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL Y SUS COMBINACIONES AL 20%,25% Y 30%.

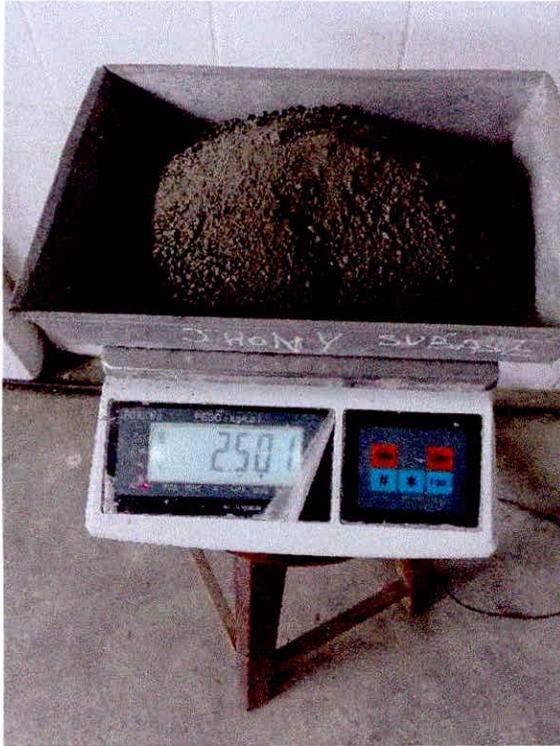


Foto N° 46:

Se registra la masa dependiendo de método a utilizar (A,B o C).Para este caso es de método B la cual corresponde un peso mínimo de 2.3kg pasado e tamiz # 4.

Foto N° 47:

Se prepara mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado y varié el alrededor de 2%.





Foto N° 48:

Se prepara primero el espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo añadiendo al caculo agua a la muestra. Se selecciona los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua,

Foto N° 49:

Se determina la masa del molde con el plato base sin el collarín

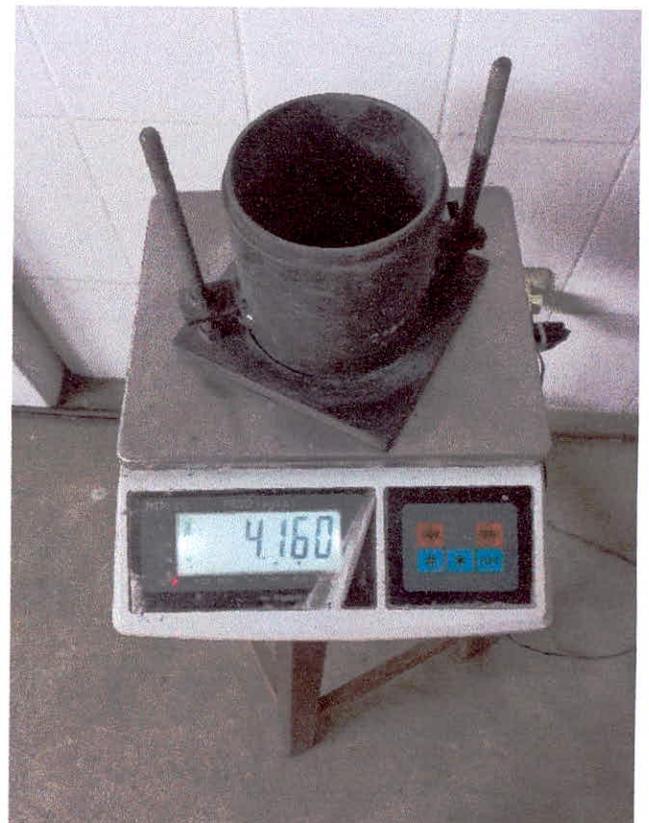




Foto N° 50:

Se coloca el suelo suelto dentro de molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme

Foto N° 51:

Se compacta el espécimen en cinco capas, luego de la compactación cada capa debe tener el mismo espesor. El compactado se realiza cada capa con 25 golpes para el método B.



Foto N° 52:

Luego de la compactación de la última capa se retira el collarín y se arregla si es necesario la muestra compactada mediante un cuchillo.



Foto N° 53:

Se comienza a enrasar con una regla recta para formar una superficie plana en la parte superior e inferior de molde

Foto N° 54:

Se determina y registra la masa del espécimen y molde



Foto N° 55:

Se obtiene una porción de espécimen de la parte superior e inferior del molde para determinar su contenido de humedad y así poder realizar los respectivos cálculos

Para todas las combinaciones se realiza e mismo procedimiento.

ENSAYO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO NATURAL Y SUS COMBINACIONES AL 20%,25% Y 30%.



Foto N° 56:

La cantidad de muestra preparada es de acuerdo al método utilizado en el ensayo de proctor modificado.

Se toma unos 5kg aproximadamente para cada molde

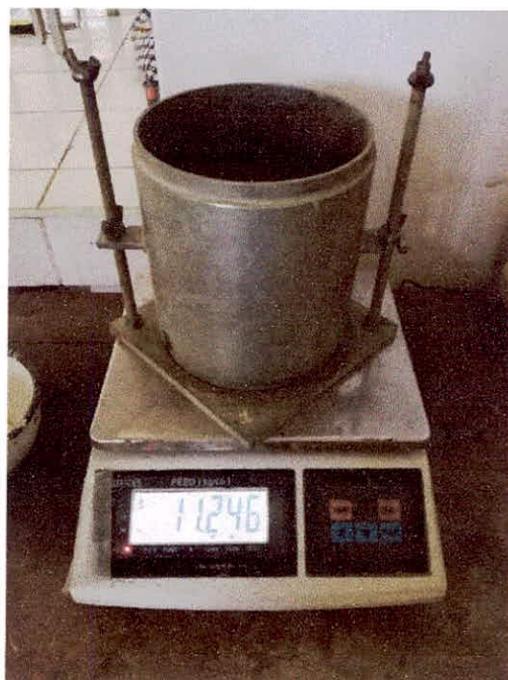


Foto N° 57 y 58:

Se determina el peso del molde su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro



Foto N° 59:

La muestra es preparada con el óptimo contenido de humedad, determinado en el ensayo de proctor modificado.

Se determina e contenido de humedad utilizando una porción de muestra antes y después de la compactación de todas las capas en cada molde

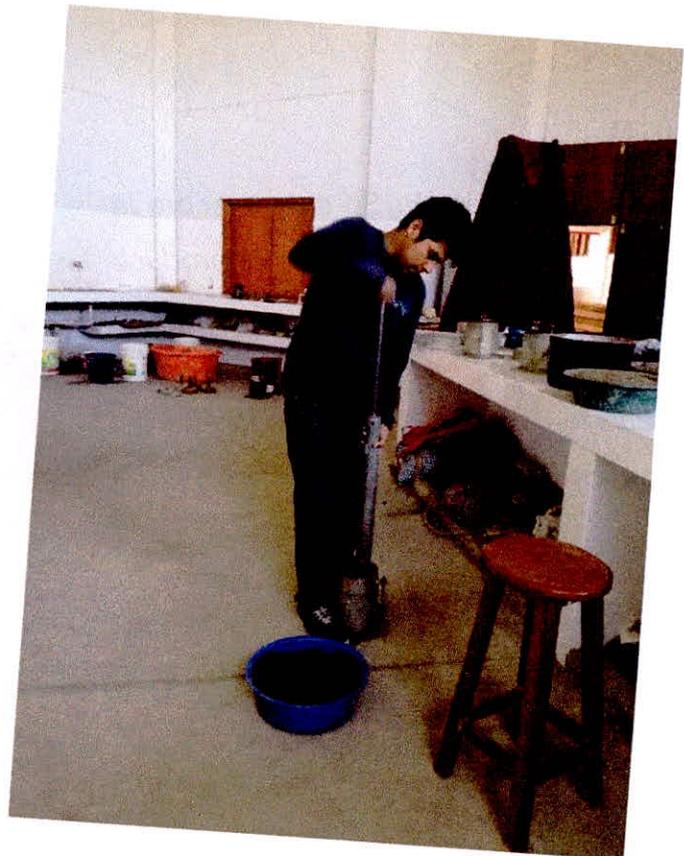


Foto N° 59:

Preparado el molde y la muestra, se compacta e espécimen en su interior aplicando energía modificada. Se realiza en 5 capas a 55, 26 y 12 golpes por cada molde,



Foto N° 59:

Terminada la compactación Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base, luego se determina su peso.

Foto N° 60:

Proceso de inmersión Se coloca sobre la muestra invertida los anillos para producir una presión equivalente originada por todas las capas. Se procede a colocar el vástago teniendo como base el borde del molde, en el se ubica el deformímetro y se registra la primera lectura para medir el hinchamiento.

Luego de 4 días sumergido a nivel contante de agua se vuelve a leer e deformímetro para medir el hinchamiento

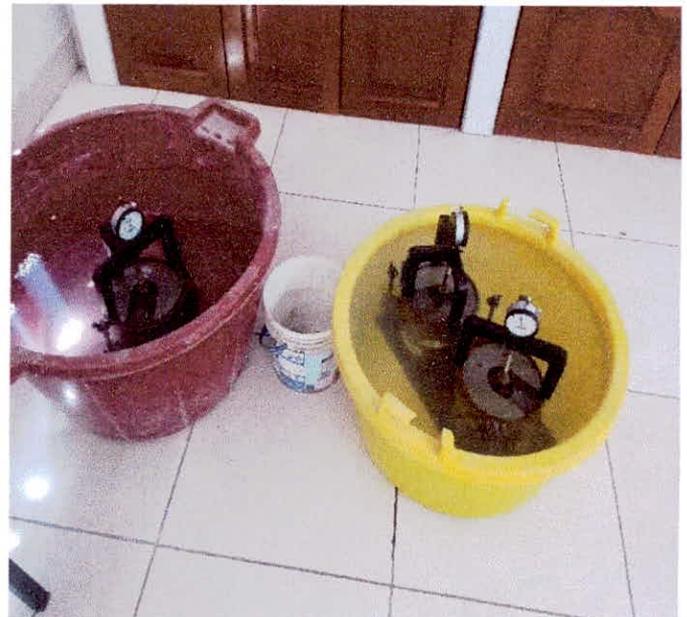




Foto N° 61:

Se retira el molde del tanque y se deja escurrir por 15 minutos, luego se procede a pesar para posteriormente realizar el ensayo de penetración.

Foto N° 62:

Proceso de penetración . Se aplica una sobrecarga a una velocidad de 1,27 mm por minuto, se registra la penetración controlando con un cronometro. Se anota las lecturas para una serie de penetraciones establecida en el MTC E-132.

Luego del proceso de penetración se desmonta el molde y se toma una porción de muestra para determinar su contenido de humedad.

Este mismo procedimiento se utilizara para todas las combinaciones



PROCESO DE LAS CONCHAS DE ABANICO QUE DETERMINO EL MATERIAL ADECUADO, UTILIZADO EN LA PRESENTE INVESTIGACION

Foto N° 63:

Visita a la planta de la empresa Aquapesca .SAC. Ubicado en el Distrito de Samanco.



Foto N° 64 y 65:

Recolección de los residuos calcáreos (valvas de las conchas de abanico)

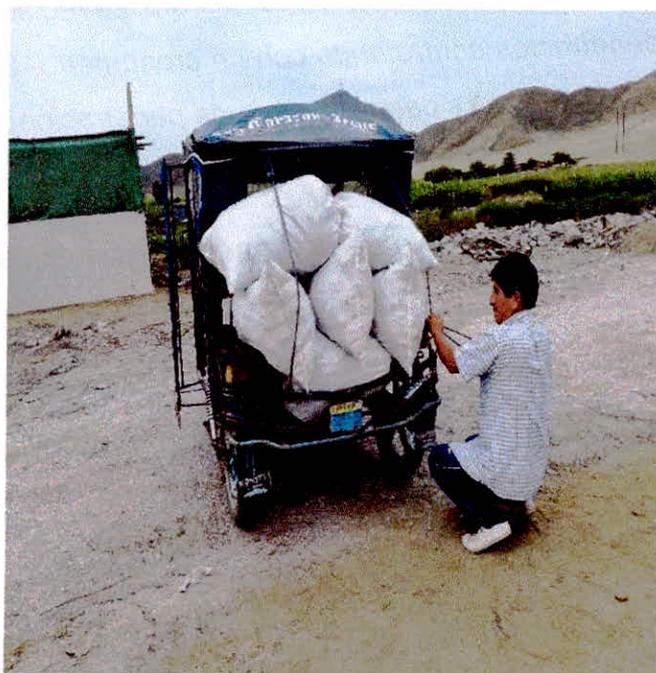




Foto N° 66:

Proceso de lavado de las valvas de las conchas de abanico, con el objetivo de reducir el porcentaje de materia orgánica.

Foto N° 67:

Obtenido las conchas de abanico limpias y secas, se realizó el proceso de trituración mediante un pisón de concreto de 50 kg, con el objetivo de agilizar el proceso de calcinación

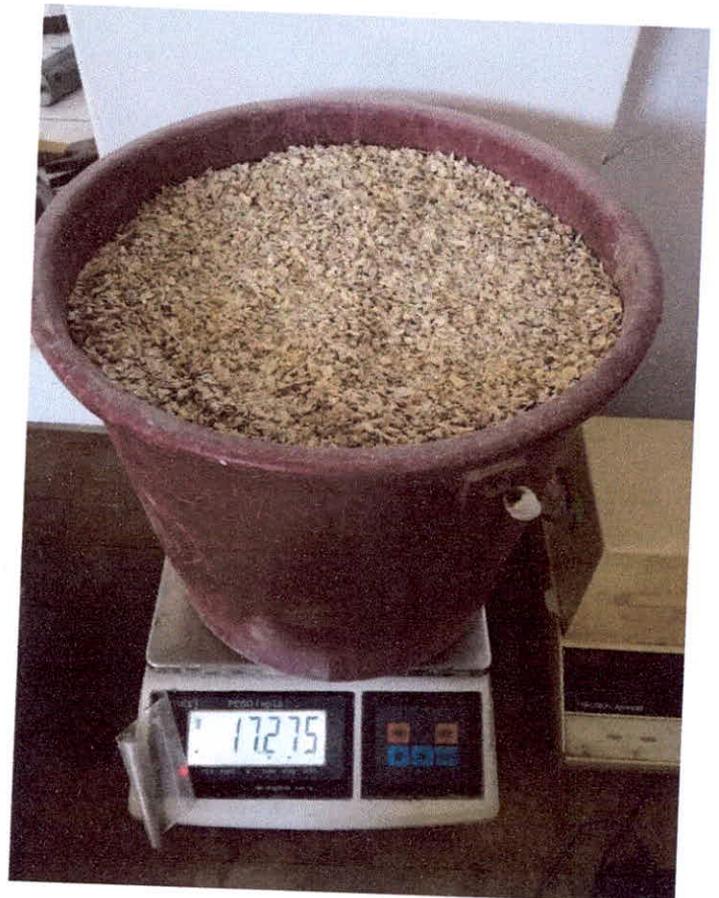




Foto N° 68:

Proceso de calcinación. Obtenida las conchas trituradas se ingresó a un horno de fundición mediante crisoles. El proceso de calcinación se realizó a una temperatura de 900°C por un tiempo de 3 horas.

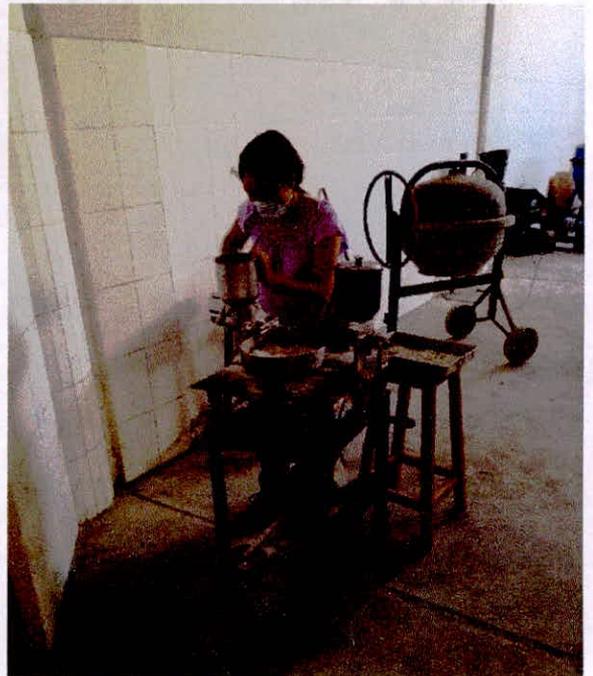


Foto N° 69:

Obtenida las conchas de abanicos calcinadas, se procede a pulverizarlas mediante un molino de mano.

Obteniéndose la muestra adecuada para se utilizada en los ensayos requeridos en la presenta investigación



PROCESO DE LAS CENIZAS DE CARBON QUE DETERMINO EL MATERIAL ADECUADO, UTILIZADO EN LA PRESENTE INVESTIGACION.



Foto N° 70:

Visita a la ladrillera artesanal "Pecho Blanco", ubicado en San Luis, Distrito de santa.

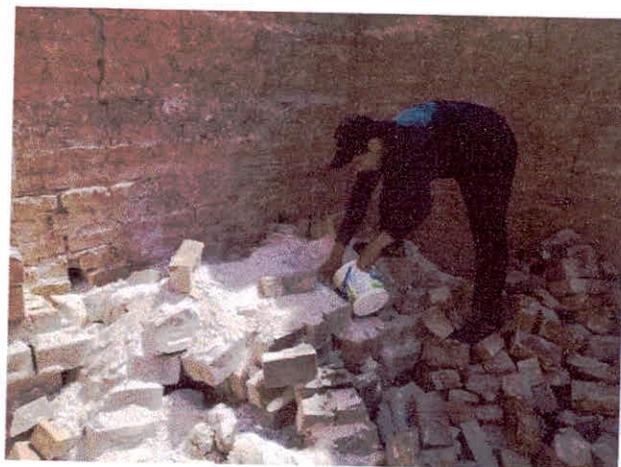
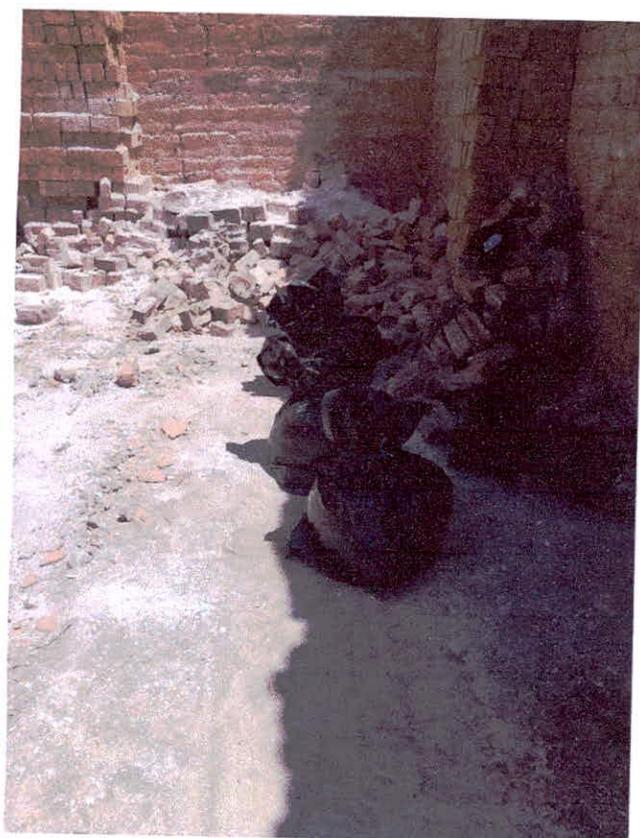


Foto N° 71 y 72:

Se procede a recolectar las cenizas de carbón provenientes de la calcinación de los ladrillos de arcillas.

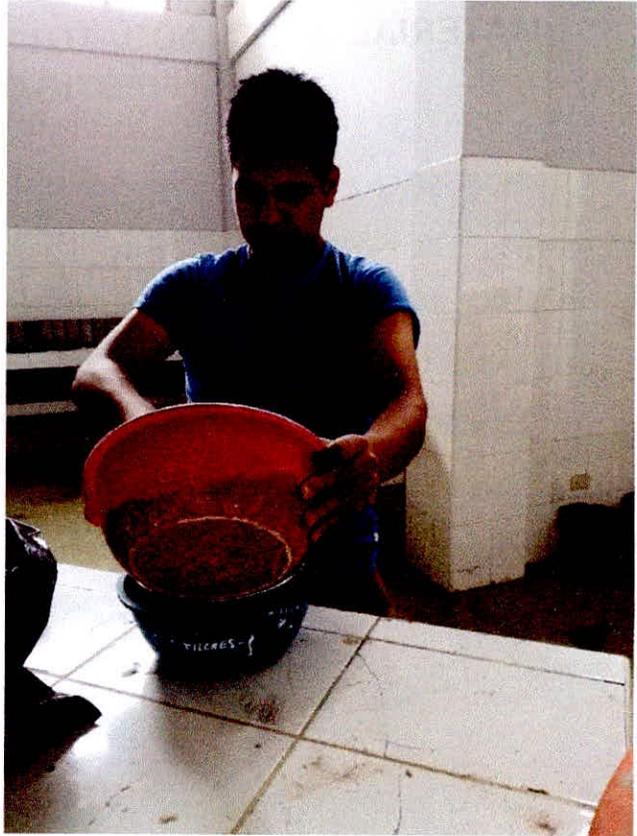


Foto N° 73 y 74:

Obtenida las cenizas de carbón, se procede a tamizar utilizando el tamiz #40, con el objetivo de reducir el porcentaje de materia orgánica y obtener una finura similar al suelo natural.

PROCEDIMIENTO DE EJECUCION DE CALICATAS EN EL SUELO DE ESTUDIO.

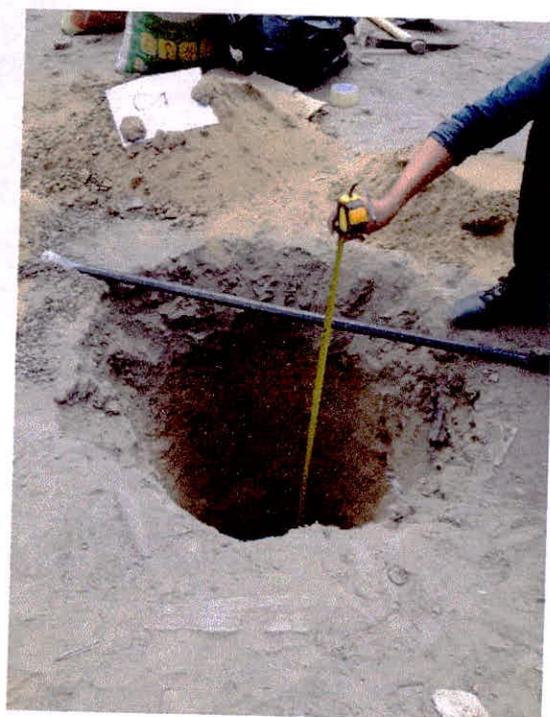


Foto N° 75, 76,77 y 78:

Se realizaron 4 calicatas en las calles principales del AA.HH Nuevo Santa, Distrito de santa, Ancash

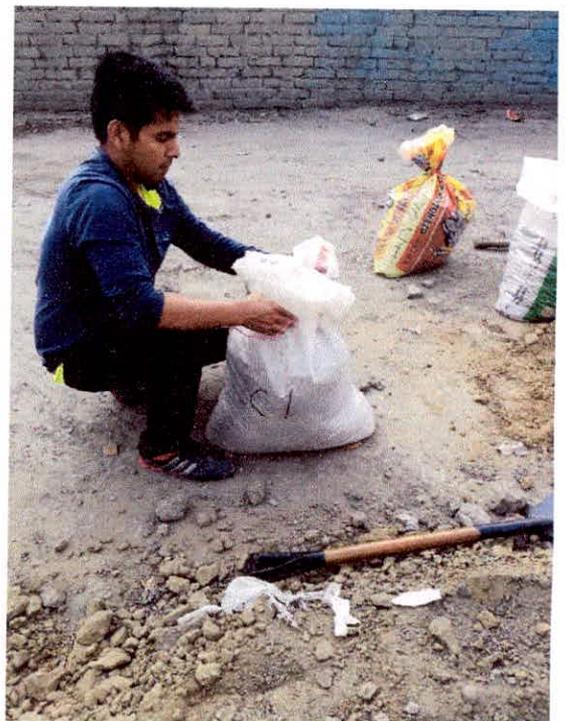


Foto N° 79:

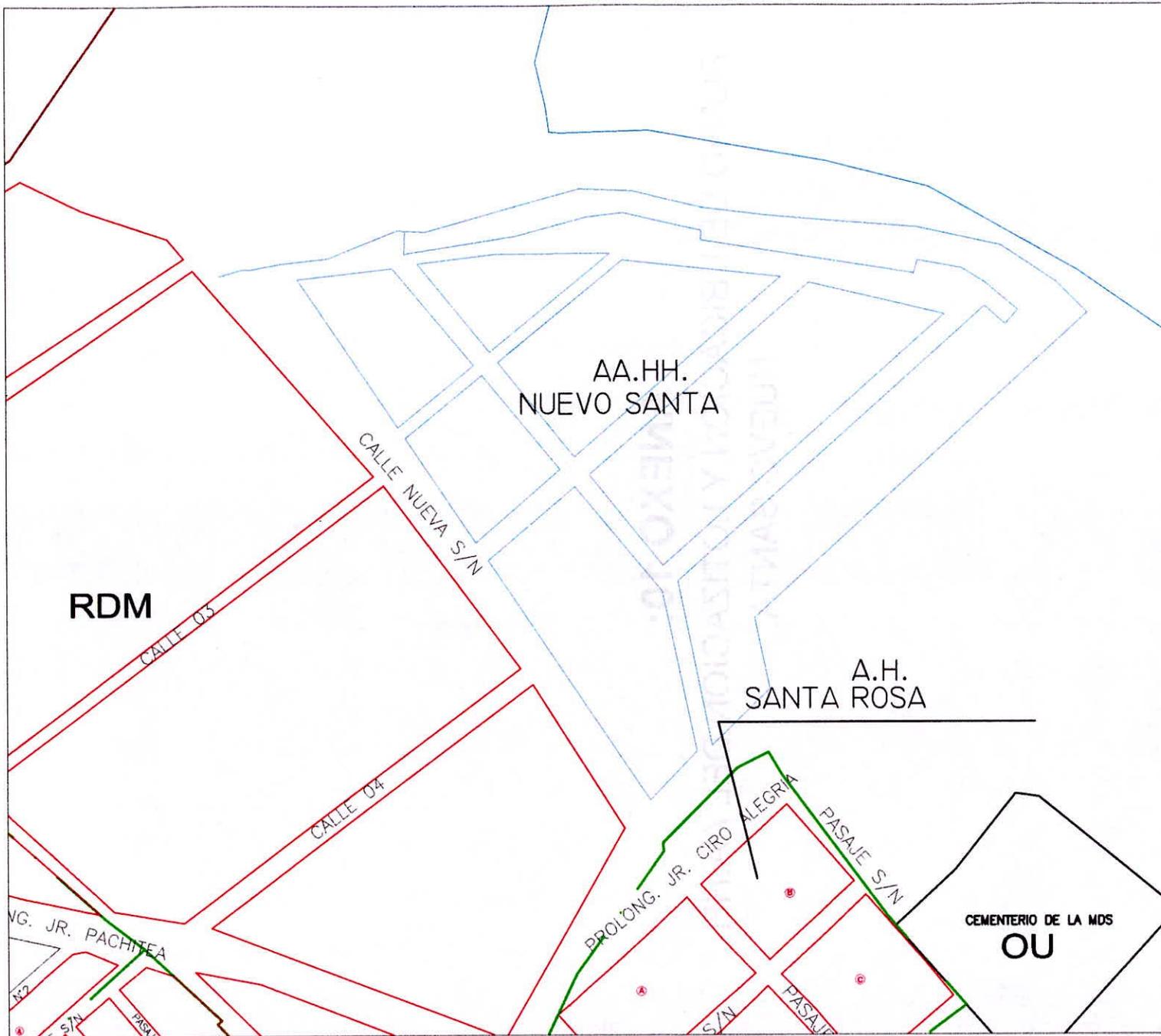
Las calicatas tuvieron una profundidad de 0.30-0.60mts de acuerdo a los requisitos de mejoramiento de subrasante. Encontrándose suelo arcilloso hasta dicha profundidad.

Foto N° 79:

Se recolecto muestra necesaria en bolsas herméticas y costales de plástico, para realizar los ensayos requeridos en la presente investigación.



ANEXO 10:
PLANO DE UBICACIÓN Y LOTIZACIÓN DEL AA.HH
NUEVO SANTA.



PLANO DE UBICACION
ESCALA: 1 / 20,000

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA			
PROYECTO: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CONCHAS DE ABANICO Y CINIZAS DE CARBÓN CON FINES DE PAVIMENTACIÓN"			
PLANO: UBICACION Y LOCALIZACION			
ELABORADO:	FECHA:	DISEÑADO:	LABORA:
	1/2008		
REVISADO:	APROBADO:	FECHA:	LOCALIDAD:
		MAYO 2018	
			U-01