

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA
EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA
SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA
KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA,
CONCEPCIÓN.**

PRESENTADO POR:

Bach. ROLY ROBERTH LEIVA GONZALES

ASESORA:

Ing. BETTY MARIA QUISPE CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

2016

MIEMBROS DEL JURADO

PRESIDENTE:

M. Sc. Ronald Santana Tapia

SECRETARIO:

Ing. Javier Francisco Chávez Peña

JURADOS:

Dr. Abel Muñiz Paucarmayta
TITULAR

Ing. Augusto García Corzo
TITULAR

Ing. Nobel Leyva Gonzales
SUPLENTE

ASESOR:

M. Sc. Betty Condori Quispe

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con mucho amor y cariño:

A mis padres Alfonso Leiva Quiespelaya y Mida Gonzales Peña, las dos personas más importantes de mi vida por el apoyo que me brindaron durante mis estudios, determinando mi formación académica y moral. También a mi esposa Yuvica Camposano y a mi hijo Frans Franklin por tener paciencia en la elaboración de mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo y sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Centro del Perú alma mater en la formación, así mismo a los señores ingenieros docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, que de una u otra manera han sabido guiarme y brindarme sus conocimientos de manera incondicional en mi formación profesional.

En forma especial a mi asesora M. Sc. Betty María Condori Quispe por su contribución, dedicación y empeño en la asesoría de mi Tesis.

A mis padres, Alfonso Leiva y Mida Gonzales por su apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida.

A mi hermano: Frey quien fue un apoyo en el trascurso de la elaboración mi tesis.

A mis amigos y colegas Joel Mattos, Miguel Retamozo, Kevin Buendia y Gusben Quispe por su apoyo moral y aportes valiosos durante el tiempo que realicé los estudios y la Tesis de Grado.

Así mismo a la comunidad de Orcotuna por brindarme las facilidades durante la ejecución de mi Tesis.

A la facultad de ingeniería civil de la UNCP, por facilitarme el uso del laboratorio de mecánica de suelos. Muchas gracias por permitirme culminar exitosamente de esta investigación.

Un agradecimiento muy especial a mis padres, quienes con su apoyo hicieron factible la elaboración de esta tesis, a todos ellos les digo gracias.

INDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE	v
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICAS	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.4.1. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	3
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	3
1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	4
1.5. DELIMITACIÓN	4
1.5.1. CONCEPTUAL	4
1.5.2. ESPACIAL	4

1.5.3 TEMPORAL.....	5
1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	5
1.6.1. HIPÓTESIS GENERALES	5
1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	6
1.7. VARIABLES.....	6
1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	6
1.7.2. VARIABLES DEPENDIENTE	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES:.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS	9
2.2.1. POLIETILENO	9
2.2.2. SUBRASANTE.....	12
2.2.3. SUELOS EXPANSIVOS	15
2.2.4. ENSAYOS EN SUELO DE FUNDACIÓN.....	16
2.2.5. ESTABILIZACIÓN DE SUELO	26
2.2.6. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO	30
2.2.6. MÁQUINA CONVERTIDORA DE BOLSAS DE POLIETILENO EN COMBUSTIBLE	31
2.3. MARCO CONCEPTUAL	32
CAPÍTULO III: METODOLOGIA Y RECOLECCIÓN DE DATOS	34
3.1. DISEÑO METODOLÓGICO	34
3.2. MÉTODOS EMPLEADOS.....	35

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	35
3.3.1. POBLACIÓN	35
3.3.2. MUESTRA	36
3.4. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.4.1. TÉCNICAS.....	40
3.4.2. INSTRUMENTOS	40
3.5. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO	40
3.5.1. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LA MUESTRA	41
3.5.2. TRABAJOS DE CAMPO	41
3.5.3. ENSAYOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	44
3.5.4. RECOLECCION DE BOLSAS DE POLIETILENO EN EL BOTADERO PARA USO DE LA PRESENTE INVESTIGACION	56
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE DATOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	62
4.1. EFECTOS DE LAS BOLSAS DE POLIETILENO EN EL SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE.....	62
4.2. PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS QUE INFLUYEN EN LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE.....	63
4.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	63
4.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO.....	68
4.2.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	70
4.3. DOSIFICACIÓN DE LAS BOLSAS DE POLIETILENO COMO ADICIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE.....	71

4.4. DETERMINAR LA INFLUENCIA AL REUTILIZAR LAS BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	76
4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	82
4.6. EVALUACIÓN ECONOMICA CON OTRO TIPO DE ESTABILIZADOR.....	92
4.6.1. DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO.....	93
4.6.2. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE METODO AASHTO 1993	98
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Valores de las propiedades para polietileno de alta y baja densidad	12
Tabla 2: Categorías de la subrasante	13
Tabla 3: Clasificación de suelos según tamaños de partículas	17
Tabla 4: Especificaciones para la prueba Proctor estándar	22
Tabla 5: Especificaciones para la prueba Proctor Modificado	23
Tabla 6: Módulo Resiliente obtenido por correlación con CBR	24
Tabla 7: Primera guía referencial para la selección del tipo de estabilizador	28
Tabla 8: Segunda guía referencial para la selección del tipo de estabilizador	29
Tabla 9: Cantidad de ensayos realizados.....	38
Tabla 10: Cantidad de material requerido	39
Tabla 11: Coordenadas geográficas de las calicatas.....	42
Tabla 12: Ensayos realizados en suelos de fundación.....	44
Tabla 13: Diámetros adecuados de las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos	57
Tabla 14: Dosificación de la mezcla	59
Tabla 15: Mezcla de suelo arcilloso y adición de 6% repartidos en las cinco capas	61
Tabla 16: Propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo.....	62
Tabla 17: CBR, suelo arcilloso y bolsas de polietileno en estado líquido.....	62
Tabla 18: Resultado granulométrico de suelo	64
Tabla 19: Porcentaje de suelo.....	64
Tabla 20: Resumen de resultados del contenido de humedad.....	65
Tabla 21: Resultados del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	66
Tabla 22: Clasificación SUCS de muestras representativas.....	67
Tabla 23: Clasificación AASHTO de muestras representativas.....	67

Tabla 24: Resultados del ensayo del Proctor.....	68
Tabla 25: Resumen de C.B.R (California Bearing Ratio)	69
Tabla 26: Propiedades químicas.....	70
Tabla 27: Diámetros adecuados de las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos	71
Tabla 28: Resultados de los ensayos del terreno de la subrasante con bolsas de polietileno fundido.....	71
Tabla 29: Datos estadísticos de la subrasante más 2% de bolsas de polietileno fundido...	72
Tabla 30: Datos estadísticos de la subrasante más 4% de bolsas de polietileno fundido ...	72
Tabla 31: Datos estadísticos de la subrasante más 6% de bolsas de polietileno fundido...	72
Tabla 32: Datos estadísticos de la subrasante más 8% de bolsas de polietileno fundido...	73
Tabla 33: Datos estadísticos de la subrasante más 10% de bolsas de polietileno fundido.	73
Tabla 34: Promedio aritmético de los valores del CBR y expansión	73
Tabla 35: % de polietileno fundido en forma de grumos vs % de CBR	75
Tabla 36: Resultados de los ensayos del terreno de la subrasante con bolsas de polietileno fundido en las cinco capas	75
Tabla 37: Datos estadísticos de la subrasante más 6% de bolsas de polietileno fundido en las cinco capas.....	76
Tabla 38: Niveles recomendados de Confiabilidad (R)	77
Tabla 39: Índice de Servicialidad	78
Tabla 40: Coeficientes de capa.....	79
Tabla 41: Clasificación de la calidad de drenaje	79
Tabla 42: Valores de coeficiente de drenaje (mi) recomendados para modificar los coef. estructurales de capa para base no tratada y sub bases para pavimento flexible	79
Tabla 43: Diseño estructural de un pavimento flexible.....	82

Tabla 44: Resultados de CBR sin y con adición de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos.....	83
Tabla 45: Datos estadísticos	83
Tabla 46: Estadística de muestras sin y con adición de bolsas de polietileno fundido	84
Tabla 47: Pruebas de normalidad	85
Tabla 48: Análisis si provienen de una distribución normal	85
Tabla 49: Prueba de la diferencia entre dos medias con distribución T-student	86
Tabla 50: Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante	86
Tabla 51: Capacidad portante de un suelo CL y GC	87
Tabla 52: Datos estadísticos	87
Tabla 53: Estadísticas de muestras emparejadas	87
Tabla 54: Prueba de normalidad.....	88
Tabla 55: Análisis si provienen de una distribución normal	89
Tabla 56: Prueba de la diferencia entre dos medias con distribución T-student	89
Tabla 57: Pruebas de normalidad	91
Tabla 58: Análisis si provienen de una distribución normal	91
Tabla 59: Prueba de muestras relacionadas.....	92
Tabla 60: Valores de coeficiente de drenaje, Cd para pavimentos rígidos	94
Tabla 61: Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones de suelos y valores soporte .	95
Tabla 62: Cálculo del espesor “e” en función del CBR	97
Tabla 63: Resumen de presupuesto para dos tipos de estabilizadores	97
Tabla 64: Presupuesto de pavimento flexible.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Provincia de Concepción en el Departamento de Junín	5
Figura 2: Estructura química del Polietileno.....	10
Figura 3: Símbolo y bolsas de baja densidad	11
Figura 4: Símbolo y bolsas de polietileno de alta densidad	12
Figura 5: Sección transversal – Pavimento Flexible	13
Figura 6: Lámina sílica.....	15
Figura 7: Lámina alumínica	16
Figura 8: Curvas granulométrica de suelos	18
Figura 9: Interpretación de la curva granulométrica	19
Figura 10: Definición de los límites de Atterberg.....	20
Figura 11: Equipo de la prueba Proctor estándar: (a) molde; (b) pisón	21
Figura 12: Determinación de la relación de soporte CBR.	23
Figura 13: Cenda triaxial cíclico ensayo de resiliencia.....	25
Figura 14: Comportamiento elástico	26
Figura 15: Máquina convertidora de bolsas de polietileno en combustible.....	32
Figura 16: Representación de la población	35
Figura 17: Ubicación de la población	36
Figura 18: Procedimiento metodológico	40
Figura 19: Localización y ubicación de la zona de muestra	41
Figura 20: Vista de la calicata C-01	42

Figura 21: Vista de la calicata C-02	43
Figura 22: Vista de la calicata C-03	43
Figura 23: (a) pesando la muestra húmeda; (b) secado de la suelo.....	45
Figura 24: Realizando el ensayo de límite líquido.....	47
Figura 25: Realizando el ensayo de límite plástico.....	48
Figura 26: Realizando el ensayo de granulometría	49
Figura 27: Ensayo de Proctor modificado.....	51
Figura 28: (a) muestra con adición; (b) compactación en 5 capas con 10, 25 y 56 golpes/capa.....	53
Figura 29: (a) midiendo la expansión; (b) extensómetro para medir la expansión	54
Figura 30: Prensa CBR.....	55
Figura 31: Preparando adición para el ensayo de CBR.....	56
Figura 32: Realizando la selección de diámetro.....	58
Figura 33: Realizando el ensayo de CBR para seleccionar el diámetro adecuado	59
Figura 34: Mezclando el adición y el suelo arcilloso.....	60
Figura 35: Realizando la compactación para el ensayo CBR.	60
Figura 36: Realizando la compactación en las cinco capas del ensayo CBR	61
Figura 37: Comparación de CBR, sin adición y con adición de bolsas de polietileno en estado líquido.....	63
Figura 38: Curva granulométrica de suelo para las tres calicatas	65
Figura 39: límite líquido (a), (b) y (c) de las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente ...	66
Figura 40: Curva de Humedad vs Densidad.....	68

Figura 41: Curva Densidad Seca vs CBR (a), (b) y (c) de las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente	70
Figura 42: Porcentaje de adición vs CBR	74
Figura 43: Dosificación más óptima	74
Figura 44: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible.....	80
Figura 45: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible.....	81
Figura 46: Cálculo del espesor CBR =7.92%	96
Figura 47: Cálculo del espesor CBR=15.09%	97
Figura 48: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible.....	98
Figura 49: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible.....	99

RESUMEN

Las bolsas de polietileno generan un impacto negativo en la contaminación ambiental la cual se trata de reutilizar reciclando y dándole un uso en mejoramiento de la subrasante. El objetivo de la investigación es determinar el efecto de las bolsas de polietileno en el suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 y en el medio ambiente del distrito de Orcotuna – Concepción.

Se realizaron tres calicatas en la carretera Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción, para obtener muestras representativas para los ensayos de suelo, lo cual se hicieron en la Facultad de Ingeniería Civil. También se realizaron ensayos químicos en la Facultad de Ingeniería Química.

La subrasante analizada se dividió en dos tramos según características físicas y mecánicas, el primer tramo presenta un suelo arcilloso de baja plasticidad, el segundo presenta un suelo grava arcilloso, el primer tramo de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 presenta baja capacidad portante con un CBR al 95% de M.D.S. igual a 4.145% por lo tanto se tiene dos alternativas mejorar o cambiar el suelo de la subrasante. El segundo tramo de la progresiva KM 0+100 - KM 0+230 presenta un CBR al 95% de M.D.S. igual a 12.5% por lo tanto no requiere mejoramiento.

Según el MTC (2013) “Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos” de los 8 tipos de estabilizadores que recomienda sólo uno se adapta a las características físicas y mecánicas del suelo y es estabilización suelo – cal.

Para poder determinar la dosificación adecuada de bolsas de polietileno fundido se tuvo que realizar ensayos de CBR y así poder encontrar una dosificación óptima en porcentaje, para lo cual se realizaron 45 ensayos de CBR, variando el porcentaje con respecto al peso seco del suelo.

Utilizando bolsas de polietileno fundido como agente estabilizador se concluye que pueden ser utilizados en subrasante para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas recomendándose como el más óptimo al 6% con respecto al peso seco del suelo, El CBR del suelo arcilloso es 4.145% al 95% de la máxima densidad seca y con la adición de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos en una dosificación de 6% del peso seco del suelo incrementó el CBR (California Bearing Ratio) a 7.98% al 95% de la máxima densidad seca .

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país se basa, primordialmente en sus vías de comunicación, a través de ellas se llevan a cabo interrelaciones económicas, sociales y culturales entre las comunidades, municipios y departamentos.

Si el terreno existente conocido como subrasante no asegura la estabilidad y durabilidad que garantice geotécnicamente el comportamiento de la estructura del pavimento se tiene dos opciones, el de sustituir realizando grandes movimientos de tierra y la segunda opción es el de mejorar el suelo existente para economizar. Es la razón por la cual en la presente tesis se investigó un nuevo método de estabilización con material de bolsas de polietileno.

En la actualidad el tema de la contaminación ambiental causa gran preocupación debido al aumento significativo de está, ocasionado en gran medida por la generación de residuos sólidos urbanos, ya que al realizar un producto y ponerlo al consumo humano este producto terminará siendo un residuo del cual se requiere una adecuada disposición. El desarrollo económico debe estar íntimamente ligado a la sostenibilidad, y ésta, a la reutilización de materiales que ahora son vistos como desperdicio.

En Orcotuna se tiene proyectado la generación de residuos sólidos de 631 toneladas de basura hasta el cierre del año 2016, de estos 631 toneladas de basura generadas en el año 2016 el 50.42% son residuos orgánicos (abono), el 18.94% restante puede ser reutilizado (reciclado), dentro este 18.94% se encuentran residuos como bolsas de polietileno (5.091%), Cauchó (1.297%), papel (1.936%), metal (2.552%) entre otros¹. Actualmente la basura generada se arroja en rellenos sanitarios, botaderos a cielo abierto, ríos, humedales y algunas fuentes de agua o son incinerados; causando un grave daño ambiental ya que muchos de los residuos generados por las industrias y los hogares se demoran más de 50 años en ser descompuestos si son depositados en botaderos o rellenos sanitarios; contaminan las fuentes de agua si son arrojados en estas, o contaminan la atmósfera. (Municipalidad Distrital de Orcotuna, 2015)

La finalidad de la investigación es mejorar el suelo a nivel de la subrasante utilizando bolsas de polietileno que son eficaces para la estabilización de la subrasante en un pavimento, la mezcla de suelo arcilloso de mediana a baja plasticidad y bolsas de polietileno fundido da como resultado una estructura de suelo más estable.

La investigación consta de cuatro capítulos:

Primer capítulo, se realiza el planteamiento de la investigación donde se contempla la problemática, objetivos, justificación, delimitación de la investigación y la formulación de la hipótesis; los que se corroboran luego de realizar la presente investigación.

Segundo capítulo, se describe los antecedentes regionales, nacionales e internacionales con respecto a algunos métodos similares que son utilizados para estabilizar suelos de subsuelo; en las bases teóricas se tocan puntos fundamentales para la investigación como: polietileno, las bolsas plásticas y su impacto ambiental, máquina para convertir bolsas de polietileno en combustible, Subsuelo, ensayos de suelos de fundación, mejoramiento de suelos, criterios de mejoramiento de suelos, estabilización de suelos y suelos expansivos.

Tercer capítulo, denominado marco metodológico, se detalla acerca del tipo de investigación, la cual se caracterizó por ser fundamentalmente de campo, en cuanto al tipo y al diseño. Se presentan también aquí, la población, la muestra, instrumentos para la recolección y el análisis de los datos.

Cuarto capítulo, resultados de la investigación y aplicación con los cuales se generaron cuadros comparativos con la norma MTC para poder determinar si el suelo requiere mejoramiento; los ensayos que se utilizó: contenido de humedad, límites de consistencia, granulometría, Proctor modificado y CBR (California Bearing Ratio – MTC E 132 – 2000),

Quinto capítulo, se describen todas las conclusiones a las que se alcanzó llegar mediante la elaboración de la investigación, finalmente se anexa los resultados de los ensayos de laboratorio y campo también plano general (ubicación de calicatas).

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La construcción de carreteras es un rubro que contribuye de manera más eficaz y eficiente en el mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad a la cual se beneficia en particular y de la sociedad y el país.

En muchas de estas obras se encuentran terrenos de fundación de baja capacidad portante, el cual necesita ser mejorado o cambiado por otro material que cumpla los parámetros exigidos por el MTC, actualmente para el mejoramiento de la subrasante se adicionan cal, cemento, escoria, cloruros de sodio, cloruros de calcio, cloruro de magnesio, productos asfálticos y geosintéticos, según el tipo de suelo y la importancia de la vía.

En el Jr. Arequipa, progresiva KM 0+000 - KM 0+100 el suelo de fundación es arcilloso lo cual presenta baja capacidad portante y requiere ser mejorada con cualquier método sugerido por el MTC, o por el método que se plantea en la presente tesis de investigación, que es el mejoramiento a nivel de sub rasante con bolsas de polietileno, siendo una de las alternativas eficaz.

“El polietileno es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y parcialmente amorfo, de color blanquecino y translucido” (Sapón, 1999).

Al comentar sobre los suelos arcillosos, es cuando encontramos suelos con gran presencia de partículas finas de arcilla y carentes de gravas.

La arcilla es un material muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, compuesta por silicatos de aluminio hidratado.

Otro de los problemas que se puede apreciar en la subrasante en suelos arcillosos-limosos es la expansión, según Barrera, M (2002) el proceso de expansión se produce cuando un suelo no saturado se humedece absorbiendo agua entre sus partículas y aumentando de volumen. Este aumento de volumen tiene una componente debido a la relajación de los esfuerzos intergranulares al aumentar el grado de saturación. De hecho se pueden cambiar estos dos fenómenos, absorción de agua y relajación de los esfuerzos, con un posible colapso.

Uno de los métodos más difundidos para la estabilización de suelos arcillosos es la 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 se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

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.

Con la aplicación adecuada de las bolsas de polietileno fundido se busca mejorar algunas propiedades físicas - mecánicas del suelo de fundación, evitando grandes movimientos de tierras, por ende se estaría solucionando algunos problemas geotécnicos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cómo influye las bolsas de polietileno en el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICAS

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas que influyen en la capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción?
- ¿Cuál es la dosificación de las bolsas de polietileno como adición para el mejoramiento de la subrasante en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción?
- ¿Cómo influye la reutilización de bolsas de polietileno fundido, en el diseño estructural de un pavimento flexible en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia de las bolsas de polietileno en el suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

1.3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas que influyen en la capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.
- Establecer la dosificación de las bolsas de polietileno como adición para el mejoramiento de la subrasante en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.
- Determinar la influencia de las bolsas de polietileno fundido en el diseño estructural de un pavimento flexible en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se muestra la metodología para la evaluación de las muestras de la calicata: C1, C2 y C3 para medición de las propiedades físicas, mecánica y químicas del suelo a mejorar. Así mismo también se explica la metodología de la utilización de bolsas de polietileno para ser usada como una alternativa de solución para la estabilización de suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La utilización de bolsas de polietileno mejora el CBR de la subrasante de un suelo arcilloso de mediana a baja plasticidad y en consecuencia también reduce la contaminación que se produce por las bolsas de polietileno en el medio ambiente.

Durante los meses que trabajo como encargado de mecánica de suelos de la obra “Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en la localidad de Orcotuna”, observé en un tramo del Jr. Arequipa la presencia de un suelo arcilloso lo cual había la necesidad de mejorar el suelo a nivel de la sub rasante para evitar el asentamiento, por ello opté mejorar con bolsas de polietileno como adición y alternativa de solución.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Las bolsas de polietileno debido a su producción, consumo, bajo costo y múltiples aplicaciones que se les puede dar, se pueden aplicar mediante el reciclaje con la finalidad de disminuir la contaminación y evitar grandes movimientos de tierra en un mejoramiento de su subrasante.

Actualmente, en la construcción de obras lineales es primordial minimizar y compensar al máximo posible el movimiento de tierras debido a consideraciones económicas, ambientales y técnicas, por ello se debe realizar estudios de suelos y optar por el mejor estabilizador para mejorar las propiedades físicas - mecánicas.

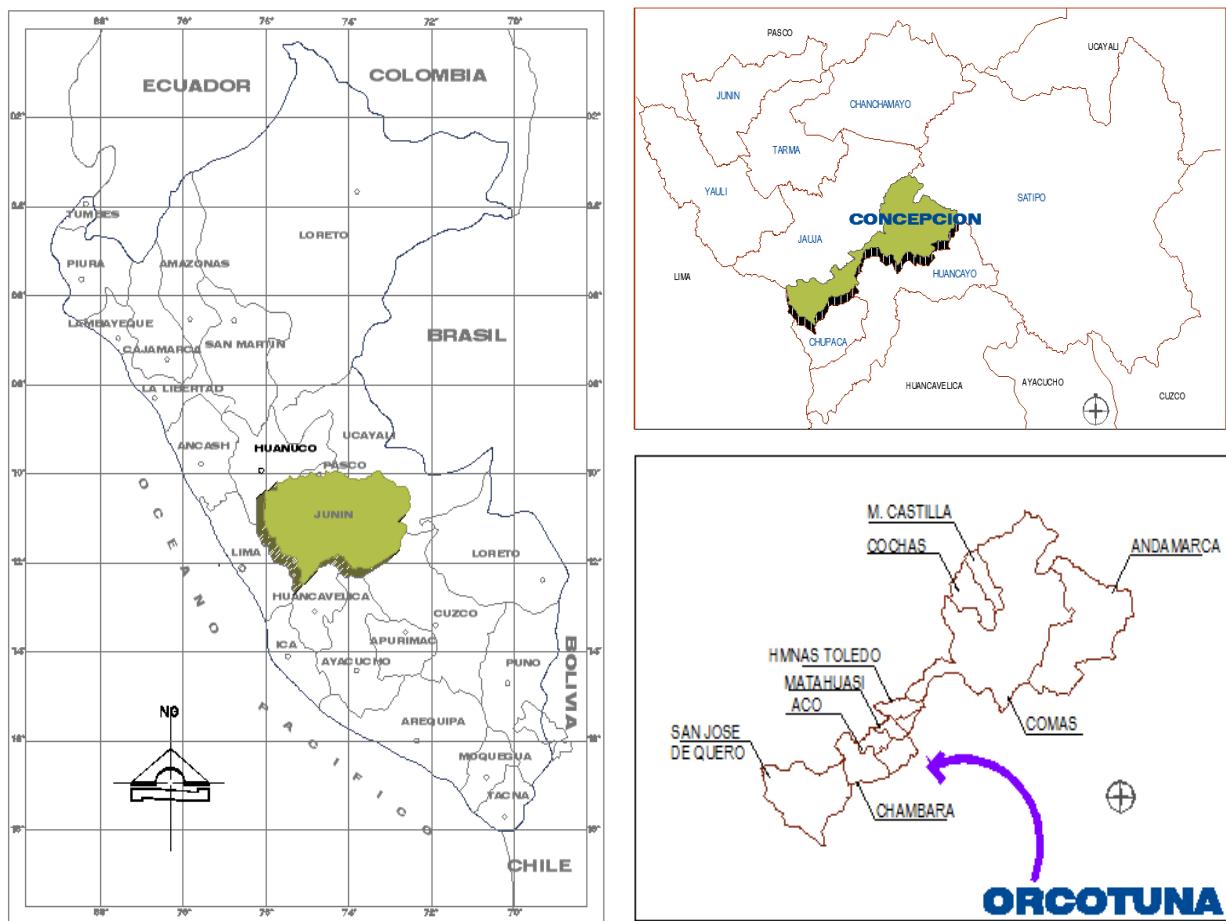
1.5. DELIMITACIÓN

1.5.1. CONCEPTUAL

La presente investigación se encuentra enmarcada en el ámbito de la Ingeniería Civil dentro del área de geotecnia y pavimentos. En cuanto al desarrollo de la investigación se realizó un levantamiento topográfico, estudio de calicatas para determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo, utilización de bolsas de polietileno con adición de porcentajes del 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del peso seco del suelo, recolección de información sobre residuos sólidos de la municipalidad de Orcotuna y finalmente se hizo la interpretación de resultados seleccionando el método y comparando económicoamente el diseño de pavimento con bolsas de polietileno y cal.

1.5.2. ESPACIAL

El presente trabajo de investigación se llevara a cabo en el tramos de la carretera no pavimentada del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 que está caracterizado como una vía de tráfico pesado del distrito de Orcotuna – Concepción – Junín.



Fuente: Portal Municipal del Perú – Municipalidad Provincial de Concepción

Figura 1: Ubicación de la Provincia de Concepción en el Departamento de Junín

El área en estudio se encuentra ubicado a una altura referente de 3329.00 m.s.n.m, la topografía es relativamente plana, con una inclinación leve de Este a Oeste de 3%.

1.5.3 TEMPORAL

Se realizó en 12 meses, desde el mes de Setiembre 2015 hasta Julio del 2016.

1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.6.1. HIPÓTESIS GENERALES

- Las bolsas de polietileno influyen en el mejoramiento del suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 00+00-KM 00+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- Las propiedades físicas, mecánicas influyen en la capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna– Concepción.
- Existe una dosificación de las bolsas de polietileno como adición para el mejoramiento de la subrasante en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.
- Influye de manera positiva al reutilizar las bolsas de polietileno fundido en el diseño estructural de un pavimento flexible en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

1.7. VARIABLES

1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Bolsas de polietileno.

1.7.2. VARIABLES DEPENDIENTE

Mejoramiento de suelo a nivel de subrasante.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES:

2.1.1. ANTECEDENTE INTERNACIONAL:

(Lopes T., Hernandez J., Horta J., Coronado A. & Castaño V., 2010); artículo de investigación Iberoamericana de Polímeros “Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas”, investigan a las arcillas expansivas que sufren cambios de volumen debido a las variaciones en su humedad, adquirida por capilaridad y o por infiltración.

Esta investigación utiliza un poliuretano, que comúnmente se aplica para sellado de grietas en la construcción. Dicho polímero se aplica en la estabilización de cambios volumétricos de suelos expansivos. Las pruebas muestran que las mezclas suelo - polímero reducen la expansión en, aproximadamente, el 40%, respecto a la del suelo natural.

El desecho polietileno se cataloga como un producto resistente que no se ve afectado por humos, soluciones ácidas, soluciones básicas, soluciones salinas, solventes y productos químicos; además, es resistente a las agresiones producidas por el ambiente. (Crawford et al. 2013)

(Ramírez, L. 2011); Tesis “Pavimentos con polímeros reciclados” Como objetivo fue comparar las propiedades mecánicas del asfalto modificado con polímeros reciclados (caucho e icopor) con las del asfalto tradicional.

El presente trabajo de grado busca analizar variables cuantitativas en una investigación de tipo exploratorio experimental, donde mediante investigaciones bibliográficas anteriores se diseñó mezclas teniendo en cuenta los avances reportados.

El caucho se dispersa mejor en la matriz asfáltico, debido a que el caucho - llanta es un polímero reticulado sus partículas son microporosas, estos poros pueden servir como punto de anclaje para ser penetrados por las partículas de asfalto, además debido a la presencia del calor hace que se expandan las partículas de caucho, y después cuando se enfriá la mezcla, las partículas de asfalto que penetraron los poros formando la unión por adherencia se contraen generando una mejor unión entre el asfalto y el caucho.

Gracias a esto se plantea la posibilidad de utilizar el poliestireno como un agregado pétreo de la carpeta asfáltica, para su utilización se requiere de la realización de algunos ensayos para verificar que cumpla con las normas que regulan los agregados pétreos.

(Delgado, 2011); “Estabilización de suelos para atenuar efectos de plasticidad del material de subrasante de la carretera Montecristi”, preparar muestras para tres contenidos diferentes de cal, para los ensayos de compresión simple y durabilidad. Los contenidos de cal para las pruebas serán: (a) contenido de cal inicial; (b) contenido de cal inicial más 2 % y (c) contenido de cal inicial más 4 %. Los especímenes preparados se deberán curar por un periodo de 28 días a 23 °C. También se utilizar un curado acelerado por 48 h a 49 °C. Se comparan los resultados obtenidos con los requerimientos solicitados, de acuerdo con las especificaciones contractuales. El contenido de cal más bajo, que cumpla con los requerimientos de resistencia a compresión y demuestre la durabilidad requerida, será el contenido de cal de diseño.

La National Lime Association de los Estados Unidos, evaluó varios procedimientos para el diseño de mezclas estabilizadas con cal, con el fin de obtener un método definitivo que pueda ser utilizado para diversos tipos de suelo y climas.

2.1.2. ANTECEDENTE NACIONAL:

(Ramos, G. 2014); Tesis “Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014”, Como objetivo fue mejorar la subrasante de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras.

Con la adición de polímeros reciclados (PR), obtenidos de las botellas descartables PET, solo se mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo como material para subrasante, el suelo estudiado presenta gran presencia de arcillas, siendo su granulometría muy fina y carente de partículas de mayor diámetro que son muy importantes para una buena capacidad portante, razón por la cual al adicionar los PR al 1.5% del peso seco del suelo, con dimensiones entre 5 y 10 mm de forma rectangular, se aprecia un incremento porcentual en promedio del CBR en 26% debido a que el PET es un material resistente y al adicionar al suelo hace que tenga mayor fricción y por ende presente mayor resistencia al corte.

(Ramón, B. 2013); artículo de investigación “Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante por medio de la aplicación de correlación deflectométrica”, la subrasante debe tener una capacidad de respuesta para garantizar la vida útil del pavimento, la cual debe ser conforme con los Estudios y las Especificaciones Técnicas del proyecto en lo referente a su grado de compactación y deflexión máxima admisible. Sin

embargo, esto no se cumple en algunos casos aislados o puntuales, resultando inevitable efectuar su mejoramiento.

Este documento propone el análisis teórico-práctico para determinar los espesores adecuados de reemplazo del material no competente de la subrasante, que no reúne las condiciones del valor mínimo de CBR, para cumplir con el diseño estructural del pavimento.

Para que la estructura de un pavimento se comporte adecuadamente y cumpla el período de diseño, a nivel de subrasante registrará una deflexión no mayor de 2.0mm. Para cargas estáticas transmitidas por un eje estándar de 80 KN. Esta deflexión máxima, bajo carga estática, puede ser medida con la Viga Benkelman. Esto significa que para deflexiones mayores, se deberá proceder con el mejoramiento de la subrasante.

(MTC. 2013); Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. 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. En cambio cuando se estabiliza una sub base granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como sub base o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.).

El manual ilustra diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la subrasante, estabilización mecánica de suelos, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, estabilización química del suelo, estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros). Sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos construidos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

2.2. BASES TEÓRICAS

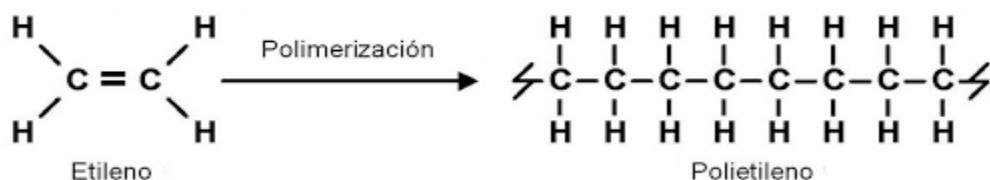
2.2.1. POLIETILENO

El polietileno es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Los diversos tipos de Polietileno que se encuentran en el mercado son el

resultado de las diferentes condiciones de operación, llevadas a cabo en la reacción de polimerización (Sapón, M. 1999, p. 17).

2.2.1.1. Estructura del Polietileno

La estructura química del Polietileno es –(CH₂-CH₂)_n. Esta molécula está compuesta en su unidad estructural por dos átomos de carbono y 4 átomos de hidrógeno unidos todos por enlaces de tipo covalente. La fuerza de los enlaces C-C y C-H es 347 y 414 KJ/mol respectivamente. Esta unidad básica se puede repetir indefinidamente para formar el Polietileno. El número de veces que se repita esta unidad básica depende del tipo de catalizador utilizado en la reacción química, la temperatura y la presión (Sapón, M. 1999, p. 19).



Fuente: Sapón, 1999

Figura 2: Estructura química del Polietileno

2.2.1.2. Clasificación del Polietileno

En forma general se puede clasificar tres tipos diferentes de Polietileno de acuerdo a la densidad que presentan ya que esta es un buen indicativo del tipo de estructura que posee el polímero (Sapón, M. 1999, p. 20).

- Polietileno de baja densidad
- Polietileno de mediana densidad
- Polietileno de alta densidad

El Polietileno de baja densidad

Es un polímero de cadena ramificada. Se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones por el mecanismo de radicales libres. Contiene sustituyentes alquilo, o pequeñas ramificaciones en la estructura de la cadena, dichas ramificaciones se producen durante el proceso de síntesis. Es un polímero con una densidad comprendida entre 0.910 –

0.925 g/cm³; es incoloro, inodoro y no toxico. El Polietileno de baja densidad se divide en: Polietileno de baja densidad, Polietileno lineal de baja densidad, Polietileno de muy baja densidad y Etil - Vinil – Acetato. Aplicaciones: bolsas, sacos de dormir, invernaderos (Sapón, M. 1999, p. 20).

Bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD): estas bolsas son de mayor espesor y por tanto no son transparentes. Se utilizan generalmente en lugares como las ferreterías, donde el peso de los productos es mayor, o su forma requiere de una resistencia al desgarre que la bolsa de PEAD no puede proporcionar.



Fuente: Sapón, 1999

Figura 3: Símbolo y bolsas de baja densidad

El Polietileno de media densidad

Es un polímero con densidad comprendida entre 0.930 – 0.940 gr/cm³, que se emplea especialmente en la fabricación de tuberías (Sapón, M. 1999, p. 21).

El Polietileno de alta densidad

Es un polímero con estructura lineal y muy pocas ramificaciones. Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas utilizando catalizadores Ziegler-Natta o Proceso Phillips, aunque existe un tercero utilizado; los catalizadores Metalocenos, utilizados únicamente para obtener Polietileno de ultra alta masa molecular (PEADUAPM o sus siglas en inglés UHMWPE). Es un polímero con densidad comprendida entre 0.941 – 0.954 gr/cm³ es incoloro, inodoro, no toxico y resistente tanto a esfuerzos como a agentes químicos. Aplicaciones: Cajas, juguetes, tuberías, botellas, etc. (Sapón, M. 1999, p. 21).

Tabla 1: Valores de las propiedades para polietileno de alta y baja densidad

Propiedad	Polietileno de alta densidad	Polietileno de baja densidad
Peso Molecular (g/gmol)	200 - 400	100 - 300
Densidad (gr/cm3)	0.94 - 0.97	0.91 - 0.94
Resistencia a la Tracción (Mpa)	21	38
Módulo de Young (Mpa)	1000	250
Elongación (%)	130	800
Temperatura de Transición Vítreo (°C)	-80	-125
Temperatura de Fusión (°C)	130 - 140	105 - 115

Fuente: Paulo Arriagada González, 2013

Bolsas de Polietileno de alta densidad (PEAD): son las bolsas más utilizadas en los supermercados. Son livianas y con un espesor muy bajo.



Fuente: Sapón, 1999

Figura 4: Símbolo y bolsas de polietileno de alta densidad

2.2.2. SUBRASANTE

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos (AASHTO. 1993, p. 4)

“Las propiedades importantes para analizar en la subrasante son las propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), propiedades

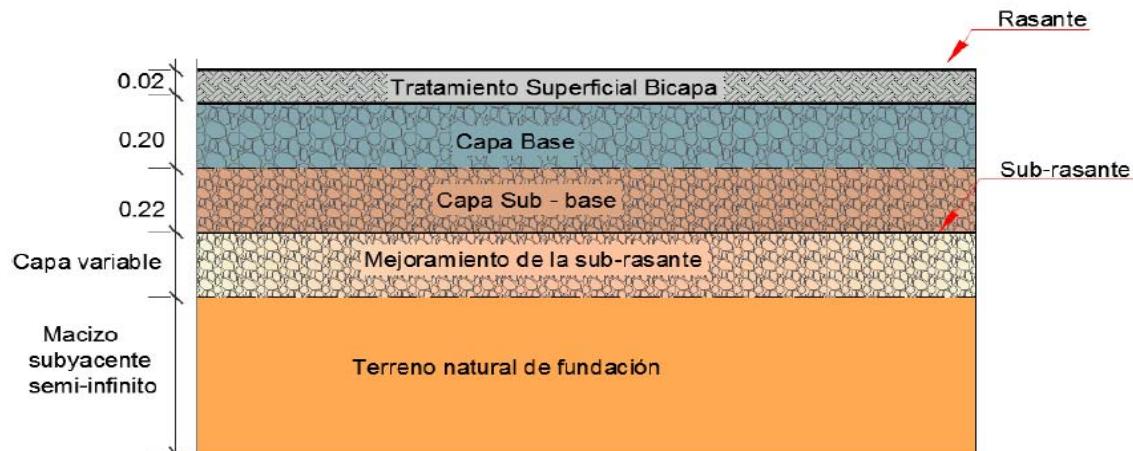
de rigidez (módulo resiliente, módulo de elasticidad y CBR), propiedades hidráulicas (coeficiente de drenaje, permeabilidad, coeficiente de expansión)” (Menéndez, 2013).

Tabla 2: Categorías de la subrasante

CATEGORIAS DE LA SUBRASANTE	CBR
So: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR \geq 30%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013

Se consideran como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%.



Fuente: Ramón, 2008

Figura 5: Sección transversal – Pavimento Flexible

Los parámetros determinantes en la respuesta de la Subrasante

El comportamiento de una subrasante generalmente depende de tres características básicas, las cuales se hallan interrelacionadas entre sí, siendo éstas las siguientes (Ramón, B. 2013, p. 7)

a) La capacidad portante

La subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento. La capacidad de carga es función del tipo de suelo, del grado de compactación y de su contenido de humedad.

El propósito del pavimento es proporcionar una superficie confortable al tránsito de vehículos. Consecuentemente, es necesario que la subrasante sea capaz de soportar un número grande de repeticiones de carga sin presentar deformaciones (Ramón, B. 2013, p. 7).

b) Contenido de humedad

El diferente grado de humedad de la subrasante afecta en forma determinante su capacidad de carga, pudiendo además llegar a provocar inclusive contracciones y/o expansiones indeseables, especialmente en el caso de la presencia de suelos finos.

El contenido de humedad es afectado principalmente por las condiciones de drenaje, elevación del nivel freático, infiltración etc. Una subrasante con un elevado contenido de humedad sufrirá deformaciones prematuras ante el paso de las cargas de solicitud de los vehículos (Ramón, B. 2013, p. 7).

c) Contracción y/o expansión

Algunos suelos se contraen o se expanden, dependiendo de su grado de plasticidad y su contenido de humedad. Cualquier pavimento construido sobre estos suelos, si no se adoptan las medidas pertinentes, tenderán a deformarse y/o deteriorarse prematuramente.

Para evitar que las deflexiones admisibles en la subrasante excedan los límites establecidos, debe cumplirse que la presión transmitida por la carga se mantenga por debajo del valor de la carga máxima transmitida al suelo, para lo cual deberá tomarse en cuenta el tránsito de diseño a través del número de repeticiones de carga, las deflexiones máximas esperadas y el CBR del material con el que se ejecutará el mejoramiento (Ramón, B. 2013, p. 7).

2.2.3. SUELOS EXPANSIVOS

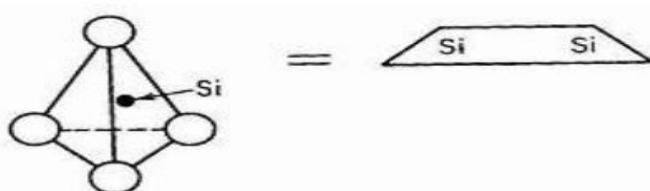
Todos los suelos que tienen la capacidad de sufrir cambios volumétricos en función de la humedad se le conoce como suelos expansivos, esto es, suelos arcillosos con mineral montmorillonita en un clima semiárido. Los asentamientos que sufren las estructuras debido a las deformaciones producto de los aumentos de carga sobre el suelo que los soporta fueron identificados como la causas de los daños en las estructuras, estas no solo pueden presentar daños por asentamiento sino también por expansión (Zepeda, A. 1989).

2.2.3.1. Génesis de las arcillas

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayoría, productos finales de la meteorización de los silicatos que formados a mayores presiones y temperatura en el exógeno se hidrolizan. Se clasifican por su textura como clásticos; en ella se mantienen ciertos minerales antígenos unidos por una matriz cementante. El contenido de arcilla en un suelo o roca tiene mucho que ver según los factores climáticos incidentes. La cantidad de arcilla aumenta en función de la humedad y la temperatura, pasando a escala logarítmica para condiciones tropicales y subtropicales (Barbeta. 2002).

2.2.3.2. Mineralogía

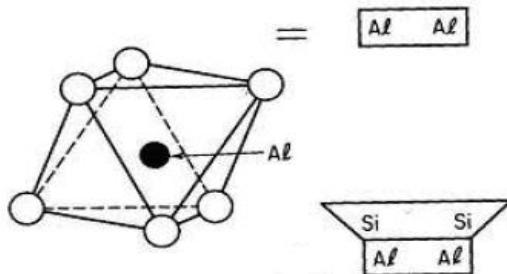
Las arcillas son el producto de desintegración química de las rocas ígneas y metamórficas, estas están constituidas por silicatos de aluminio hidratados y en algunos casos silicatos de magnesio, hierro u otros metales. Estos minerales casi siempre están definidas por una estructura cristalina, en el cual los átomos se disponen en láminas (silícica y alumínica). La lámina silícica está formada por un átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, esta estructura se encuentra en forma de tetraedro, en la figura 6 se muestra la estructura de una lámina sílica.



Fuente: (Juárez y Rico. 1963)

Figura 6: Lámina sílica

Las alumínicas están formadas por retículas de octaedros ordenados con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor, en la figura 7 se muestra la estructura de una lámina alumínica.



Fuente: (Juárez y Rico. 1963)

Figura 7: Lámina alumínica

Los minerales de las arcillas se clasifican en cuanto a su estructura reticular como:

- Montmorillonitas
- Caolinitas
- Illitas

Las montmorillonitas están formadas por láminas alumínicas entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas de mineral es débil y como consecuencia las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura. Debido a esto, se produce un incremento de volumen de los cristales, provocando macrofísicamente una expansión. (Juárez y Rico. 1963)

2.2.4. ENSAYOS EN SUELO DE FUNDACIÓN

2.2.4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso del agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas, según la norma (MTC, 2000).

2.2.4.2. GRANULOMETRIA

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). A partir de la cual se

puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño (MTC, 2013).

Tabla 3: Clasificación de suelos según tamaños de partículas

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

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013

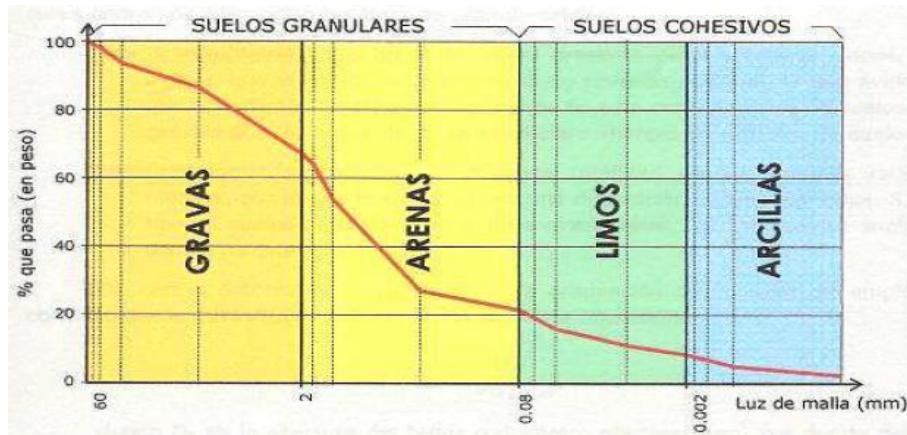
Este ensayo (NLT-104) no es otra que determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existente en el mismo, o dicho de otro modo, su granulometría.

El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujetada una malla caracterizada por un espaciamiento uniforme entre hilos denominado abertura o luz de malla, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar.

Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelo seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz.

Existen diversas series normalizadas de tamices, aunque las más empleadas son la UNE 7050 española y la ASTM D-2487/69 americana.

Para determinar la fracción fina de suelo-limos y arcillas- no es posible efectuar el tamizado, por lo que se empleará el método de sedimentación, se procede a pesar las cantidades retenidas en cada uno de los tamices, construyéndose una gráfica semilogarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida (o el que pasa) para cada abertura de tamiz. (Bañon, L. 2000, p.6)



Fuente: Bañon Blázquez, 2000

Figura 8: Curvas granulométrica de suelos

Interpretación de los resultados

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 granulometría (Bañon, L. 2000, p.7).

a) **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 suelo (Bañon, L. 2000, p.7).

b) **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 (Bañon, L. 2000, p.7).

De cara a determinar numéricamente la graduación de un suelo se emplea el coeficiente de curvatura, definido por la siguiente expresión:

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

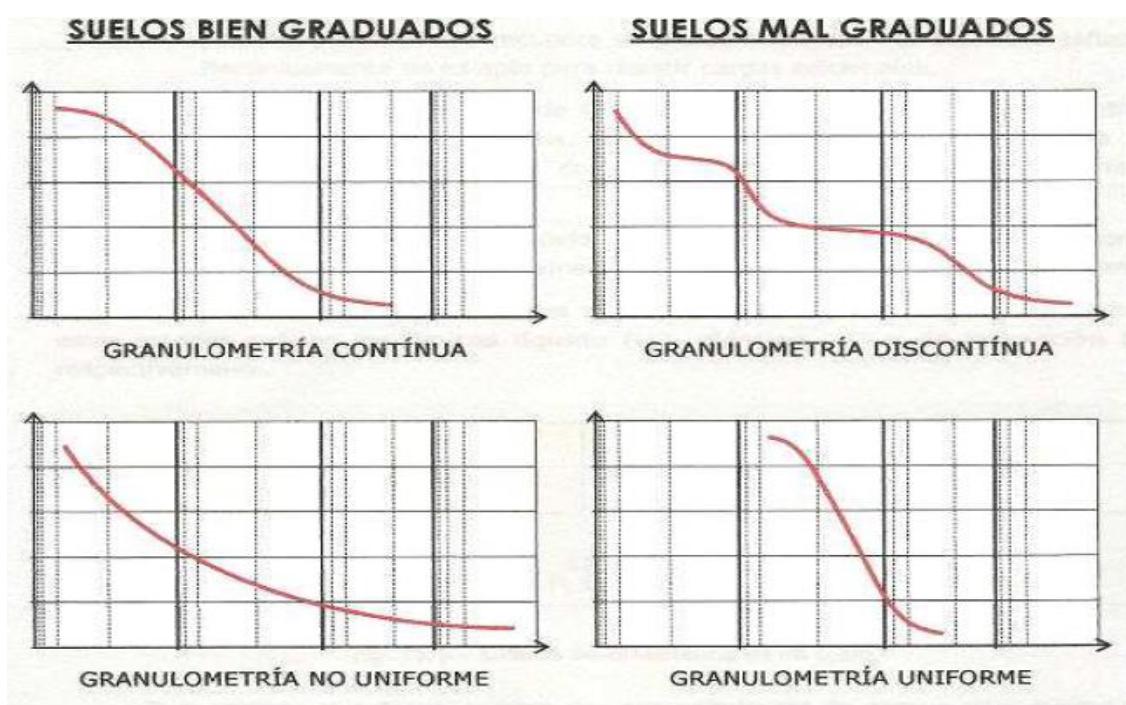
Donde Dx es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el x% en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada.

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 Cc comprendidos entre 1 y 3.

Otro parámetro muy empleado para dar idea 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:

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

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.



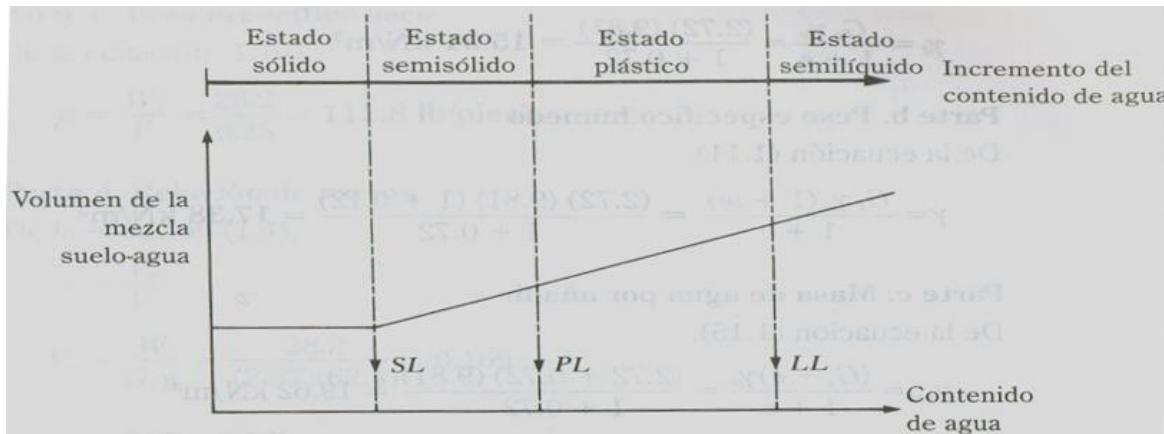
Fuente: Bañon Blázquez, 2000

Figura 9: Interpretación de la curva granulométrica

2.2.4.3. LÍMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELLO

Un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como semilíquido. Si el suelo es secado gradualmente, se comportará como un material

plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Este, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un plástico se define como límite líquido (LL). Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se definen como el Límite plástico (PL) y el límite de contracción (SL), respectivamente (Braja, D. 1999, p.15).



Fuente: Braja, 1999

Figura 10: Definición de los límites de Atterberg

Límite líquido: se determina mediante la Copa de Casagrande (D-4318 ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/2in (12.7mm), mediante 25 golpes.

Límite Plástico: Se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de ½" (3.18mm) de diámetro (D-4318 ASTM).

Límite de contracción: Contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida de agua (D-427 ASTM).

Índice de Plasticidad: La diferencia entre límite líquido y el plástico de un suelo se define como índice de plasticidad (PI).

$$PI = LL - LP$$

2.2.4.4. COMPACTACIÓN

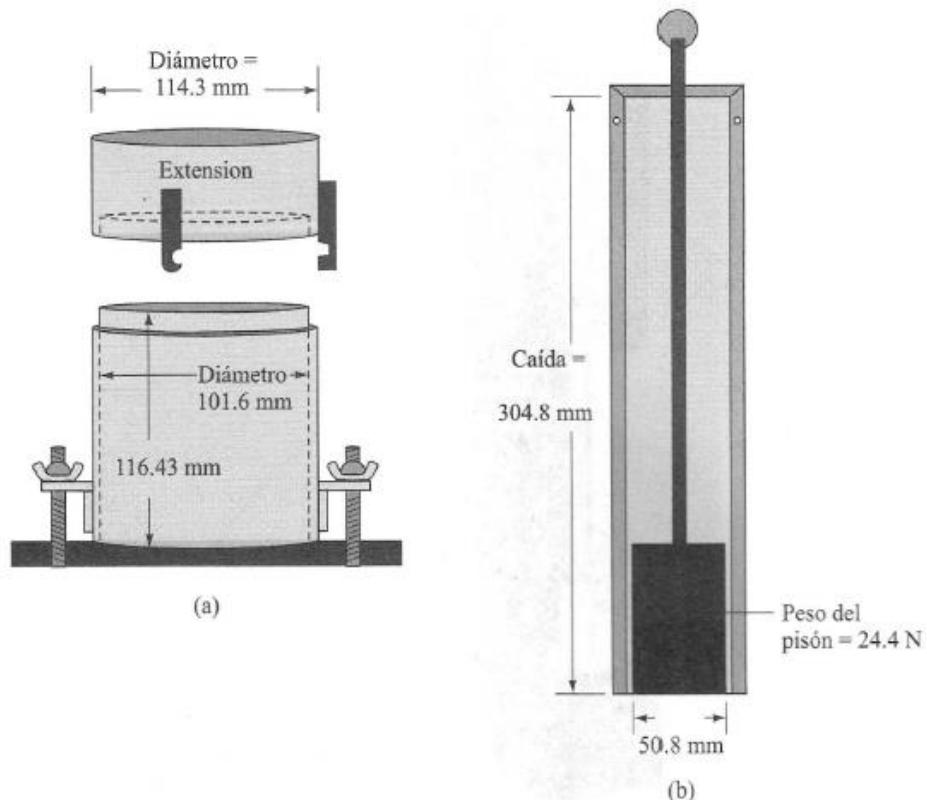
La compactación es el proceso artificial/mecánico, por el cual se pretende obtener mejores características en los suelos que constituyen la sección estructural de las

carreteras, de tal manera que la obra resulte duradera y cumpla con el objetivo por el cual fue proyectada. (Montejo, 2002).

Este proceso implica la reducción de vacíos por perdida de aire, conduciendo a cambios de volumen de importancia; no todo el aire sale del suelo y por lo general, no se expulsa agua por lo que la condición de un suelo compactado en carretas es la de un suelo parcialmente saturado. (Rico & Catillo, 2005).

a) Prueba Proctor estándar

En la prueba Proctor, el suelo es compactado en un molde que tiene un volumen de 943.3 cm³. El diámetro del molde es de 101.6mm. Durante la prueba de laboratorio, el molde se une a una placa de base en el fondo y a una extensión en la parte superior (figura 11 a) El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego se compacta en tres capas iguales por medio de un pisón que transmite 25 golpes a cada capa. El pisón pesa 24.4 N y tiene una altura de caída de 304.8mm.



Fuente: Braja, 1999

Figura 11: Equipo de la prueba Proctor estándar: (a) molde; (b) pisón

Tabla 4: Especificaciones para la prueba Proctor estándar

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Altura de caída del pisón	304.8 mm	304.8 mm	304.8 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación Suelo por usarse	591.3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla N°.4 (4.57mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N°.4.	591.3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 9.5mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N°4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	591.3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Fuente: 698-91 de la ASTM.

b) Prueba Proctor modificado

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación de campo, la Prueba Proctor Estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. A ésta se llama prueba Proctor modificada (Prueba D-1557 de la ASTM y Prueba T-180 de la AASHTO). Para llevar a cabo la prueba Proctor modificada se usa el mismo molde, con un volumen de 943.3cm³, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44.5 N. la caída del martillo es de 457.2 mm. El número de golpes de martillo por capa es de 25 como en el caso de la prueba Proctor estándar. La energía de compactación por volumen unitario de suelo en la prueba modificada se calcula.

$$E = \frac{(25 \frac{\text{golpes}}{\text{capa}})(5 \text{ capas})(44.5 \times 10^{-3} \text{ kn})(0.4572 \text{ m})}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2696 \text{ kN} - \text{m/m}^3$$

Debido a que incrementa el esfuerzo de compactación, la prueba Proctor modificada resulta en un incremento del peso específico seco máximo del suelo.

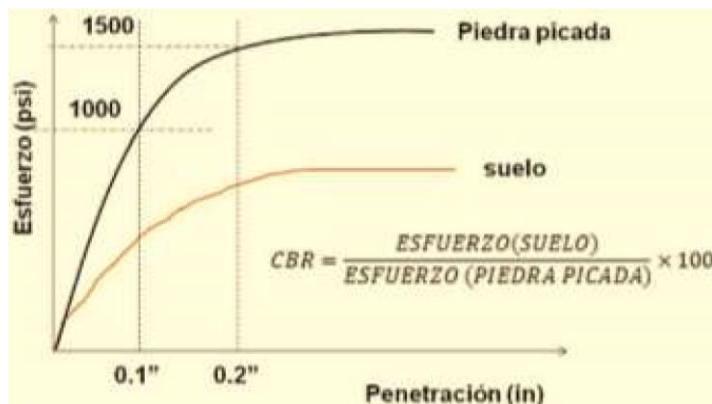
Tabla 5: Especificaciones para la prueba Proctor Modificado

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de caída del pisón	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación Suelo por usarse	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla N°.4 (4.57mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N°.4.	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 9.5mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N°4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Fuente: 1557-91 de la ASTM.

2.2.4.5. CBR (California Bearing Ratio)

Según la norma ASTM D 1883, el CBR se trata de un ensayo en el que el suelo se somete a la penetración de un vástagos cilíndrico a una velocidad constante. El resultado, índice CBR, es la capacidad de soporte del suelo comparado con la de una grava patrón. Por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de CBR como se muestra en la Figura 12, uno a 0.1" de penetración, y el otro a 0.2" de penetración. La ASTM recomienda reportar el de 0.1" mientras este sea menor que el de 0.2". En el caso en el que el valor de CBR para 0.1" fuera mayor que el de 0.2" habría que repetir el ensayo para ese espécimen.



Fuente: ASTM D 1883

Figura 12: Determinación de la relación de soporte CBR.

“Cuando se aplica la carga de la prensa universal mediante el pistón al espécimen de suelo, se desarrollan dos resistencias fundamentales, una de corte perimetral función de la longitud del perímetro del área de apoyo de la carga, y otra resistencia interna a compresión función del área afectada por la carga” (Crespo Villalaz, 2007, pág. 202).

2.2.4.6. ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE

El ensayo de módulo resiliente se utilizará la norma MTC E 128 (AASHTO T274), el Módulo de Resiliencia es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndole ciertas características no lineales. El módulo de resiliencia se puede usar directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y, para el diseño de pavimentos rígidos o de concreto, debe convertirse a módulo de reacción de la subrasante (valor k). (Manual de Carreteras suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013).

Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR, se empleará la siguiente ecuación que correlaciona el Mr – CBR

$$Mr (\text{psi}) = 2555 \times CBR^{0.64}$$

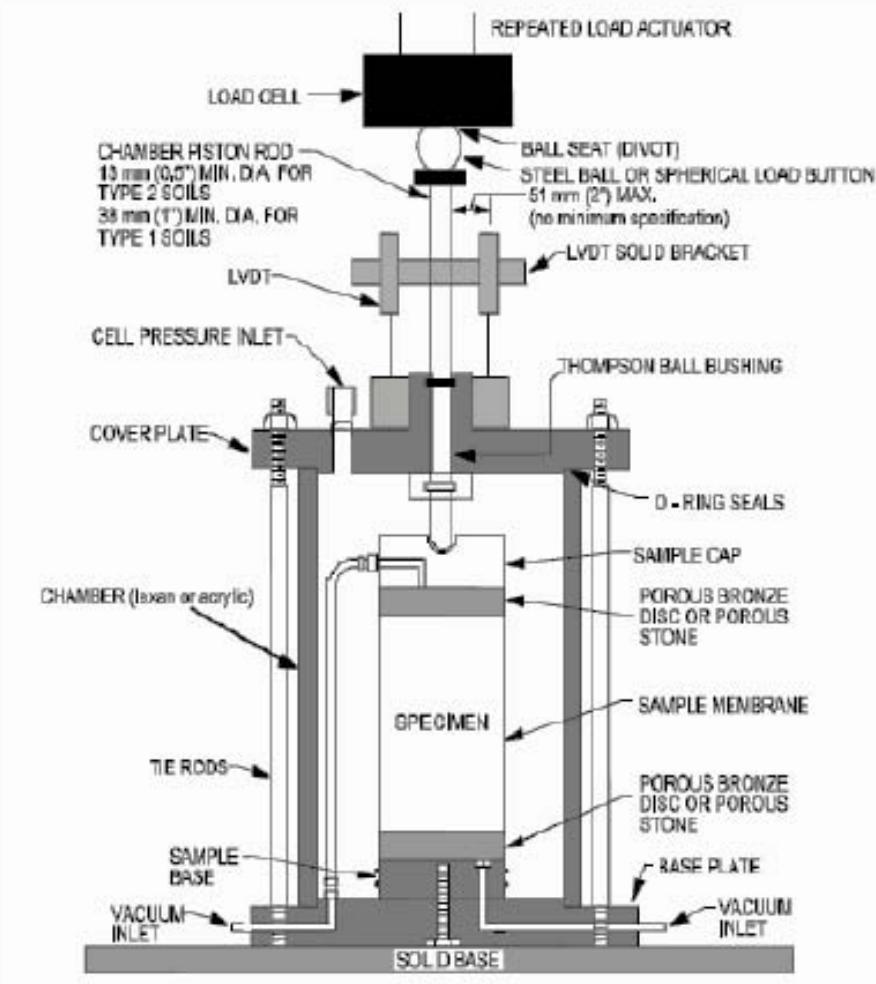
Tabla 6: Módulo Resiliente obtenido por correlación con CBR

CBR%	MÓDULO RESILIENTE SUBRASAN TE (MR) (PSI)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASAN TE (MR) (MPA)	CBR%	MÓDULO RESILIENTE SUBRASAN TE (MR) (PSI)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASAN TE (MR) (MPA)
6	8043	55.45	19	16819	115.96
7	8877	61.2	20	17380	119.83
8	9669	66.67	21	17931	123.63
9	10426	71.88	22	18473	127.37
10	11153	76.9	23	19006	131.04
11	11854	81.73	24	19531	134.66
12	12533	86.41	25	20048	138.23
13	13192	90.96	26	20558	141.74
14	13833	95.38	27	21060	145.2
15	14457	99.68	28	21556	148.62
16	15067	103.88	29	22046	152
17	15663	107.99	30	22529	155.33
18	16247	112.02			

Fuente: Elaboración propia, en base a la ecuación de correlación CBR – Mr, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide)

El ensayo del módulo resiliente es similar a un ensayo triaxial, se aplica un esfuerzo desviador cíclico a la muestra previamente confinada .El esfuerzo desviador está en función de la velocidad, carga y confinamiento (ICG, 2006).

El esfuerzo desviador está en función de la velocidad directriz de la vía. Si el vehículo se desplaza lentamente, como en zonas agrestes de fuertes pendiente (carretera central, velocidad entre 10 a 20 Km/h), el terreno de fundación podrá deformarse mucho más que en el caso el vehículo circulase rápidamente.

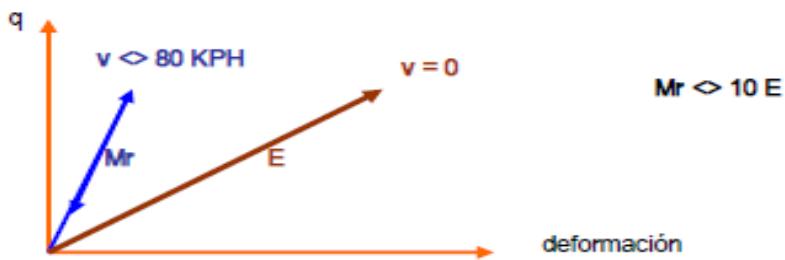


Fuente: Instituto de Construcción de Gerencia - 2006

Figura 13: Cenda triaxial cíclico ensayo de resiliencia.

Cuando la carga aplicada es lenta, el módulo resiliente, Mr , se acerca al módulo elástico, E . El ensayo de módulo resiliente se realiza para las condiciones a las que estará sometida la vía.

Mr el módulo resiliente representa el comportamiento elástico final del suelo.



Fuente: Instituto de Construcción de Gerencia, 2006

Figura 14: Comportamiento elástico

2.2.5. ESTABILIZACIÓN DE SUELO

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 (Manual de Carreteras suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013).

2.2.5.1. CRITERIOS GEOTÉCNICOS PARA ESTABLECER LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR \geq 6\%$. 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.

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.

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 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 0.02mm.

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.

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 adición estabilizador de suelos
- Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- Disponibilidad del tipo de adición estabilizador
- Disponibilidad del equipo adecuado
- Costos comparativos

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 7: Primera 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 porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1A	SW ó SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Pórtland			
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1B	SW -SM ó SP - SM ó	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Pórtland	IP no excede de 30		
	SW - SC ó SP - PC	(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1C	SM ó SC ó SM - SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Pórtland	(b)		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2A	GW ó GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Pórtland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4.
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2B	GW -GM ó GP - GM ó GW - GC ó GP - GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Pórtland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4.
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2C	GM ó GC ó GM - GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Pórtland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N° 4.
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas	IP no excede de 25		
3	CH ó CL ó ó ML Ó OH ó OL ó ML - CL	(1) Cemento Pórtland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		
		(2) Cal	IP no menor de 12		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
IP= Índice plástico =20 + (50 - porcentaje que pasa la malla N° 200)/4			(b) IP	Sin restricción u observación no es necesario aditivo estabilizador	Fuente:US Army Corps of Engineers

Fuente: US Army Corps of Engineers, 2013

Tabla 8: Segunda guía referencial para la selección del tipo de estabilizador

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELOS ⁽¹⁾	DOSIFICACIÓN ⁽²⁾	CURADO(APERTURA AL TRANSITO) ⁽⁵⁾	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 (SO4 2)<0.2% Abrasión <50% Durabilidad SO4Ca(4) -AF<=15% -AG<=12% Durabilidad SO4Mg -AF<=15% -AG<=18%	2-12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PAC (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 ó AASHTO M208	A-1,A-2 y A-3 Pasante malla N°200<=10% IP<=8% Equiv. Arena >= 40% CMO(2)<1.0% Sulfatos (SO4 2)<0.6% -Abrasión<50% Durabilidad SO4Ca(4) -AF<=10% -AG<=12% Durabilidad SO4Mg -AF<=15% -AG<=18%	4-8%	Minimo 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 (SO4 2)<0.2% Abrasión<50%	2-8%	Minimo 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 (SO4 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 - 80kg/m3	7 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1,A-2 y A-3 IP<=15% CMO(2)<3.0% Ph:minimo 5 Abrasión<50%	50 - 80kg/m3	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) 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: 10-30%	1L/30-33 m3	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	

(1)Epesor de tratamiento por capas 6 a8", Tamaño máximo:2", debe carecer de restos vegetales los suelos naturales, materiales de banco de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto

(2) CMO: Contenido de materia orgánica

(3) Los diseños o dosificaciones deben indicar:formula de trabajo,tipo de suelo,cantidad de estabilizador , volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado

(4) Para altitudes mayores a 3000 msnm

(5) Despues de finalizado el proceso de compactación

Fuente: Ministerio de Trasportes y Comunicaciones, 2013

2.2.5.2. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN

- Estabilización mecánica de suelos
- Estabilización por combinación de suelos
- Estabilización por sustitución de los suelos
- Suelos estabilizados con cal
- Suelos estabilizados con cemento
- Suelos estabilizados con escoria
- Estabilización con cloruro de sodio
- Estabilización con cloruro de calcio
- Estabilización con cloruro de magnesio
- Estabilización con productos asfálticos
- Estabilización con geosintéticos

2.2.6. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO

2.2.6.1. EL TRÁNSITO

Durante el período de diseño adoptado. La repetición de las cargas de tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. A demás, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitudes tangenciales entradas especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos (en especial las tens en zonas de estacionamiento de vehículo pesados), la canalización del tránsito, etc. (Montejo, A. 2002, p. 9)

2.2.6.2. LA SUBRASANTE

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se concluya un pavimento sobre este tipo de suelo deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar

en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medio los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal (Montejo, A. 2002, p. 9)

2.2.6.3. EL CLIMA

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimento rígidos ocasionan en ésta esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas. En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamiento que influirán en el nivel de servicios de la vía (Montejo, A. 2002,p. 10)

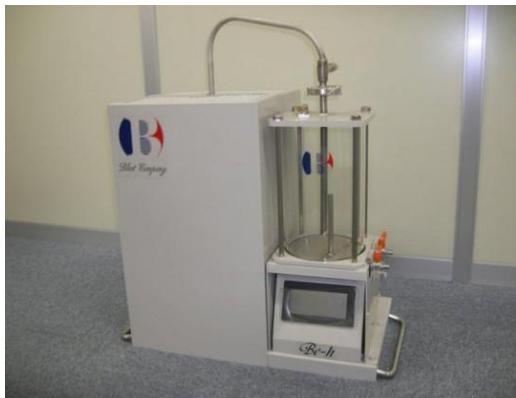
2.2.6.4. LOS MATERIALES DISPONIBLE

Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos aluviales del área. Además de la calidad requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, hay que atender al volumen disponible aprovechable, a las facilidades de explotación y al precio, condicionado en buena medida por la distancia de acarreo, por otra parte, se deben considerar materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes, especialmente (Montejo, A. 2002,p. 10)

2.2.6. MÁQUINA CONVERTIDORA DE BOLSAS DE POLIETILENO EN COMBUSTIBLE

Las bolsas de polietileno resulta un problema medioambiental de primer orden. Según las investigaciones realizadas por la empresa Japonesa **Blest Company**, con una

máquina asombrosamente sencilla, es capaz de convertir el plástico en petróleo, gasolina, diesel o kerosene. Cuando las personas empiecen a considerar las bolsas usadas como un combustible y no como un desperdicio cambiará su actitud y tratarán de reciclar.



Fuente: Akinori Ito

Figura 15: Máquina convertidora de bolsas de polietileno en combustible

Su inventor, Akinori Ito, explica cómo funciona la “**Caja Mágica**” la cual sólo pesa 50 kilos y es capaz de convertir 1 kilo de plástico en 1/4 litro de combustible.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

POLIETILENO: polietileno es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Los diversos tipos de Polietileno que se encuentran en el mercado son el resultado de las diferentes condiciones de operación, llevadas a cabo en la reacción de polimerización (Sapón, M. 1999)

SUB RASANTE: es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos (AASHTO, 1993)

ESTABILIZACIÓN DE SUELO: es 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, 2013)

SUELOS EXPANSIÓN: es aquel que es susceptible de sufrir cambios volumétricos por cambios de humedad. Puede decirse que los suelos expansivos son un fenómeno que se presenta en un suelo arcilloso con mineral montmorillonita y en condiciones ambientales que dan pie a la reducción de humedad ya sea por evaporación o evapotranspiración de la vegetación. Los suelos expansivos son abundantes donde la evapotranspiración es mayor que la precipitación (Donalson, 1969).

COMPACTACIÓN: La compactación es el proceso artificial/mecánico, por el cual se pretende obtener mejores características en los suelos que constituyen la sección estructural de las carreteras, de tal manera que la obra resulte duradera y cumpla con el objetivo por el cual fue proyectada (Terzagui, 1986)

CONTENIDO DE HUMEDAD: Se conoce como contenido de agua o humedad de un suelo a la relación entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida. Suele expresarse como un porcentaje norma (MTC E 108)

ENSAYO CBR: Es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, es una prueba semi-empírica y consiste en penetrar progresivamente una muestra de suelo compactado con un pistón metálico estándar a una velocidad normativa (MTC E – 132)

CAPÍTULO III: METODOLOGIA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación según su finalidad es aplicada porque se usa la ciencia y teoría ya existente para aplicarla de manera directa en casos prácticos reales, en razón, que se utilizara bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subsaante. La investigación aplicada busca el conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar para actuar, basándose en resolver los problemas de la manera más práctica, con un margen de generalización limitado, asimismo la información obtenida a través de esta investigación debería ser también aplicable en cualquier lugar y por tanto ofrece oportunidades significativas para su difusión (Zorrilla, 1993).

3.1.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación viene dado por el grado de profundidad y alcance que se pretende con la misma. El nivel es descriptivo consiste en describir fenómenos, situaciones, contexto y sucesos; eso es, detallar cómo son y se manifiestan. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (Hernández, 2010, p.95).

3.1.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación emplearemos un diseño experimental. Porque la investigación se apoya en la observación de fenómenos provocados o manipulados en laboratorio (Ccanto 2010) y es una situación de control en la que se manipulan de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efecto) (Hernández, 2010).

3.2. MÉTODOS EMPLEADOS

a) Método de Observación.

Proceso de conocimiento por el cual se pudo percibir deliberadamente el tipo de suelo que existe en el desarrollado de esta investigación del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna. .

b) Método Inductivo.

Se inicia con la observación de casos particulares a casos generales, que se aplicaron en el laboratorio con adición de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna.

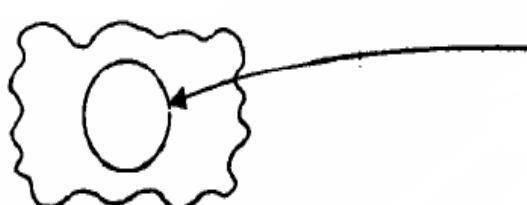
c) Método Comparativo.

Este método referido a la comparación de tipos de resultados obtenidos después de los ensayos en el laboratorio después de la aplicación de las bolsas de polietileno con y sin adición.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

Población suelo a nivel de la subrasante



Límite de la población

todo los suelos a nivel de la subrasante del tramo del Jr:
Arequipa, progresiva Km 0+000 - Km 0+100, Distrito
de Orcotuna, Concepción.

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista, 2010.

Figura 16: Representación de la población

La población de la siguiente investigación consta de 75 ensayos de caracterización de la resistencia de la subrasante



Fuente: Municipalidad Distrital de Orcotuna

Figura 17: Ubicación de la población

3.3.2. MUESTRA

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elemento que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernández, 2010, p.175).

La muestra será obtenida mediante la ejecución de calicatas de 1.5 m de profundidad y/o de bancos de suelos arcillosos.

3.3.2.1. TIPO DE MUESTREO

Muestra no probabilística e intencional, Porque se escoge sus unidades no en forma fortuita, sino en forma arbitraria, designando a cada unidad según características que al investigador resulten de relevancia (Sabino, C. 1996).

Tamaño de la muestra: En el cuadro de número de calicatas para exploración de la norma CE-010 Pavimentos Urbanos señala para un tipo de vía colectoras realizar 1 calicata cada 1500 metros cuadrados. Así mismo, menciona donde se requiera mayor detalle en los estudios según la naturaleza del suelo, se podrá delimitar la zona, en este caso los valores representativos de los ensayos será solo válida para dicho sector.

Para el presente trabajo, se realizó tres puntos diferentes, con el propósito de encontrar uno que cumpliera con ciertas características en sus propiedades geotécnicas adecuadas para llevar por buen término la investigación.

- En la tabla 301.B-01 de ensayos y frecuencias para suelos estabilizados con cal indica en la (EG2013) se establece realizar un ensayo cada 500 m³ para el CBR, por tanto para el volumen de 234 m³, se estima 1 ensayos.
- El ensayo de CBR consta de 3 especímenes como indica la (MTC E 132), cada espécimen de aproximadamente 5.0 kg de muestra.

NÚMERO DE ENSAYOS REQUERIDOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE

Se usara la expresión de intervalo de confianza de dos lados para una distribución Normal

$$[X_{med} - \mu] = K_{\frac{a}{2}} \cdot [\sigma/n^{0.5}] = \text{Máximo error permitido}$$

Dónde:

K_{a/2}: Es el número de veces que se debe contemplar la desviación estándar para lograr un determinado grado de confiabilidad.

σ: desviación estándar encontrada para el CBR en suelos similares en otros proyectos.

Se sugiere un nivel de confianza del 90% y un máximo error permitido en términos de % en CBR igual a 2% para suelos finos. La desviación estándar igual a 3.40 (Montejo, A. 2002, p. 185)

Para el nivel de confianza del 90%:

$$\begin{aligned} a/2 &= (1 - 0.90)/2 = 0.05 \\ K_{a/2} &= 1.645 \end{aligned}$$

Luego se tiene:

$$K_{\frac{a}{2}} \cdot [\sigma/n^{0.5}] = 2 \%$$

Reemplazando los datos:

$$K_{\frac{a}{2}} \cdot [\sigma/n^{0.5}] = 1.645 \cdot [3.40/n^{0.5}] = 2 \%$$

n = 7.8 muestras

Aproximadamente 8 ensayos serán necesarias satisfacer los requerimientos.

Para determinar la resistencia el número requerido de ensayos a realizar es de 6 a 8 para cada tipo de suelo. Más de 9 ensayos es innecesario.

Por cuestiones económicas el número de ensayos que se realiza en esta investigación será de tres ensayos de CBR para las siguientes dosificaciones 2%, 4%, 6%, 8% y 10%.

Cantidad total de ensayos a realizados:

Tabla 9: Cantidad de ensayos realizados

ENSAYOS	CANTIDAD DE ENSAYOS DE LA SUBRASANTE		
	C-01	C-02	C-03
PROPIEDADES FISICAS			
Análisis Mecánico por Tamizado	1	1	1
Contenido de Humedad	3	3	3
Límite Líquido	4	4	4
Límite Plástico	2	2	2
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Proctor Modificado	4	4	4
Relación de Soporte (CBR)	6	3	3
ANALISIS QUIMICAS	1	1	1
CANTIDAD DE ENSAYOS DE SUBRASANTE MAS ADICIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO			
Relación de Soporte (CBR)	33	30	

Fuente: Elaboración Propia

Cantidad requerida de material:

Calcularemos la cantidad de material a extraer de cada punto de muestreo de acuerdo a la cantidad de ensayos a realizar y a los requerimientos en las normas respectivas:

Tabla 10: Cantidad de material requerido

ENSAYOS	NORMA MTC	TOTAL DE MATERIAL REQUERIDO			TOTAL
		C-1	C-2	C-3	
Contenido de					
Humedad de un suelo	MTC E 108	0.2 kg	0.2 kg	0.2 kg	0.6 kg
Análisis					
Granulométrico por Tamizado	MTC E 107	0.5 kg	0.5 kg	0.5 kg	1.5 kg
Determinación del límite líquido de los suelos					
	MTC E 110	0.2 kg	0.2 kg	0.2 kg	0.6 kg
Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad					
	MTC E 111	0.2 kg	0.2 kg	0.2 kg	0.6 kg
Análisis					
Granulométrico por medio del Hidrómetro	MTC E 109	0.2 kg	0.2 kg	0.2 kg	0.6 kg
Proctor Modificado	MTC E 115	12 kg	12 kg	12 kg	36 kg
CBR	MTC E 132	195 kg	165 kg	15 kg	375 kg

Fuente: Elaboración Propia

3.4. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Llamamos datos a los elementos básicos de la información primaria que se obtiene de la realidad.

3.4.1. TÉCNICAS

La observación y reflexión es el método que se utilizó para tomar datos, porque existe una relación directa con la realidad.

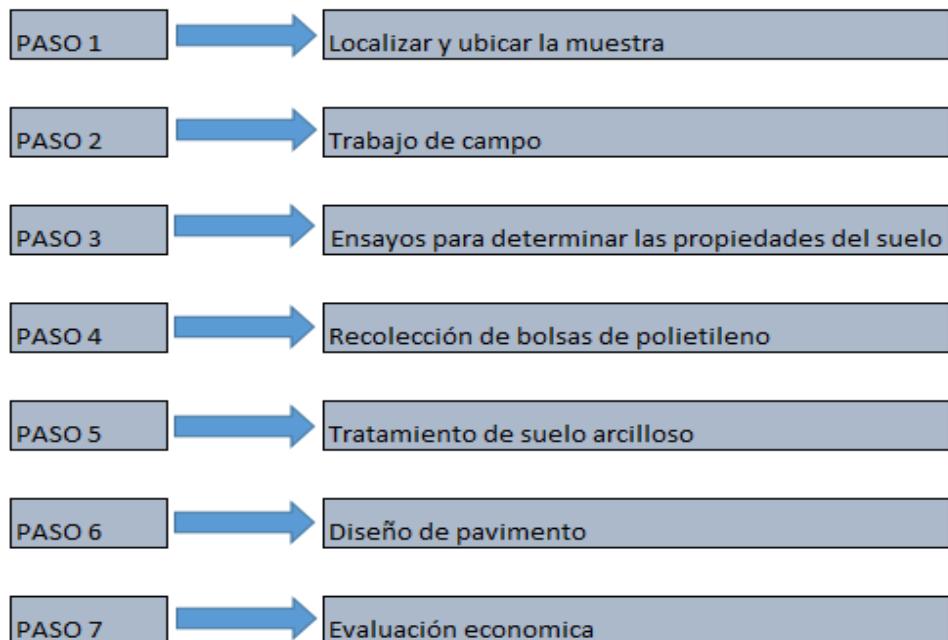
Se hizo la visita al campo, se seleccionó dos tramos visualmente en tramos mejorados y en tramos no mejorados, se realizó dos calicatas en la progresiva Km 0+000 - Km 0+100 y una calicata en el progresivo Km 0+100 - Km 0+200 siendo en total tres calicatas.

Se hizo el traslado de la muestra al laboratorio para realizar las características físicas y mecánicas del suelo.

3.4.2. INSTRUMENTOS

Los instrumentos que se utilizaron fueron: equipos de laboratorio para los ensayos de suelos, manuales de laboratorio, equipo de cómputo para el proceso de datos, información bibliográfica, cámaras fotográficas, equipos topográficos para el levantamiento y materiales de apunte.

3.5. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO



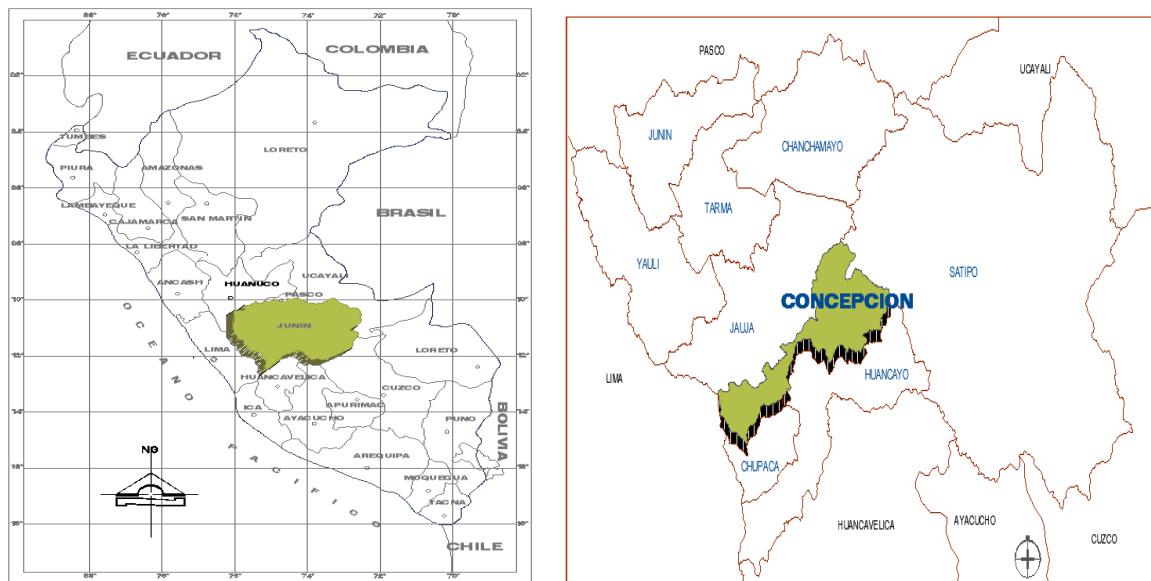
Fuente: Elaboración Propia

Figura 18: Procedimiento metodológico

3.5.1. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LA MUESTRA

El “mejoramiento de la sub rasante” tiene la siguiente ubicación geográfica:

LOCALIZACIÓN REGIONAL LOCALIZACIÓN PROVINCIAL



LOCALIZACIÓN DISTRITAL UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Municipalidad Distrital de Orcotuna, 2015

Figura 19: Localización y ubicación de la zona de muestra

3.5.2. TRABAJOS DE CAMPO.

En el registro de excavación se ha anotado el espesor de los estratos del suelo; aplicando el procedimiento de campo (visual-manual) se ha obtenido la clasificación de los

suelos (Sistema Unificado de Clasificación – SUCS y AASHTO), aspecto que se corrobora con los ensayos de laboratorio.

Las muestras disturbadas representativas de suelos, se han obtenido en cantidades suficientes para realizar los ensayos correspondientes, habiendo sido debidamente identificadas y embaladas en bolsas plásticas de polietileno para su conservación y traslado al laboratorio.

3.5.2.1. Calicatas.

Se excavaron (3) calicatas en el área de estudio, con una profundidad de 1.50 metros, distribuidas convenientemente a 50 metros entre ellas, en la carretera con la finalidad definir las características de la subrasante y obtener el perfil estratigráfico del suelo.

Tabla 11: Coordenadas geográficas de las calicatas

PROG(KM)	CALICATA	PROF.(m)	COORDENADAS		LADO
			NORTE	ESTE	
0+020	C-1	1.5	8677014.152	466906.647	derecho
0+070	C-2	1.5	8676993.978	466860.434	izquierdo
0+120	C-3	1.5	8676979.191	466812.048	derecho

Fuente: Elaboración Propia

CALICATA C-01, Al realizar la calicata en el Km 0+020.00 se detectó la presencia de arcilla, hasta 0.30 m presenta un pt y de 0.30 m hasta 1.50 m es una arcilla plástica.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20: Vista de la calicata C-01

CALICATA C-02, Al realizar la calicata en el Km 0+070.00 se detectó la presencia de grava, hasta 0.20 m presenta un pt y de 0.20 m hasta 1.50 m es una arcilla.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21: Vista de la calicata C-02

CALICATA C-03, Al realizar la calicata en el Km 0+120.00 se detectó la presencia de grava, hasta 0.30 m presenta un pt y de 0.30 m hasta 1.50 m es una grava.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22: Vista de la calicata C-03

3.5.2.2. Registro de excavaciones

Paralelamente a la toma de muestras se realizó el registro visual de cada una de las prospecciones, anotándose las características de los tipos de suelos encontrados, tales como espesor, humedad, compacidad, forma, textura, dureza de los materiales pétreos, tamaño máximo de la bolonería encontrada, color, permeabilidad, etc., así mismo, se efectuó el registro fotográfico de vistas en detalle de estratos encontrados y vistas panorámicas del terreno.

3.5.3. ENSAYOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de determinar las propiedades físico, mecánicas y químicas de las muestras, se determinaron mediante los procedimientos establecidos en el manual de ensayos de materiales para carreteras del MTC (EM – 2000), aprobado por R.D.N° 028-2001-mtc/15.17 del 16-01-2001 que a continuación se indican:

Tabla 12: Ensayos realizados en suelos de fundación

ENsayos	NORMA
PROPIEDADES FÍSICAS	
Análisis Mecánico por Tamizado	MTC E 107
Contenido de Humedad	MTC E 108
Límite Líquido	MTC E 110
Límite Plástico	MTC E 111
Clasificación de suelos método SUCS	NTP 339.134
Clasificación de suelos método AASHTO	NTP 339.135
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Proctor Modificado	MTC E 115
Relación de Soporte (CBR)	MTC E 132
PROPIEDADES QUÍMICAS	
Contenido de materia orgánica	
PH	
Sulfatos SO ₄ 2	

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3.1 Contenidos de Humedad Natural (MTC E-108)

El contenido de humedad de una muestra indica la cantidad de agua que esta contiene, expresándola como un porcentaje del peso de agua entre el peso del material seco. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables. Entonces lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones al momento de los cálculos.

Procedimiento

1. Se pesa la muestra humedad (w_{humedo})
2. Es secada en horno a 105°C durante 24 horas.
3. Se pesa la muestra seca (w_{seco})
4. Ahora ya con estos datos aplicamos la siguiente formula

$$W(\%) = \frac{W_{\text{humedo}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{seco}}} \times 100$$



(a)



(b)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 23: (a) pesando la muestra húmeda; (b) secado de la suelo

3.5.3.2 Límite Líquido (MTC E-110)

Método Multipunto

Se determina mediante la Copa de Casagrande (D-4318 ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/2in (12.7mm), mediante 25 golpes.

Procedimiento

1. Colóquese la muestra de suelo en la vasija de porcelana y mézclese completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mézclese completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

2. Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, colóquese una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprímasela hacia abajo, teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. Nivélese el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjeselo hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Regréssese el exceso de suelo a la Vasija de porcelana.

3. Divídase el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hágase una ranura con el menor número de pasadas posible.

4. Elévese y golpéese la taza de bronce girando la manija F, a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

5. En lugar de fluir sobre la superficie de la taza algunos suelos tienden a deslizarse. Cuando esto ocurra, deberá a agregarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el acanalador y se repetirá el Punto anterior; si el suelo sigue deslizándose sobre la taza de bronce a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el límite líquido no se puede determinar.

6. Sáquese una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colóquese en un recipiente adecuado.

7. Transfiérase el suelo sobrante en la taza de bronce a la cápsula de porcelana. Lávese y séquese la taza de bronce y el ranurador y ármese de nuevo el aparato del límite líquido para repetir el ensayo.

8. Repítase la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24: Realizando el ensayo de límite líquido

3.5.3.3 Límite Plástico (MTC E-111)

Es el contenido de agua con el cual el suelo se cuartea y quiebra al formar pequeños rollito de 3.2mm de diámetro.

Procedimiento

1. 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.
2. Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea

necesario para formar cilindros, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

3. El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo:

4. 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.

5. La 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.

6. Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 1 y 2



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25: Realizando el ensayo de límite plástico

3.5.3.4 Análisis Mecánico por Tamizado (MTC E-107)

La granulometría es la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño, que se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N°200 (diámetro 0,074 milímetros), considerándose el material que

pasa dicha malla en forma global. Para conocer su distribución granulométrica por debajo de este tamiz se hace el ensayo de sedimentación. El análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se plotea el diámetro de tamiz versus porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo, de acuerdo al uso que se quiera dar al agregado.

Procedimiento

1. Análisis granulométrico de la porción gruesa
2. Sepárese la porción retenida en el tamiz N° 4 en la serie de tamices siguientes: 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N° 4.
3. En la tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar 10 minutos aproximadamente.
4. Se determina el peso de cada fracción en una balanza con sensibilidad de 0.1g.
5. Análisis granulométrico de la porción fina
6. La fracción de tamaño mayor que el tamiz N° 200, se analizara por tamizado en seco, en las siguientes mallas: N° 4, N° 10, N° 40, N° 100 y N° 200, previamente lavado sobre el tamiz N° 200.

Se determina el peso de cada fracción en una balanza con sensibilidad de 0.1g.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26: Realizando el ensayo de granulometría

3.5.3.5 Proctor modificado (MTC E – 115)

Ensayo para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco compactado con una energía de compactación determinada. El objetivo de la prueba es determinar el contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

Procedimiento

1. Secar el material si este estuviera húmedo, puede ser al aire libre o al horno.
2. Tamizar a través de las mallas 3/4", 3/8" y N°4 para determinar el método de prueba.
3. Preparar 4 ó 5 muestras de 6kg. Para el método C y de 3 Kg. si se emplea el método A ó B.
4. Agregar agua y mezclar uniformemente. Cada punto de prueba debe tener un incremento de
5. Colocar la primera capa en el molde y aplicarle 25 ó 56 golpes según el método de ensayo.
6. Los golpes deben ser aplicados en toda el área, girando el pisón adecuadamente.
7. Cada golpe debe ser aplicado en caída libre, soltar el pisón en el tope.
8. De igual forma completar las cinco.
9. La última capa debe quedar en el collarín de tal forma que luego pueda enrasarse.
10. Enrasar el molde con una regla metálica quitando previamente el collarín.
11. Retirar la base y registrar el peso del suelo + molde.
12. Luego de pesado, extraer el suelo y tomar una muestra para el contenido de humedad, como mínimo 500 gr. para material granular tomada de la parte central del molde.
13. Llevar las muestras al horno para determinar la humedad.
14. Repetir el procedimiento para un mínimo de 4 puntos compactados a diferentes contenidos de humedad, dos de los cuales quedan en el lado seco de la curva y los otros dos en el lado húmedo.
15. Una vez determinados el contenido de humedad de cada muestra hallar la densidad seca de cada punto:

$$\gamma d = \frac{\gamma m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

gm = densidad húmeda = peso suelo húmedo /volumen

w = contenido de humedad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27: Ensayo de Proctor modificado

3.5.3.6 CBR (California Bearing Ratio) MTC E – 132

El CBR (California Bearing Ratio) se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas, en una muestra patrón de piedra triturada.

$$C.B.R. = \frac{\text{Esfuerzo en el Suelo Ensayado}}{\text{Esfuerzo en el Suelo patrón}}$$

La relación C.B.R. generalmente se determina para 0.1" y 0.2" de penetración, ósea para un esfuerzo de 1000 y 1500 libras por pulgada cuadrada en el patrón respectivamente.

El método CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

Preparación del material

- a) Secar el material al aire o calentándolo a 60 °C.

- b)** Desmenuzar los terrones existentes y tener cuidado de no romper las partículas individuales de la muestra.
- c)** La muestra deberá tamizarse por la malla $\frac{3}{4}''$ y la No. 4. La fracción retenida en el tamiz $\frac{3}{4}''$ deberá descartarse y reemplazarse en igual proporción por el material comprendido entre los tamices $\frac{3}{4}''$ y No. 4. Luego se mezcla bien.
- d)** Se determina el contenido de humedad de la muestra así preparada.

Cantidad de material

Para cada determinación de densidad (un punto de la curva de compactación), se necesitan 5 k de material. Para la curva con 6 puntos se necesitará 30 k de material. Cada muestra se utiliza una sola vez.

Determinación de la densidad y humedad

Preparar una muestra que tenga la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento. Procedimiento:

- a)** En el molde cilíndrico se coloca el disco espaciador y papel filtro grueso 6".
- b)** La muestra se humedece añadiendo una cantidad de agua calculada. Se mezcla uniformemente. La humedad entre dos muestras debe variar en 2%.
- c)** La muestra se divide en 5 partes. Se compacta en 5 capas con 10, 25 y 56 golpes / capa. La briqueta compactada deberá tener un espesor de 5".
- d)** Se quita el collarín, se enrasa la parte superior del molde, se volteará el molde y se quitará la base del molde perforada y el disco espaciador.
- e)** Se pesará el molde con la muestra, se determinará la densidad y la humedad de la muestra.



(a)



(b)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 28: (a) muestra con adición; (b) compactación en 5 capas con 10, 25 y 56 golpes/capa.

Determinación de la expansión del material

- a) Determinada la densidad y humedad se coloca el papel filtro sobre la superficie enrasada, un plato metálico perforado y se volteará el molde.
- b) Sobre la superficie libre de la muestra se colocará papel filtro y se montará el plato con el vástago graduable. Luego sobre el plato se colocará varias pesas de plomo. La sobrecarga mínima será de 10 lbs.
- c) Colocado el vástago y las pesas, se colocará el molde dentro de un tanque o depósito lleno con agua.
- d) Se monta el trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial y se tomará cada 24 horas.
- e) Al cabo de las 96 horas o antes si el material es arenoso se anota la lectura final para calcular el hinchamiento. Se calcula el % de hinchamiento que es la lectura final menos la lectura inicial dividido entre la altura inicial de la muestra multiplicado por 100.

Los especímenes son saturados por 96 horas, con una sobrecarga igual peso del pavimento que se utilizará en el campo pero en ningún caso será menor que 4.50 k. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión que es:

$$\text{Expansión (\%)} = \frac{\text{Expansión}}{\text{Altura de la muestra}} \times 100$$



(a)



(b)

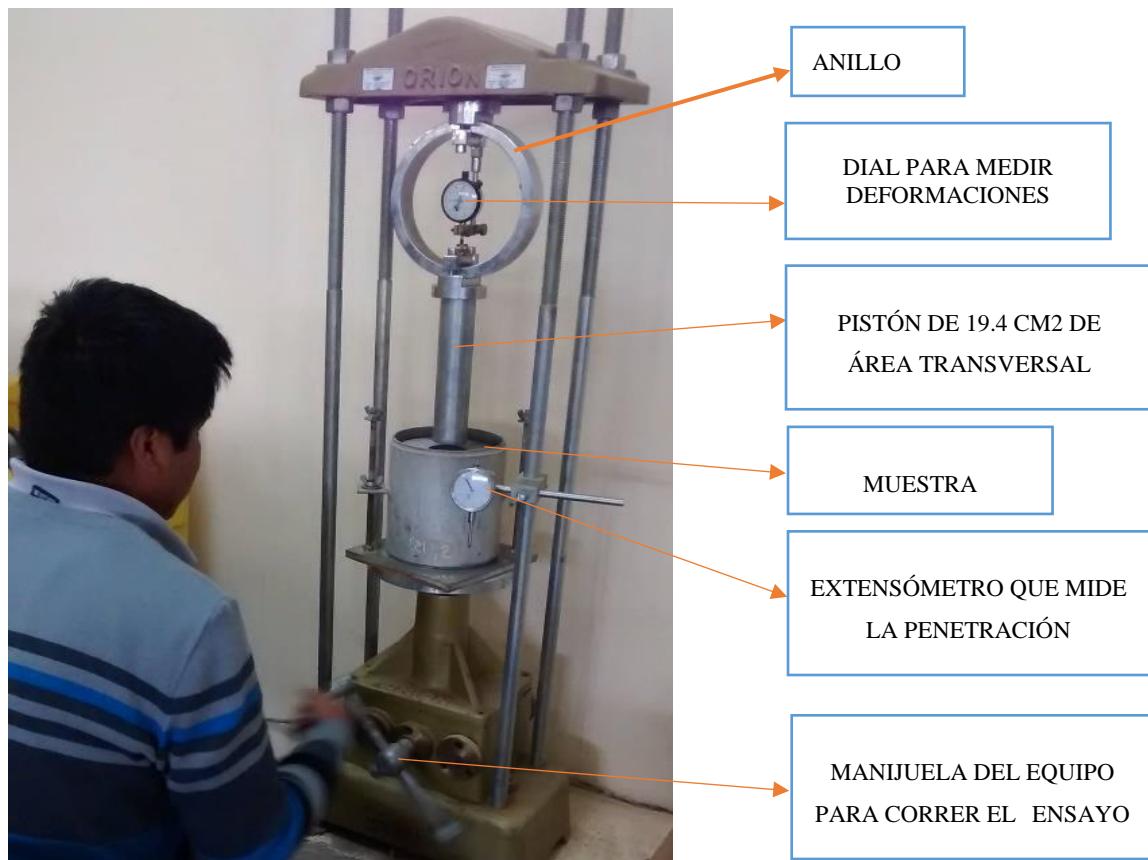
Fuente: Elaboración Propia

Figura 29:(a) midiendo la expansión; (b) extensómetro para medir la expansión

Determinación de la resistencia a la penetración

- a) Si no es necesario sumergir la muestra en agua, se colocará sobre ella la pesa anular y se montarán las pesas de plomo, de tal modo que se obtenga una sobrecarga semejante a la del pavimento a construirse. Pasar a c) y d).
- b) Si la muestra ha sido sumergida en agua para medir su expansión, y después que haya sido drenada, se colocará la pesa anular y encima de las pesas de plomo que tenía la muestra cuando estaba sumergida en agua; o sea que la sobrecarga para la prueba de penetración deberá ser prácticamente igual a la sobrecarga que tenía durante el ensayo de hinchamiento.
- c) El molde con la muestra y la sobrecarga, se coloca debajo de la prensa y se asienta el pistón sobre la muestra, aplicando una carga de 10 lbs.
- d) Una vez asentado el pistón, se coloca en cero el extensómetro que mide la penetración y el dial del extensómetro también se coloca en cero.

- e) Se hinca el pistón en incrementos de 0.025" a la velocidad de 0.05"/ minuto y se leen las cargas totales que ha sido necesario aplicar hasta hincar el pistón 0.50 pulgada.
- f) Una vez hincado el pistón hasta 0.50 pulgada, se suelta la carga lentamente; se retira el molde de la prensa y se quitan las pesas y la base metálica perforada.
- g) Finalmente se determina el contenido de humedad de la muestra. Para el control de campo, bastará determinar el contenido de humedad correspondiente a la parte superior de la muestra pero en el laboratorio se recomienda tomar el promedio de los diferentes contenidos de humedad (parte superior e inferior de la muestra).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30: Prensa CBR

3.5.4. RECOLECCION DE BOLSAS DE POLIETILENO EN EL BOTADERO PARA USO DE LA PRESENTE INVESTIGACION

3.5.4.1. IDENTIFICACIÓN DEL BOTADERO

Para esta investigación se seleccionó el botadero de Orcotuna

3.5.4.2. RECICLAJE DE BOLSAS DE POLIETILENO EN EL BOTADERO.

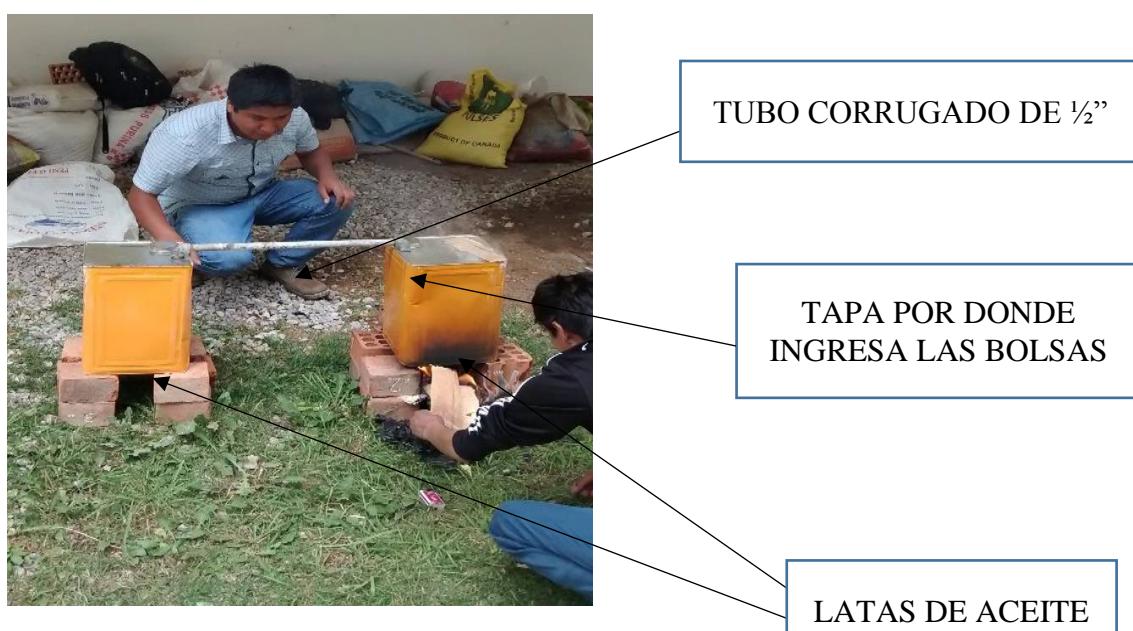
Los números que aparecen dentro de las flechas en seguimiento se refieren a distintos tipos de plásticos. El código de identificación de plástico de “1 a 7” identifica la composición de los plásticos elaborada por la sociedad de la industria de plásticos.

3.5.4.3. LAVADO Y SECADO

Se realizó el lavado de las bolsas recicladas y luego se hizo secar al aire libre.

3.5.4.4. PROCESAMIENTO DE LAS BOLSAS DE POLIETILENO Y USO

Se realizó el fundido de bolsas de polietileno en una máquina cacera que consta de dos latas de aceite vacío que están conectado entre sí mediante un tubo galvanizado para no contaminar el medio ambiente, en una de las latas se encuentra bolsas de polietileno y la otra con agua para atrapar el humo cuando se realiza la combustión.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 31: Preparando adición para el ensayo de CBR

Después de un tiempo de 10 minutos de fundido se obtuvo un líquido a una temperatura de 110 °C a y 115 °C este líquido, también se observó que después del término de la fundición disminuyó el peso en un 35% de su peso inicial por ejemplo se quemó 1000gs de bolsas recicladas y se obtuvo en 650 gs de líquido. Considerando esta disminución, el líquido producto de la fundición se mezcló con el suelo propio en una proporción de 1:1, siendo un litro de bolsas de polietileno fundido y un kilo de suelo propio y esto se tomó como adición.

3.5.4.5. TRATAMIENTO DE SUELO

3.5.4.5.1. SELECCIÓN DE DIÁMETRO

Una vez obtenido los grumos se seleccionó con los siguientes tamices descritos en la tabla 13 obteniéndose grumos de diferentes diámetros y tamaños.

Tabla 13: Diámetros adecuados de las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos

ENSAYOS	DIMENSIONES		TAMIS	
	PASANTE	RETENIDO	mm	mm
ENSAYO 1	2"	3/4"	50.8	19.1
ENSAYO 2	3/4"	3/8"	19.1	9.5
ENSAYO 3	3/8"	N° 4	9.5	4.8

Fuente: Elaboración Propia



(a)

(b)



(c)



(d)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 32: Realizando la selección de diámetro

Se procedió a realizar el ensayo de CBR con los diámetros pasantes y retenidos para cada malla seleccionada siendo los diámetros con una proporción de adición constante de 5% con respecto al peso seco del suelo.



(a)



(b)



(c)

(d)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 33: Realizando el ensayo de CBR para seleccionar el diámetro adecuado

3.5.4.5.2. DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

MEZCLADO DEL SUELO A MEJORAR Y LAS BOLSAS DE POLIETILENO EN FORMA DE GRUMOS IRREGULARES CON DIFERENTES PROPORCIONES.

Se realizaron diferentes dosificaciones con la finalidad de obtener la dosificación más óptima, después del mezclado se observó que se formaron grumos que presentaban propiedades de flexo compresión, resistente a la tracción, compresión y torsión.

Tabla 14: Dosificación de la mezcla

Descripción	Unidad	ADICIÓN (Bolsas de polietileno fundido en forma de grumos)				
		2%	4%	6%	8%	10%
suelo Arcilloso de Baja Plasticidad	(g)	4700	4700	4700	4700	4700
líquido de bolsas de polietileno	(g)	94	188	282	376	470
Agua	(g)	564	564	564	564	564

Fuente: Elaboración Propia



(a)



(b)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 34: Mezclando el adición y el suelo arcilloso

Se realizaron 3 ensayos de CBR con las mismas dosificaciones para así tener resultados más representativos, se realizaron 45 ensayos para obtener la dosificación más óptima.



(a)



(b)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 35: Realizando la compactación para el ensayo CBR.

BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO EN FORMA DE CAPAS DIFERENTES CAPAS CON UNA DOSIFICACIÓN DE 6% DEL PESO SECO DEL SUELO A MEJORAR.

Se realizaron tres ensayos de CBR con una dosificación de 6%, se colocó adición en las diferentes capas. La cantidad de tierra que se utilizó es 4700 gramos y un total de aditivo de 282 gramos y una cantidad de agua de 564 gramos de agua, los cuales se compartieron en proporciones iguales lo cual se muestra en la tabla 15.

Tabla 15: Mezcla de suelo arcilloso y adición de 6% repartidos en las cinco capas

Descripción	Unidad	CAPAS				
		PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CUARTA	QUINTA
suelo Arcilloso de Baja Plasticidad	(g)	940	940	940	940	940
líquido de bolsas de polietileno	(g)	56.4	56.4	56.4	56.4	56.4
Agua	(g)	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8

Fuente: Elaboración Propia



(a)

(b)



(c)

(d)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 36: Realizando la compactación en las cinco capas del ensayo CBR

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE DATOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. EFECTOS DE LAS BOLSAS DE POLIETILENO EN EL SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE

De los resultados obtenidos se constata la presencia de suelo heterogéneo, de la progresiva Km 0+000 – Km 0+100 presentan suelos arcilloso de mediana a baja plasticidad y de Km 0+100 al 0+230 suelos grava y arena arcillosa.

Tabla 16: Propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo

ENSAYOS	NORMAS	C-01	C-02	C-03
Contenido de Humedad	MTC EM 108	8.76%	8.41%	7.82%
Límite Liquido	MTC E 110	28.00%	29.00%	30.00%
Límite Plástico	MTC E111	16.99%	17.11%	20.38%
Índice de Plasticidad	MTC E 111	11.01%	11.89%	10.38%
Clasificación SUCS	NTP 339.135	CL	CL	GC
Clasificación AASHTO	NTP 339.134	A-6(0)	A-6(0)	A-2-4(0)
Proctor Modificado M.D.S (grs/cm3), OCH	MTC E115	1.91grs/cm3 , 12.00%	1.91grs/cm3 , 12.06%	2.014grs/cm3 , 9.52%
C.B.R. para el 95% de la M.D.S a 0.1"	MTC E 132	4.51%	3.78%	12.50%
Expansión	MTC E 132	2.21%	2.24%	2.00%
Materia Orgánica		2.30%		
Sulfatos		126.40 mg/l		
Cloruros		10.00 mg/l		
Sales Disueltas Totales		160.00 mg/l		
Potencial de Hidrógeno		7.5		

Fuente: Elaboración Propia

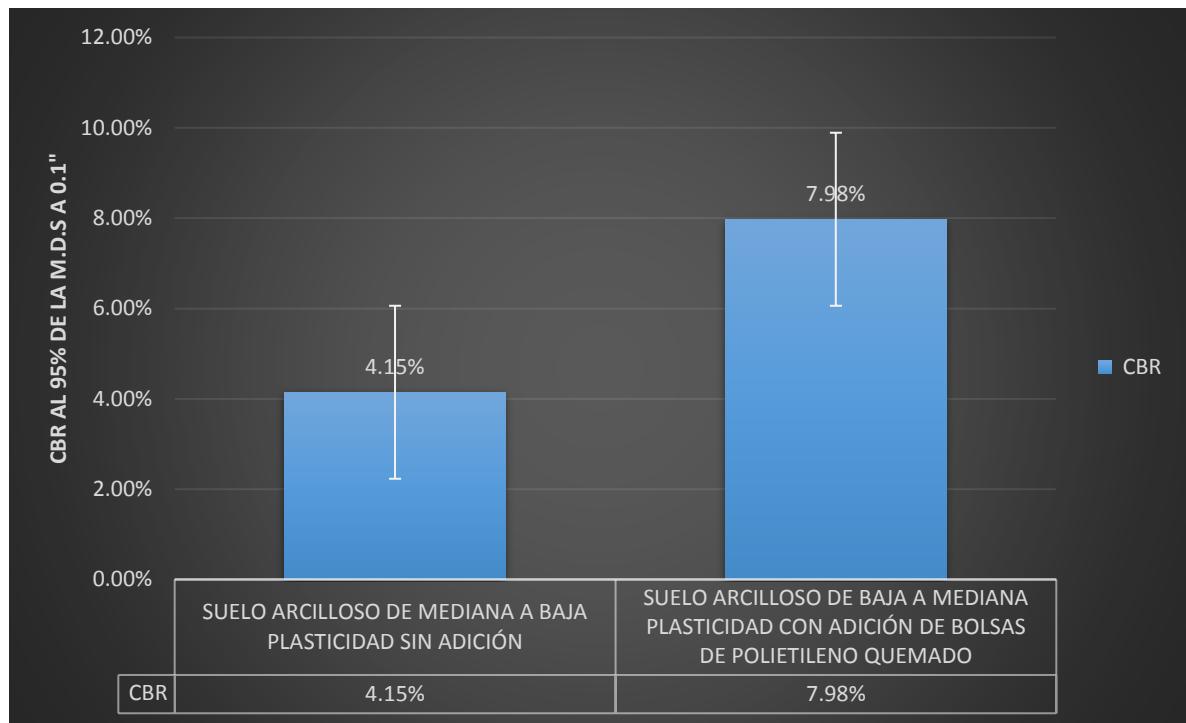
El efecto de las bolsas de polietileno fundido incremento el CBR de suelo arcilloso con una dosificación de 6% del peso seco de suelo arcilloso y también redujo porcentualmente la expansión en un 36.85%.

Tabla 17: CBR, suelo arcilloso y bolsas de polietileno en estado líquido.

ENSAYOS	NORMAS	C-01
C.B.R. para el 95% de la M.D.S a 0.1"	MTC E 132	7.98%
Expansión	MTC E 132	0.82%

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 37. Se observa que el CBR del suelo arcilloso de mediana a baja plasticidad es 4.15% esta categorizado un S1: subrasante pobre, cuando le adicionamos bolsas de polietileno en estado líquido incrementa el CBR un 7.98 % lo cual esta categorizado un S2: Subrasante regular.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 37: Comparación de CBR, sin adición y con adición de bolsas de polietileno en estado líquido

4.2. PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS QUE INFLUYEN EN LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE

4.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

4.2.1.1. Análisis granulométrico por tamizado

Este ensayo se realizó con el fin de clasificar el suelo, en la tabla 18 se muestran los porcentajes pasantes en las respectivas mallas para las tres muestras obtenidas

Tabla 18: Resultado granulométrico de suelo

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA		
Tamiz	(mm)	C-1	C-2	C-3
3"	76.2	100.00%	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00%	100.00%	100.00%
1 1/2"	38.1	100.00%	100.00%	92.74%
1"	25.4	98.00%	100.00%	90.17%
3/4"	19	97.30%	98.18%	75.64%
1/2"	12.5	96.25%	95.01%	55.42%
3/8"	9.5	95.25%	93.23%	46.97%
1/4"	6.35	93.55%	90.19%	40.53%
Nº 4	4.76	92.20%	87.90%	38.69%
Nº 8	2.38	89.15%	83.51%	37.78%
Nº 10	2	87.70%	81.89%	33.18%
Nº 20	0.84	83.45%	78.00%	29.60%
Nº 30	0.6	81.00%	76.10%	27.11%
Nº 40	0.425	78.80%	74.34%	24.45%
Nº 50	0.3	77.30%	72.90%	23.53%
Nº 80	0.177	75.90%	72.90%	22.79%
Nº 100	0.15	70.20%	62.42%	21.42%
Nº 200	0.075	64.00%	56.67%	20.50%

Fuente: Elaboración Propia

Manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC, las gravas proporcionan resistencia al corte, las arenas ocupan los vacíos entre gravas y las partículas finas aportan en la cohesión del suelo. Es recomendable que la distribución granulométrica del suelo presenta mayor porcentaje de grava seguido de porcentaje de arena y en menor porcentaje los finos.

Tabla 19: Porcentaje de suelo

SUELO	C-1	C-2	C-3
Grava 3" - Nº 4 :	7.80%	12.10%	61.31%
Arena Nº4 - Nº 200 :	28.20%	31.24%	18.20%
Finos < Nº 200 :	64.00%	56.67%	20.50%

Fuente: Elaboración Propia

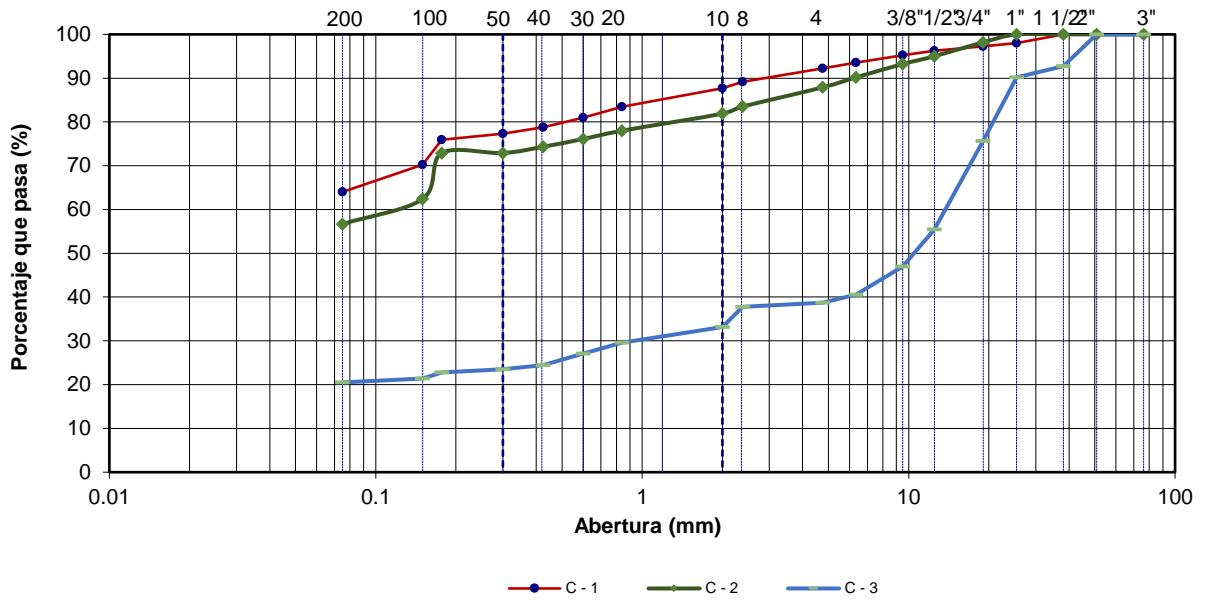


Figura 38: Curva granulométrica de suelo para las tres calicatas

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2. Contenido de humedad

Si la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el especialista 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, 2013)

Tabla 20: Resumen de resultados del contenido de humedad

Calicata	Muestra	Progresiva	Contenido de humedad	Óptimo contenido de humedad
C-01	M-2	KM. 0 + 020	8.76%	12.00%
C-02	M-2	KM. 0 + 070	8.41%	12.60%
C-03	M-2	KM. 0 + 120	7.82%	9.52%

Fuente: Elaboración Propia

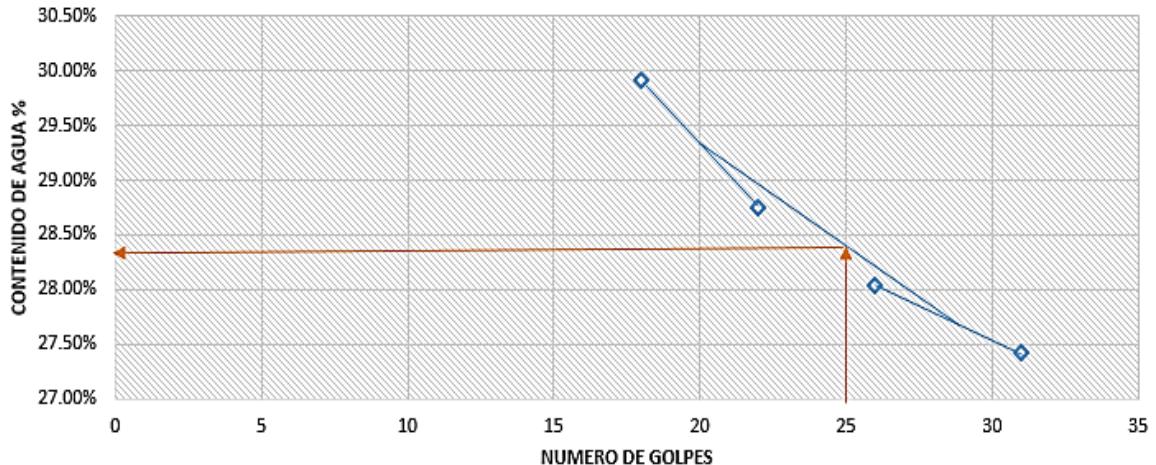
4.2.1.3. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

En la tabla 20 se resumen los ensayos del Límite Líquido, Límite Plástico e índice de plasticidad, estos datos son muy importantes para poder clasificar el suelo el suelo y en el caso de mejorar el suelo, nos ayuda a tomar la mejor decisión sobre el tipo de estabilizador a utilizar.

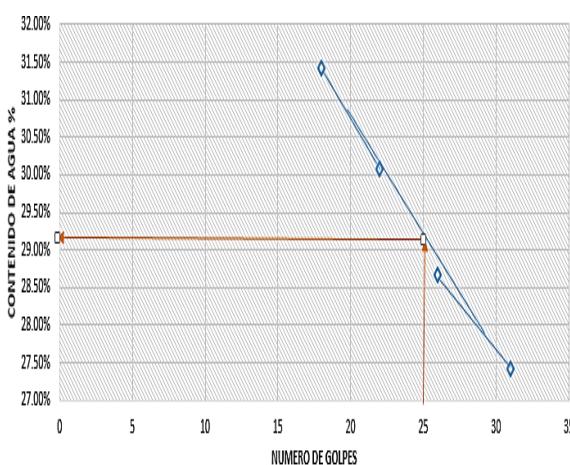
Tabla 21: Resultados del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Calicata	Muestra	Progresiva	Límite líquido	Límite plástico	Límite plástico
C-01	M-2	KM. 0 + 020	28.00%	16.99%	11.01%
C-02	M-2	KM. 0 + 021	29.00%	17.11%	11.89%
C-03	M-2	KM. 0 + 120	30.00%	20.38%	10.38%

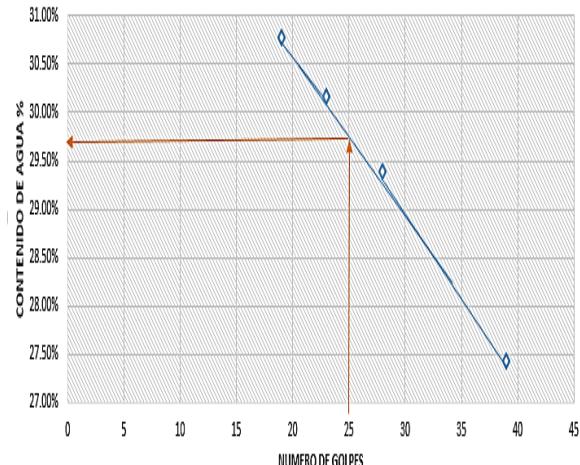
Fuente: Elaboración Propia



(a)



(b)



(c)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 39: límite líquido (a), (b) y (c) de las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente

4.2.1.4. Clasificación de suelos

Clasificación SUCS

Para la clasificación SUCS se consideró la granulometría, los porcentajes pasantes las malla N°4, N°200 y las características plásticas.

Tabla 22: Clasificación SUCS de muestras representativas

CALICATA	C-1	C-2	C-3
PROF.(m)	0.30-1.50	0.20-1.50	0.30-1.50
MUESTRA	M-2	M-2	M-2
PROGRESIVA (Km)	0+020	0+070	0+120
Grava 3" - N° 4 :	7.80%	12.10%	61.31%
Arena N°4 - N° 200 :	28.20%	31.24%	18.20%
Finos < N° 200 :	64.00%	56.67%	20.50%
Límite Líquido	28.00%	29.00%	30.00%
Índice Plástico	11.01%	11.89%	9.63%
Clasificación SUCS	CL	CL	GC
Denominación	Arcilla de mediana a baja plasticidad	Arcilla de mediana a baja plasticidad	Grava Arcillosa

Fuente: Elaboración Propia

Clasificación AASHTO

Para la clasificación AASHTO se consideró la granulometría, los porcentajes pasantes la malla N°10, N°40 y N°200; las características plásticas y el índice de grupo. Para evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras es muy importante conocer el índice de grupo (IG), que está en función del LL, IP y el porcentaje pasante la malla N°200.

Tabla 23: Clasificación AASHTO de muestras representativas

CALICATA	C-1	C-2	C-3
PROF.(m)	0.30-1.50	0.20-1.50	0.30-1.50
MUESTRA	M-2	M-2	M-2
PROGRESIVA (Km)	0+020	0+070	0+120
PORCENTAJE QUE PASA N°10 (2 mm)	87.70%	81.89%	33.18%
PORCENTAJE QUE PASA N°40 (0.425 mm)	78.80%	74.34%	24.45%
PORCENTAJE QUE PASA N°200 (0.075 mm)	64.00%	56.67%	20.50%
Límite Líquido (LL)	28.00%	29.00%	30.00%
Indice Plástico (IP)	11.01%	11.89%	9.63%
Indice De Grupo (IG)	0	0	0
Clasificación AASHTO	A-6(0)	A-6(0)	A-2-4(0)
Denominación	Suelo Arcilloso	Suelo Arcilloso	Grava y Arena Arcillosa

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO

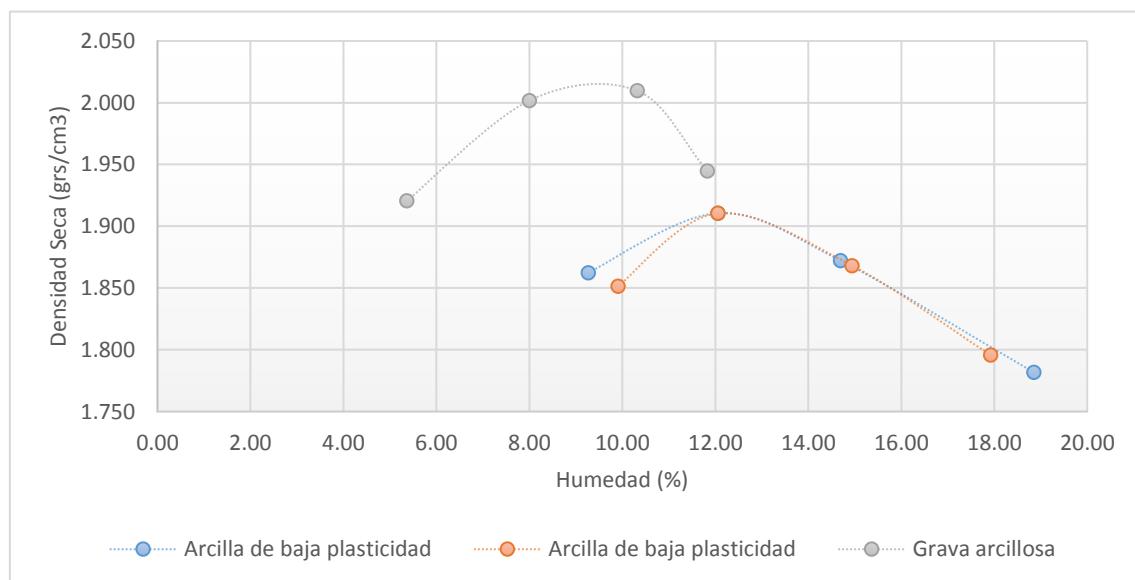
4.2.2.1. Ensayo Proctor Modificado

Se determinó la relación contenido de humedad y peso específico seco (curva de compactación), en donde se determina la humedad optima y la densidad máxima seca, asimismo la gravedad específica de acuerdo al método Proctor modificado.

Tabla 24: Resultados del ensayo del Proctor

Calicata	Muestra	Progresiva	Humedad Óptima	Densidad Máxima Seca (grs/cm ³)
C-01	M-2	KM. 0 + 020	12.00%	1.910
C-02	M-2	KM. 0 + 070	12.06%	1.911
C-03	M-2	KM. 0 + 120	9.52%	2.014

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura 40: Curva de Humedad vs Densidad

4.2.2.2. CBR (California Bearing Ratio).

Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las Capas de base, sub-base y de afirmado.

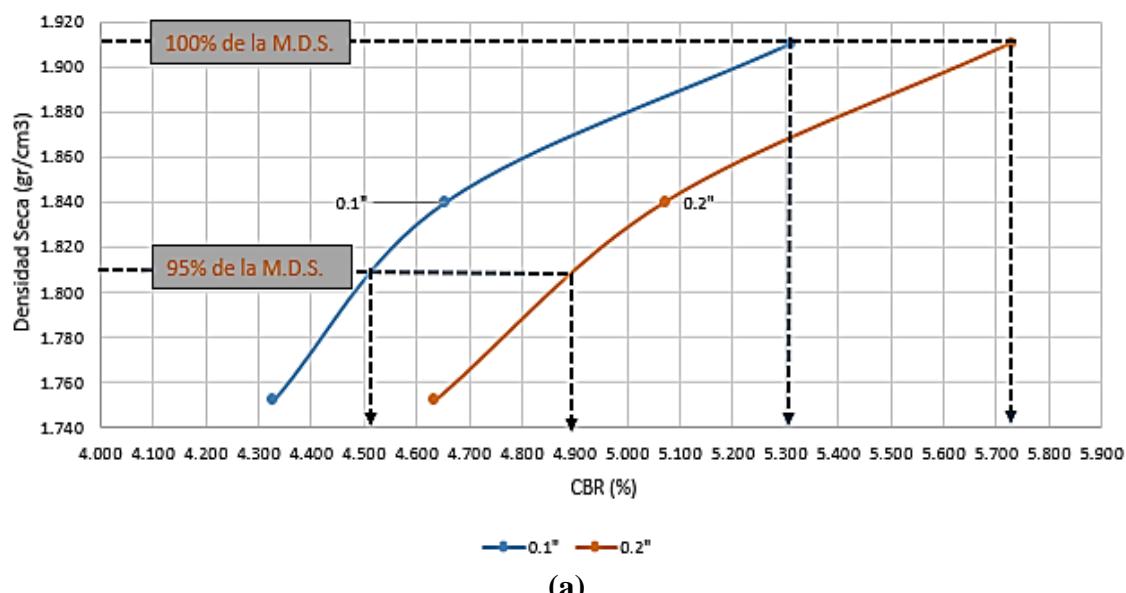
SUBRASANTE SIN ADICIÓN

Tabla 25: Resumen de C.B.R (California Bearing Ratio)

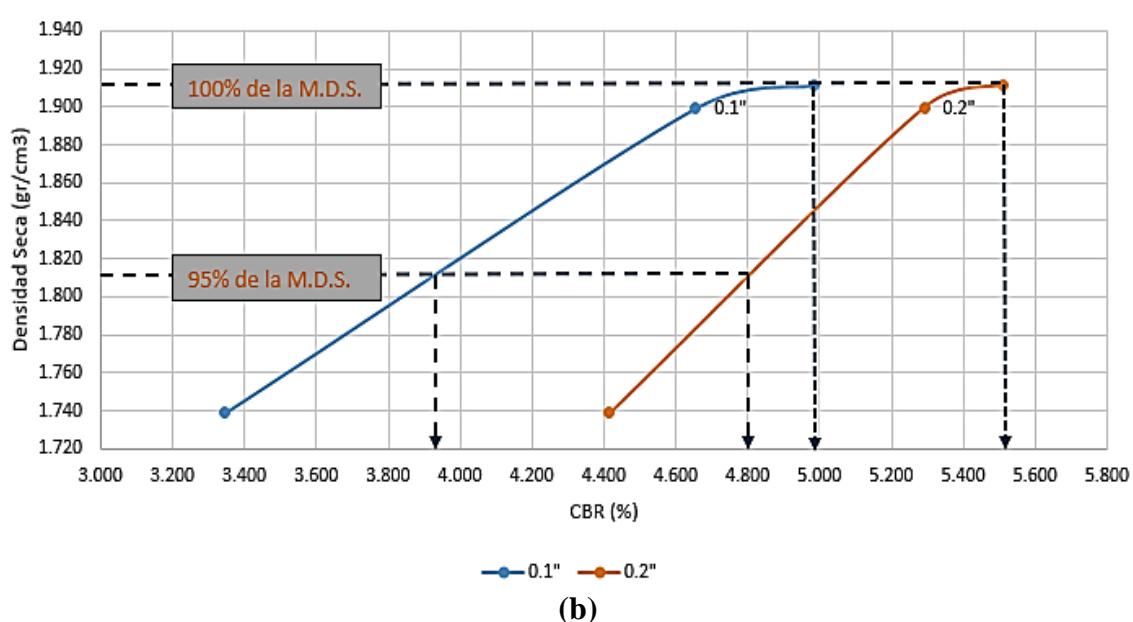
Calicata	Muestra	Progresiva	Penetración 0.1"		Expansión
			100% M.D.S.	95% M.D.S.	
C-01	M-2	0 + 020	5.30%	4.51%	2.21%
C-02	M-2	0 + 070	5.00%	3.78%	2.24%
C-03	M-2	0 + 120	17.70%	12.50%	2.00%

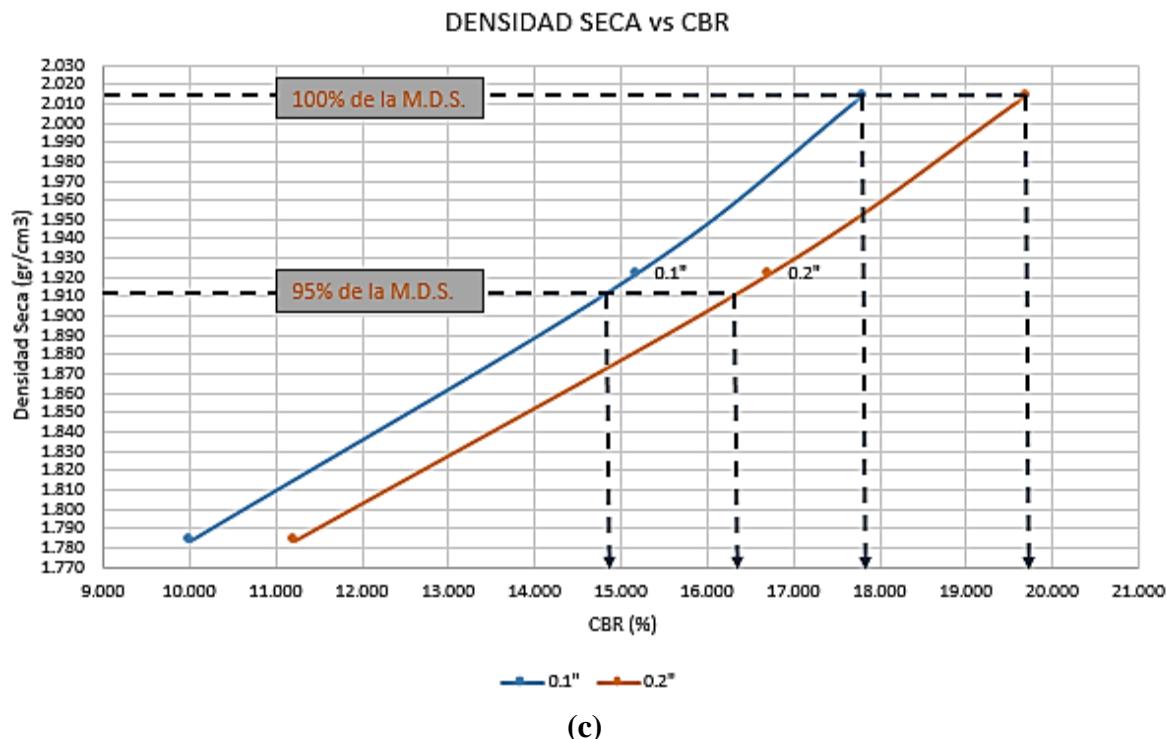
Fuente: Elaboración Propia

DENSIDAD SECA vs CBR



DENSIDAD SECA vs CBR





Fuente: Elaboración Propia

Figura 41: Curva Densidad Seca vs CBR (a), (b) y (c) de las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente

4.2.3. PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

Para los análisis mencionados se han tomado muestras: del suelo de la calicata C-01, las muestras fueron ensayadas en el laboratorio especializado de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú, los resultados de dichos informes se resumen en la tabla 26. Lo cual nos sirvió para elegir el tipo de estabilizador recomendado por el ministerio de transporte y comunicaciones con ello lo más apto para nuestro suelo arcilloso es la estabilización con cal según la segunda guía referencial para la selección del tipo de estabilizador.

Tabla 26: Propiedades químicas

ENSAYOS	NORMAS	C-01	C-02	C-03
Materia Orgánica	2.30%			
Sulfatos	126.40 mg/l			
Cloruros	10.00 mg/l			
Sales Disueltas Totales	160.00 mg/l			
Potencial de Hidrógeno	7.5			

Fuente: Elaboración Propia

4.3. DOSIFICACIÓN DE LAS BOLSAS DE POLIETILENO COMO ADICIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

Determinación de los diámetros óptimos de las bolsas de polietileno fundido

En la tabla 27 se resumen los 3 ensayos con diferentes intervalos de dimensiones obteniendo resultados para cada ensayo de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos se obtiene un valor óptimo de CBR para polímeros correspondiente. Se recomienda usar polímeros en forma de grumos pasantes la malla 3/4" y retenidos en la malla 3/8"

Tabla 27: Diámetros adecuados de las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos

ENSAYOS	DIMENSIONES		TAMISES		CBR AL 95% M.D.S.
	PASANTE	REtenido	mm	mm	
ENSAYO 1	2"	3/4"	50.8	19.1	7.30
ENSAYO 2	3/4"	3/8"	19.1	9.5	7.80
ENSAYO 3	3/8"	N° 4	9.5	4.8	6.90

Fuente: Elaboración Propia

SUBRASANTE CON ADICIÓN

Se realizaron ensayos de CBR con las siguientes proporciones de bolsas de polietileno fundido en forma de líquido: 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del peso seco del suelo.

Tabla 28: Resultados de los ensayos del terreno de la subrasante con bolsas de polietileno fundido

Adición	Penetración 0.1"		Expansión
	100% M.D.S.	95% M.D.S.	
2%	8.25%	6.35%	0.98%
2%	8.15%	6.20%	1.00%
2%	8.25%	6.42%	1.02%
4%	9.25%	7.70%	0.85%
4%	9.09%	7.35%	0.87%
4%	9.40%	7.70%	0.87%
6%	11.55%	8.70%	0.82%
6%	11.20%	7.99%	0.85%
6%	11.70%	8.25%	0.80%
8%	10.70%	7.20%	0.76%
8%	10.20%	6.80%	0.80%
8%	10.55%	7.40%	0.74%
10%	9.70%	6.40%	0.72%
10%	9.60%	6.60%	0.74%
10%	9.90%	6.40%	0.69%

Fuente: Elaboración Propia

APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA

El propósito de un estudio estadístico es extraer conclusiones acerca de la naturaleza de una población. Al ser la población grande y no poder ser estudiada en su integridad, se realiza el estudio a una parte de la población lo que denominamos muestra (Veliz, 2005)

Tabla 29: Datos estadísticos de la subrasante más 2% de bolsas de polietileno fundido

Descripción	100% M.D.S	95% M.D.S	EXPANSIÓN (%)
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	8.22%	6.32%	1.02%
Desviación estándar	0.040	0.11	0.057
Varianza	0.002	0.13	0.003
Coeficiente de variación	0.57%	1.45%	4.24%
Mediana	8.25%	6.35%	1.00%
Rango	0.10%	0.22%	0.04%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30: Datos estadísticos de la subrasante más 4% de bolsas de polietileno fundido

Descripción	100% M.D.S	95% M.D.S	EXPANSIÓN (%)
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	9.25%	7.58%	0.86%
Desviación estándar	0.012	0.202	0.135
Varianza	0.000	0.041	0.024
Coeficiente de variación	1.37%	2.18%	1.09%
Mediana	9.25%	7.70%	0.87%
Rango	0.31%	0.35%	0.02%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31: Datos estadísticos de la subrasante más 6% de bolsas de polietileno fundido

Descripción	100% M.D.S	95% M.D.S	EXPANSIÓN (%)
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	11.48%	8.31%	0.82%
Desviación estándar	0.035	0.359	0.256
Varianza	0.001	0.013	0.066
Coeficiente de variación	1.82%	3.53%	2.50%
Mediana	11.55%	8.25%	0.82%
Rango	0.50%	0.71%	0.03%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32: Datos estadísticos de la subrasante más 8% de bolsas de polietileno fundido

Descripción	100% M.D.S	95% M.D.S	EXPANSIÓN (%)
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	10.48%	7.13%	0.77%
Desviación estándar	0.023	0.305	0.256
Varianza	0.001	0.093	0.066
Coeficiente de variación	2.00%	3.50%	3.25%
Mediana	10.55%	7.20%	0.76%
Rango	0.50%	0.60%	0.06%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33: Datos estadísticos de la subrasante más 10% de bolsas de polietileno fundido

Descripción	100% M.D.S	95% M.D.S	EXPANSIÓN (%)
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	9.73%	6.47%	0.72%
Desviación estándar	0.040	0.115	0.152
Varianza	0.002	0.013	0.023
Coeficiente de variación	1.28%	1.46%	2.87%
Mediana	9.70%	6.40%	0.72%
Rango	0.30%	0.20%	0.05%

Fuente: Elaboración Propia

PROMEDIO ARIMETICO

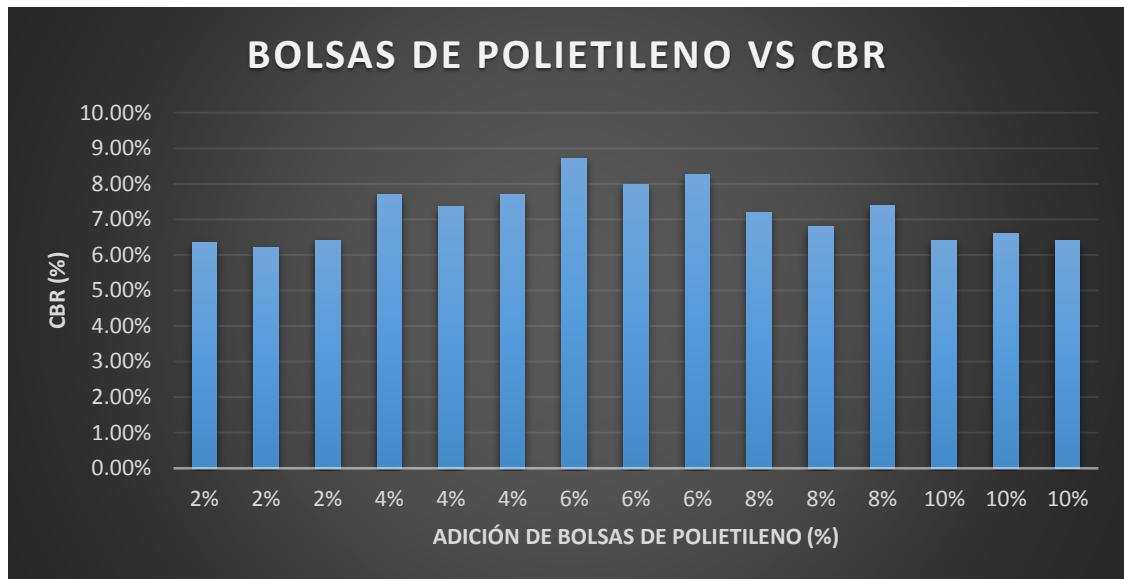
En la tabla 34 se resumen el promedio aritmético de los valores del CBR, expansión. Para los diferentes porcentajes de adición de bolsas de polietileno según el peso seco del suelo

Tabla 34: Promedio aritmético de los valores del CBR y expansión

Adición	Penetración 0.1"		Expansión
	100% M.D.S.	95% M.D.S.	
2%	8.22%	6.32%	1.02%
4%	9.25%	7.58%	0.86%
6%	11.48%	8.31%	0.82%
8%	10.48%	7.13%	0.77%
10%	9.73%	6.46%	0.72%

Fuente: Elaboración Propia

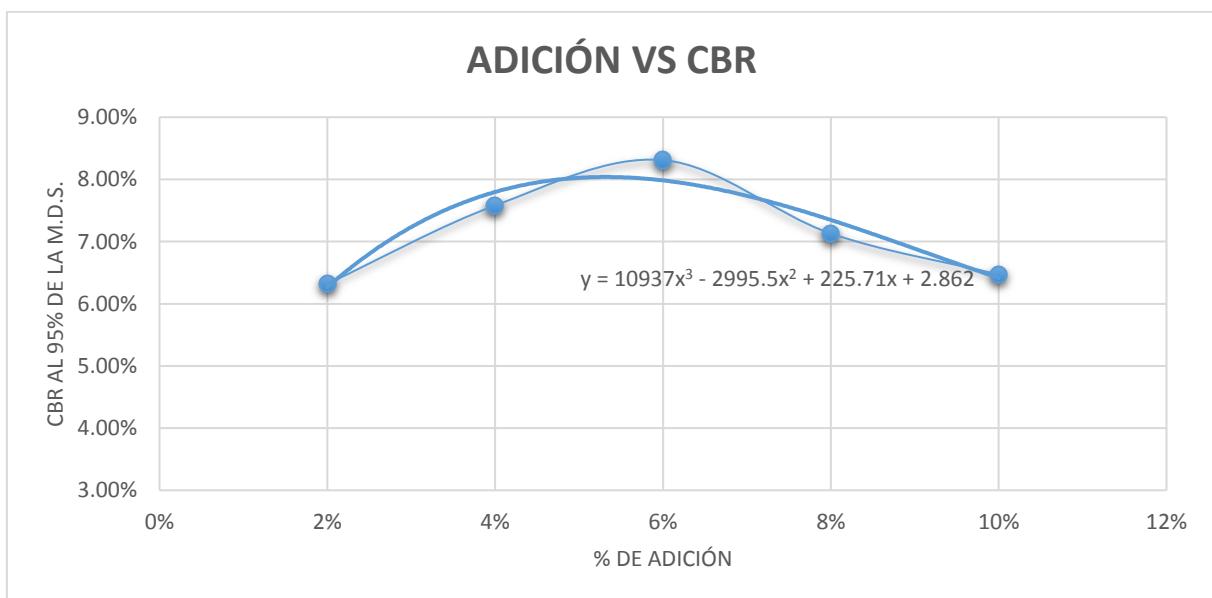
Histograma de porcentaje de adición vs CBR



Fuente: Elaboración Propia

Figura 42: Porcentaje de adición vs CBR

Se observa en la figura 43 que la curva crece y decrece, existiendo un punto máximo lo cual esto nos indica la dosificación más óptima al 6% y un CBR al 7.98% al 95% de la Máxima Densidad Seca; los rangos de variabilidad es de 1.8% - 11.00% según la tabla 35.



Fuente: Elaboración Propria

Figura 43: Dosificación más óptima

Tabla 35: % de polietileno fundido en forma de grumos vs % de CBR

% DE ADICIÓN	% DE CBR
X	Y
1.80%	6.02%
1.90%	6.14%
2.00%	6.27%
2.50%	6.80%
3.00%	7.23%
3.50%	7.56%
4.00%	7.80%
4.50%	7.95%
5.00%	7.89%
5.50%	7.91%
6.00%	7.98%
6.50%	7.88%
7.00%	7.74%
7.50%	7.55%
8.00%	7.35%
8.50%	7.12%
9.00%	6.89%
9.50%	6.65%
10.00%	6.42%
10.50%	6.20%
11.00%	6.00%

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUBRASANTE MAS ADITIPO POR CAPAS

Se realizó tres ensayos de CBR con una proporción de bolsas de polietileno fundido en forma de líquido: 6% del peso seco del suelo.

Tabla 36: Resultados de los ensayos del terreno de la subrasante con bolsas de polietileno fundido en las cinco capas

Adición	Penetración 0.1"		Expansión
	100% M.D.S.	95% M.D.S.	
6%	9.60%	7.30%	0.82%
6%	9.55%	7.40%	0.87%
6%	9.50%	7.45%	0.80%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37: Datos estadísticos de la subrasante más 6% de bolsas de polietileno fundido en las cinco capas

Descripción	100% M.D.S	95% M.D.S	EXPANSIÓN (%)
Cantidad de datos	3	3	3
Media aritmética	0.10%	0.07%	0.83%
Desviación estándar	0.000	0.001	0.029
Varianza	0.001	0.001	0.04
Coeficiente de variación	0.43%	0.84%	3.55%
Mediana	0.10%	0.07%	0.82%

Fuente: Elaboración Propia

4.4. DETERMINAR LA INFLUENCIA AL REUTILIZAR LAS BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

- Cálculo del Número Estructural
- Cálculo de los espesores de diseño

4.4.1 ECUACION DE DISEÑO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE AASTHO 1993

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

Desviación estándar normal
 Desviación estándar global
 Número estructural
 Cambio en la Servicialidad
 Ejes equivalentes
 Módulo de resiliencia

W₁₈” El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado

“R”. El parámetro de confiabilidad.

“So”. La desviación estándar global.

“Mr” El módulo de resiliencia efectivo, del material usado para la subrasante.

“ΔPSI”. La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados.

4.4.2 MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE.

La base para la caracterización de los materiales de la subrasante en el Método AASHTO, es el módulo de resiliencia o elástico. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición por lo que se ha establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos.

$$Mr = 2555 \times (CBR)^{0.64}$$

PARA SUBRAZANTE:

$$CBR (1) = 4.145\% - MR (1) = 6\ 347.56$$

PARA SUB RAZANTE MEJORADO CON POLIMERO:

$$CBR (2) = 7.980\% - MR (2) = 9\ 653.23$$

4.4.3 TRÁFICO

Del estudio de tráfico realizado se tiene que el número de repeticiones de carga equivalentes a ejes simples de 8.2 ton., para diferentes períodos de diseño es: 1.5 E+6

Para efectos de imputar el ESAL a las diferentes calzadas se considera que hasta un 90% del mismo podrá ser soportado por las calzadas principales, mientras que para efectos de diseño será suficiente imputar hasta un 50% a las vías auxiliares. Por tanto los valores EAL considerados para 20 años.

4.4.4 CONFIABILIDAD (R)

La confiabilidad es un parámetro relacionado con el grado de incertidumbre, la variación en las predicciones del tráfico y la importancia de la vía. Los valores fluctúan entre 50% para vías rurales y 99.99% para vías autopistas.

Tabla 38: Niveles recomendados de Confidabilidad (R)

Clasificación de la vía	Urbana	Rural
Autopistas	85-99,9	80-99,9
Troncales	80-99	75-95
Locales	80-95	75-95
Ramales y Vías Agrícolas	50-80	50-80

Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures

La confiabilidad que se está considerando para los períodos totales y considerando que es una vía netamente local arterial es 90%, por tanto el valor de la desviación estándar normal Z_R es -1.282.

4.4.5 DESVIACIÓN NORMAL (So)

La desviación normal del error estándar combinado en la estimación de los parámetros de diseño y el comportamiento del pavimento (modelo de deterioro). Valores de “So” AASHTO, que corresponde a valores de la desviación estándar total debidos al tránsito es de 0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente.

4.4.6 SERVICIABILIDAD

Serviciabilidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento. AASHTO, estableció el índice de serviciabilidad p de acuerdo a la siguiente calificación:

Tabla 39: Índice de Servicialidad

Índice de Servicialidad, p	Calificación
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures

Los valores de serviciabilidad adoptados en el presente estudio son:

Serviciabilidad Final $p_f = 4.2$

Serviciabilidad inicial $p_i = 2$. (Para vías de volumen de tráfico menor, según Norma CE 010, Pavimentos Urbanos)

4.4.7 COEFICIENTES DE CAPA

Los espesores de capa fueron estimados a partir de las correlaciones que la guía AASHTO-93 presenta en las siguientes ecuaciones: Los coeficientes de capa considerados en el presente estudio se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 40: Coeficientes de capa

CAPA	CBR	Mr (PSI)	COEF. ESTRUCT.
Carpeta Asfáltica	-----	450,000	0.3/plg (0.17/cm)
Base Granular	100 %	30,000	0.14/plg (0.054/cm)
Sub Base Granular	40 %	18,000	0.12/plg (0.043/cm)

Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures

4.4.8 COEFICIENTES DE DRENAJE

El drenaje está considerado dentro del diseño como un factor que afecta directamente el coeficiente de capa y se estima en función del porcentaje de tiempo que la estructura está próxima a la saturación y de acuerdo a la calidad del drenaje. La saturación de la estructura está en función de las características granulométricas de los componentes del pavimento y de la porosidad, así como del caudal de agua que pueda ingresar por precipitaciones fluviales, capilaridad o nivel freático.

Tabla 41: Clasificación de la calidad de drenaje

Calidad del drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drena

Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures

Tabla 42: Valores de coeficiente de drenaje (mi) recomendados para modificar los coef. estructurales de capa para base no tratada y sub bases para pavimento flexible

CALIDAD DEL DRENAJE	P = % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.15 - 1.05	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.15 - 1.05	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures

El tiempo de saturación es el porcentaje de tiempo de la vida útil durante el cual se prevé que la estructura se encontrará con niveles cercanos a la saturación (*humedad igual o mayor al 50% del agua libre de saturación*).

Para el diseño se ha adoptado un valor de $m_2 = 1.15$; $m_3 = 1.18$ correspondiente a un drenaje regular y que el pavimento está expuesto a niveles de humedad

4.4.9 RESOLVEMOS LA ECUACIÓN

Calculando el numero estructural para sub razante cbr =4.096% - mr = 6299.43

The screenshot shows the "Ecuación AASHTO 93" software interface. The main window title is "Ecuación AASHTO 93". It has several input fields and dropdown menus:

- Tipo de Pavimento:** Includes options for "Pavimento flexible" (selected) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** Shows "90 % Zr=1.282" and "So 0.45".
- Serviciabilidad inicial y final:** Shows "PSI inicial 4.2" and "PSI final 2".
- Módulo resiliente de la subrasante:** Shows "Mr 6299.43 psi".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Includes fields for "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Includes options for "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18". It also displays "W18 = 1500000".
- Número Estructural:** Displays "SN = 3.75".
- Buttons:** "Calcular" and "Salir".

Fuente: Programa de la ecuación AASHTO 93

Figura 44: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible

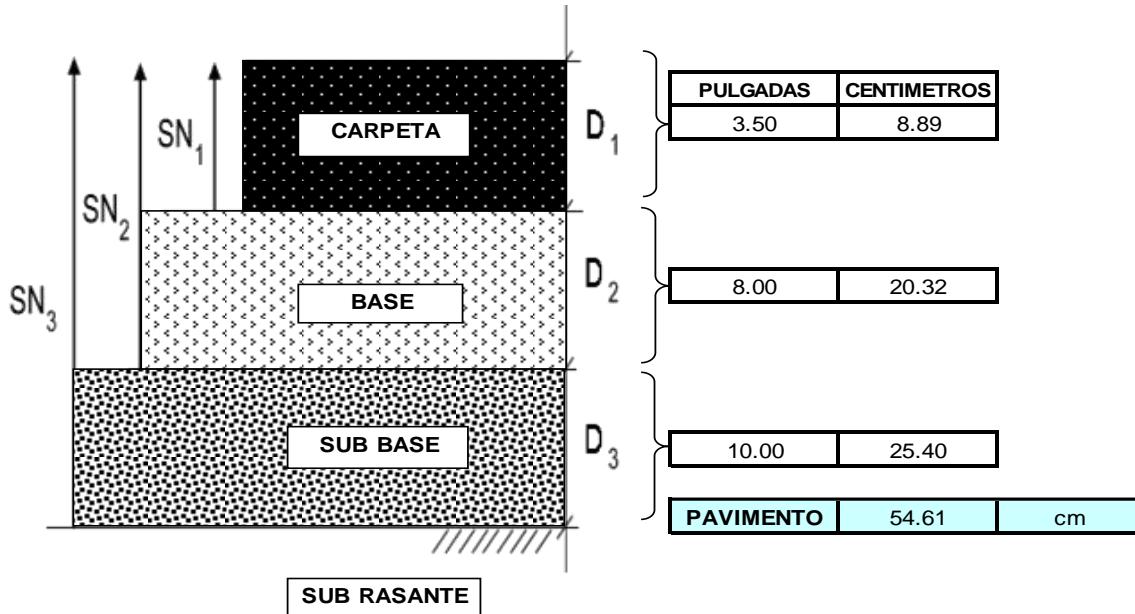
Calculo del espesor de las capas del pavimento flexible

DE LA ECUACION PARA OBTENER LOS ESPESORES		
SN	a1D1 + a2D2m2 + a3D3m3	
3.75	3.75	



D1	3.50
D2	8.00
D3	10.00

SNsub rasante $\leq a1D1 + a2D2m2 + a3D3m3$
la diferencia no debe superar la unidad



Calculando el numero estructural para sub razante + adición de bolsas de polietileno fundido $cbr = 7.98\% - mr = 9653$

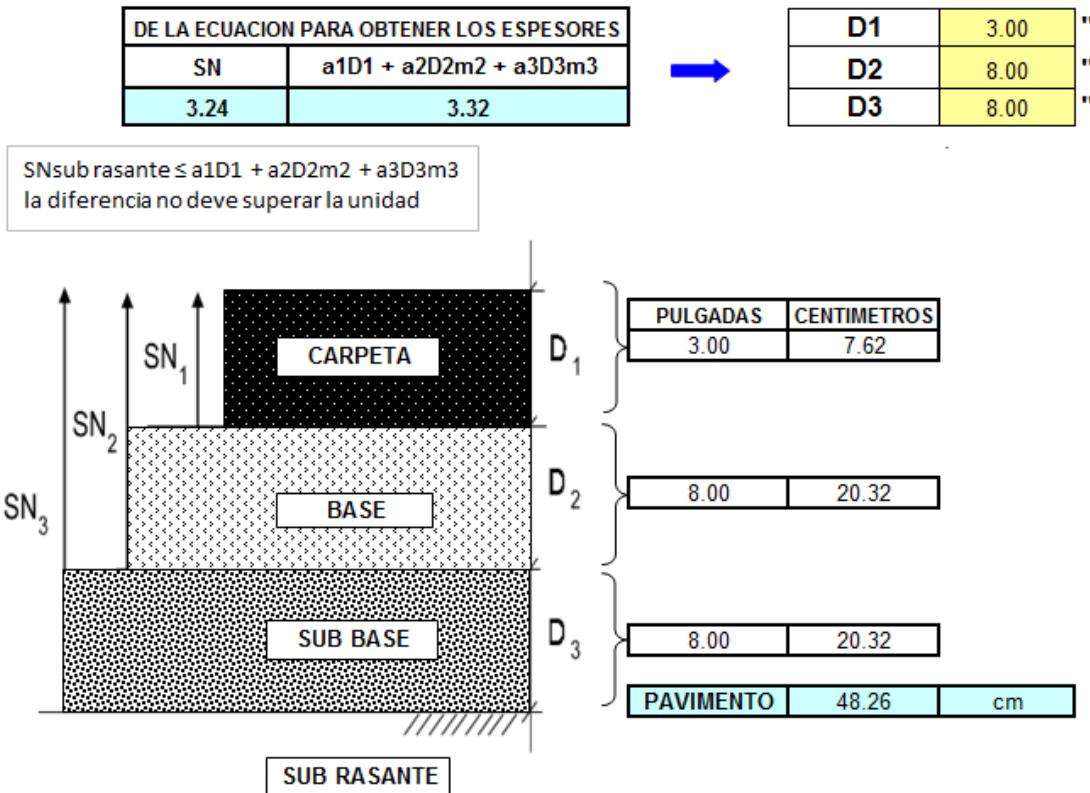
Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 90 % Zr=-1.282 So 0.45
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial 4.2 PSI final 2	Módulo resiliente de la subrasante Mr 9653 psi
Información adicional para pavimentos rígidos	
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	Coefficiente de transmisión de carga - (J)
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)	Coefficiente de drenaje - (Cd)
Tipo de Análisis <input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = 1500000 <input type="radio"/> Calcular W18	
Número Estructural SN = 3.24	
Calcular Salir	

Fuente: Programa de la ecuación AASHTO 93

Figura 45: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible

Calculo del espesor de las capas del pavimento flexible



En la tabla 43 se muestra que en el diseño estructural del pavimento influye la calidad del material de la subrasante ya que el espesor del pavimento para un CBR igual a 4.096% es de 54.61 centímetros y para un CBR igual 7.98% es de 48.26 centímetros.

Tabla 43: Diseño estructural de un pavimento flexible

CAPAS	Sin mejoramiento (Subrasante, CBR igual 4.096%)	Con mejoramiento	
		(Subrasante mas adición de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos, CBR igual 7.98%)	
Sub base	3.5 pulgadas	3 pulgadas	
Base	8 pulgadas	8 pulgadas	
Carpeta Asfáltica	10 pulgadas	8 pulgadas	

Fuente: Elaboración Propia

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.5.1. LAS BOLSAS DE POLIETILENO INFLUYEN EN EL MEJORAMIENTO DEL SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE

Tabla 44: Resultados de CBR sin y con adición de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos

ANTES (SUBRASANTE)	DESPUES (SUBRASANTE CON ADICIÓN DE GRUMOS)
4.51%	8.70%
3.78%	7.99%
4.22%	8.25%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45: Datos estadísticos

Descriptivos		
	Estadístico	
ANTES	Media	4.096
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior
		3.166 5.026
	Media recortada al 5%	.
	Mediana	4.000
	Varianza	0.140
	Desviación estándar	0.374
	Mínimo	3.78
	Máximo	4.51
	Rango	0.73
DESPUES	Media	8.313
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior
		7.421 9.205
	Media recortada al 5%	.
	Mediana	8.250
	Varianza	0.129
	Desviación estándar	0.359
	Mínimo	7.99
	Máximo	8.70
	Rango	0.71

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

Hay una diferencia significativa en las medias a nivel de la subrasante antes y después del tratamiento. Por lo cual se concluye que el tratamiento (utilización de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos) si tiene efectos significativos sobre la subrasante.

Tabla 46: Estadística de muestras sin y con adición de bolsas de polietileno fundido

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	ANTES	4.170	3	0.367	0.212
	DESPUES	8.313	3	0.359	0.207

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

De hecho la utilización de bolsas de polietileno subieron 4.096% a 8.31%

Hipótesis de la investigación N° 01

Paso 1. Formulación de hipótesis

H₁: Las bolsas de polietileno influyen en el mejoramiento del suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 00+00 - KM 00+100 del distrito de Orcotuna – Concepción – Junín.

$$H_1: \mu_0 \neq \mu_1$$

H₀: Las bolsas de polietileno no influyen en el mejoramiento del suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa de la progresiva KM 00+00 - KM 00+100 del distrito de Orcotuna – Concepción – Junín.

$$H_0: \mu_0 = \mu_1$$

Paso 2. Nivel de significación

$$\alpha = 5\%$$

Paso 3. Estadística de prueba

Se usa D.T-STUDENT

Porque n<30

Paso 4. (Calcular P-valor) NORMALIDAD

Kolmogorov – Smirnov muestras grandes (> 30 individuos)

Chapiro wilk muestras pequeñas (< 30 individuos)

Criterio para determinar normalidad

P-valor => α acepta H_0 = los datos provienen de una distribución normal

P-valor < α acepta H_0 = los datos NO provienen de una distribución normal

Tabla 47: Pruebas de normalidad

Kolmogorov - Smirnov ^a			Shapiro - Wilk			
	Estadístico	gl.	Sig.	Estadístico	gl.	Sig.
antes	0.221	3	.	0.986	3	0.774
después	0.237	3	.	0.977	3	0.707

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

Tabla 48: Análisis si provienen de una distribución normal

NORMALIDAD	
P-Valor (sin tratamientos) = 0.774	> $\alpha = 0.05$
P-VALOR (con tratamiento) = 0.707	> $\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración Propia

Paso 5. Valor (es) críticos de la estadística de prueba

$$tc = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) + s_2^2 (n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Paso 6. Toma de decisión

El Criterio para según el nivel de significancia

- Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace H_0 (Se acepta H_1)
- Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace H_0 (Se acepta H_0)

El Criterio según el valor de la estadística

- Si el valor de la estadística de prueba T_c está en la región de aceptación, se acepta H_0
- Si el valor de la estadística de prueba T_c está en la región de rechazo, se rechaza H_0

Tabla 49: Prueba de la diferencia entre dos medias con distribución T-student

	Par	Diferencias emparejadas						Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media estándar de error	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t		
					Inferior	Superior			
	1	ANTES - DESPUES	4.143	0.098	0.056	4.388	3.898	2.12 2 0.001	

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

P-Valor =0.000 < $\alpha = 0.05$

Se aprecian la comparación entre las puntuaciones de la prueba de antes y después de los resultados de la subrasante y la utilización de bolsas de polietileno, como se muestra que la $T_c = 2.12$ frente a una $T_t = 2.35$ con grados de libertad de 2; como $T_c < T_t$ y el $p < \alpha$ ($0.001 < 0.05$); se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde Las bolsas de polietileno influyen en el mejoramiento del suelo a nivel de la subrasante. Con un nivel de confianza del 95%.

4.5.2. LAS PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS INFLUYEN EN LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE

Tabla 50: Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante

ENSAYOS	NORMAS	C-01	C-02	C-03
Contenido de Humedad	MTC EM 108	8.76%	8.41%	7.82%
Límite Líquido	MTC E 110	28.00%	29.00%	30.00%
Límite Plástico	MTC E111	16.99%	17.11%	20.38%
Índice de Plasticidad	MTC E 111	11.01%	11.89%	10.38%
Clasificación SUCS	NTP 339.135	CL	CL	GC
Clasificación AASHTO	NTP 339.134	A-6(0)	A-6(0)	A-2-4(0)
Proctor Modificado M.D.S (grs/cm ³), OCH	MTC E115	1.91grs/cm ³ , 12.00%	1.91grs/cm ³ , 12.06%	2.014grs/cm ³ , 9.52%
C.B.R. para el 95% de la M.D.S a 0.1"	MTC E 132	4.51%	3.78%	12.50%
Expansión	MTC E 132	2.21%	2.24%	2.00%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51: Capacidad portante de un suelo CL y GC

CBR al 95% de la M.D.S. (CL)	CBR al 95% de la M.D.S. (GC)
4.51%	12.50%
3.78%	12.52%
4.22%	12.61%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52: Datos estadísticos

		Estadístico
antes	Media	4.170
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior
	Mediana	4.220
	Varianza	0.135
	Desviación estándar	0.367
	Mínimo	3.78
	Máximo	4.51
	Rango	0.73
	Media	12.543
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior
después	Mediana	12.520
	Varianza	0.003
	Desviación estándar	0.058
	Mínimo	12.50
	Máximo	12.61
	Rango	0.11

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

Hay una diferencia significativa en las medias de los tipos de suelos. Por lo cual se concluye que la capacidad portante depende de sus propiedades de los suelo CL y GC.

Tabla 53: Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	antes	4.170	3	0.367	0.212
	después	12.543	3	0.058	0.033

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

Cuando el suelo presenta gravas la capacidad portante incrementa de 4.17% a 12.54%

Hipótesis de la investigación N° 02

Paso 1. Formulación de hipótesis

H₁: Las propiedades físicas, mecánicas influyen en la baja capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna - Concepción.

$$H_1: \mu_0 \neq \mu_1$$

H₀: Las propiedades físicas, mecánicas no influyen en la baja capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna - Concepción.

$$H_0: \mu_0 = \mu_1$$

Paso 2. Nivel de significación

$$\alpha = 5\%$$

Paso 3. Estadística de prueba

Se usa D.T-STUDENT

Porque n<30

Paso 4. (Calcular P-valor) NORMALIDAD

Kolmogorov – Smirnov muestras grandes (> 30 individuos)

Chapiro wilk muestras pequeñas (< 30 individuos)

Criterio para determinar normalidad

P-valor => α acepta H_0 = los datos provienen de una distribución normal

P-valor < α acepta H_0 = los datos NO provienen de una distribución normal

Tabla 54: Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
antes	0.221	3	.	0.986	3	0.774
después	0.321	3	.	0.881	3	0.328

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

Tabla 55: Análisis si provienen de una distribución normal

NORMALIDAD		
P-Valor (CL) = 0.774	>	$\alpha = 0.05$
P-VALOR (GC) = 0.328	>	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de la subrasante provienen de una distribución normal

Paso 5. Valor (es) críticos de la estadística de prueba

$$tc = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Paso 6. Toma de decisión

El Criterio para según el nivel de significancia

- Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace H_0 (Se acepta H_1)
- Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace H_0 (Se acepta H_0)

El Criterio según el valor de la estadística

- Si el valor de la estadística de prueba T_c está en la región de aceptación, se acepta H_0
- Si el valor de la estadística de prueba T_c está en la región de rechazo, se rechaza H_0

Tabla 56: Prueba de la diferencia entre dos medias con distribución T-student

Diferencias emparejadas							
95% de intervalo de							
Media de confianza de la							
	Desviación	error	diferencia				Sig.
	Media	estándar	estándar	Inferior	Superior	t	gl (bilateral)
Par 1	antes - despues	8.373	0.375	0.216	9.305	7.441	1.646 2 0.001

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

P-Valor = 0.001 < $\alpha = 0.05$

Se aprecian la comparación entre las puntuaciones de la prueba de la capacidad portante, como se muestra que la $T_c = 1.646$ frente a una $T_t = 2.35$ con grados de libertad de 2; como $T_c < T_t$ y el $\rho < \alpha$ ($0.001 < 0.05$); se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde las propiedades físicas, mecánicas influyen en la baja capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante. Con un nivel de confianza del 95%.

4.5.3. DOSIFICACIÓN DE LAS BOLSAS DE POLIETILENO COMO ADICIÓN QUE MEJORA LA SUBRASANTE

Hipótesis de la investigación N° 03

Paso 1. Formulación de hipótesis

H_1 : existe una dosificación de las bolsas de polietileno como adición que mejora la subrasante en la carretera no pavimentada del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna.

$$H_1: \mu_0 \neq \mu_1$$

H_0 : No existe una dosificación de las bolsas de polietileno como adición que mejora la subrasante en la carretera no pavimentada del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna.

$$H_0: \mu_0 = \mu_1$$

Paso 2. Nivel de significación

$$\alpha = 5\%$$

Paso 3. Estadística de prueba

Se usa D.T-STUDENT

Porque $n < 30$

Paso 4. (Calcular P-valor) NORMALIDAD

Kolmogorov – Smirnov muestras grandes (> 30 individuos)

Chapiro wilk muestras pequeñas (< 30 individuos)

Criterio para determinar normalidad

P-valor $\Rightarrow \alpha$ acepta H_0 = los datos provienen de una distribución normal

P-valor $< \alpha$ acepta H_0 = los datos NO provienen de una distribución normal

Tabla 57: Pruebas de normalidad

Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
antes	0.221	3	.	0.986	3	0.774
despues	0.237	3	.	0.977	3	0.707

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

Tabla 58: Análisis si provienen de una distribución normal

NORMALIDAD		
P-Valor (sin tratamientos)= 0.774	>	$\alpha = 0.05$
P-VALOR (con tratamiento)=0.707	>	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de la subrasante provienen de una distribución normal

Paso 5. Valor (es) críticos de la estadística de prueba

$$tc = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Paso 6. Toma de decisión

El Criterio para según el nivel de significancia

- Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace H_0 (Se acepta H_1)
- Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace H_0 (Se acepta H_0)

El Criterio según el valor de la estadística

- Si el valor de la estadística de prueba T_c está en la región de aceptación, se acepta H_0
- Si el valor de la estadística de prueba T_c está en la región de rechazo, se rechaza H_0

Tabla 59: Prueba de muestras relacionadas

	Par	Diferencias emparejadas						Sig. (bilateral)		
		Media	Desviación estándar	Media estándar de error	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl		
					Inferior	Superior				
	1	ANTES - DESPUES	4.143	0.098	0.056	4.388	3.898	2.21	2	0.002

Fuente: Paquete estadístico SPSS V.12

P-Valor =0.000 < $\alpha = 0.05$

Se aprecian la comparación entre las puntuaciones de la prueba de antes y después de los resultados de la subrasante y la utilización de bolsas de polietileno más óptimo, como se muestra que la $T_c = 2.21$ frente a una $T_t = 2.35$ con grados de libertad de 2; como $T_c < T_t$ y el $p < \alpha$ ($0.002 < 0.05$); se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde existe una dosificación de las bolsas de polietileno como adición que mejora la subrasante. Con un nivel de confianza del 95%.

4.6. EVALUACIÓN ECONOMICA CON OTRO TIPO DE ESTABILIZADOR

El costo de la obtención de bolsas de polietileno fundido es de S/. 2.5 x kilo de manera artesanal y S/. 1.1 x kilo de manera industrial, para el mejoramiento de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva KM 0+000 - KM 0+100, distrito de Orcotuna, concepción se necesita aprox. 20628 kilos para un ancho de vía de 6 metros. Y una profundidad a mejorar de 30 cm, con una dosificación del 6% con respecto al peso seco del suelo.

El costo de cal es de S/. 1.5 x kilo y para poder mejorar la subrasante se necesitaría 17190 Kg, para un ancho de vía de 6 metros, una profundidad a mejorar de 30 centímetros, con una dosificación del 5% con respecto al peso seco del suelo.

Para determinar el espesor del afirmado en función del CBR de la subrasante se usó la ecuación del método AASHTO, recomendado por el MTC para carreteras de mediano volumen de tránsito.

4.6.1. DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO

Para el diseño de pavimentos rígidos se utiliza la siguiente ecuación según el manual AASHTO:

$$Log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 Log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right]}{1+\frac{1.624*10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 S_o + (4.22 - 0.32 p_t) \log \left[\frac{S_o C_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 J [D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/K)^{0.25}}]} \right]$$

1.- Número de ejes equivalentes (W18)

Para zonas urbanas un valor bastante conservador es:

$$W_{18} = 1,500,000.00$$

2.- Confidencialidad y Variabilidad (ZR y SO)

$$\text{Nivel de confianza} \quad 90$$

$$ZR = \text{Nivel de confianza} \quad -1.282$$

$$\text{Desviación estándar SO} = 0.35 \quad \text{Para pavimentos rígidos tomar de 0.3 a 0.4}$$

3.- Perdida de serviciabilidad (ΔPSI)

$$\begin{aligned} \text{Índice de serviciabilidad inicial } pi &= 4.50 \\ &= \end{aligned}$$

$$\text{Índice de serviciabilidad final pf} = 2.00$$

$$\text{Perdida de serviciabilidad } \Delta PSI = 2.50$$

4.- Módulo de rotura del concreto (SC)

$$S'c = (8 - 10) * \sqrt{f'c}$$

$$\begin{aligned} f'c \text{ en PSI :} &= 210.00 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 2,986.90 \text{ psi} \end{aligned}$$

5.- Coeficiente de drenaje (Cd)

Tabla 60: Valores de coeficiente de drenaje, Cd para pavimentos rígidos

Calidad del drenaje	% del tiempo que la estructura del pavimento que está expuesto a niveles de humedad próximas a la saturación			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Bueno	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Regular	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70
	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70	
Malo				
Muy malo				

Fuente: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures

Considerando que la calidad del drenaje de nuestro pavimento es

bueno y con un % de tiempo a la saturación entre 5 - 25% tomamos:

$$C_d = 1.00$$

6.- Coeficiente de transferencia de carga (J)

Coeficiente de transferencia de carga para pavimentos rígidos que llevaran juntas reforzados tomar valores de 2.5 a 3.1 J = 2.8

7.- Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

El módulo de elasticidad del concreto está dado por:

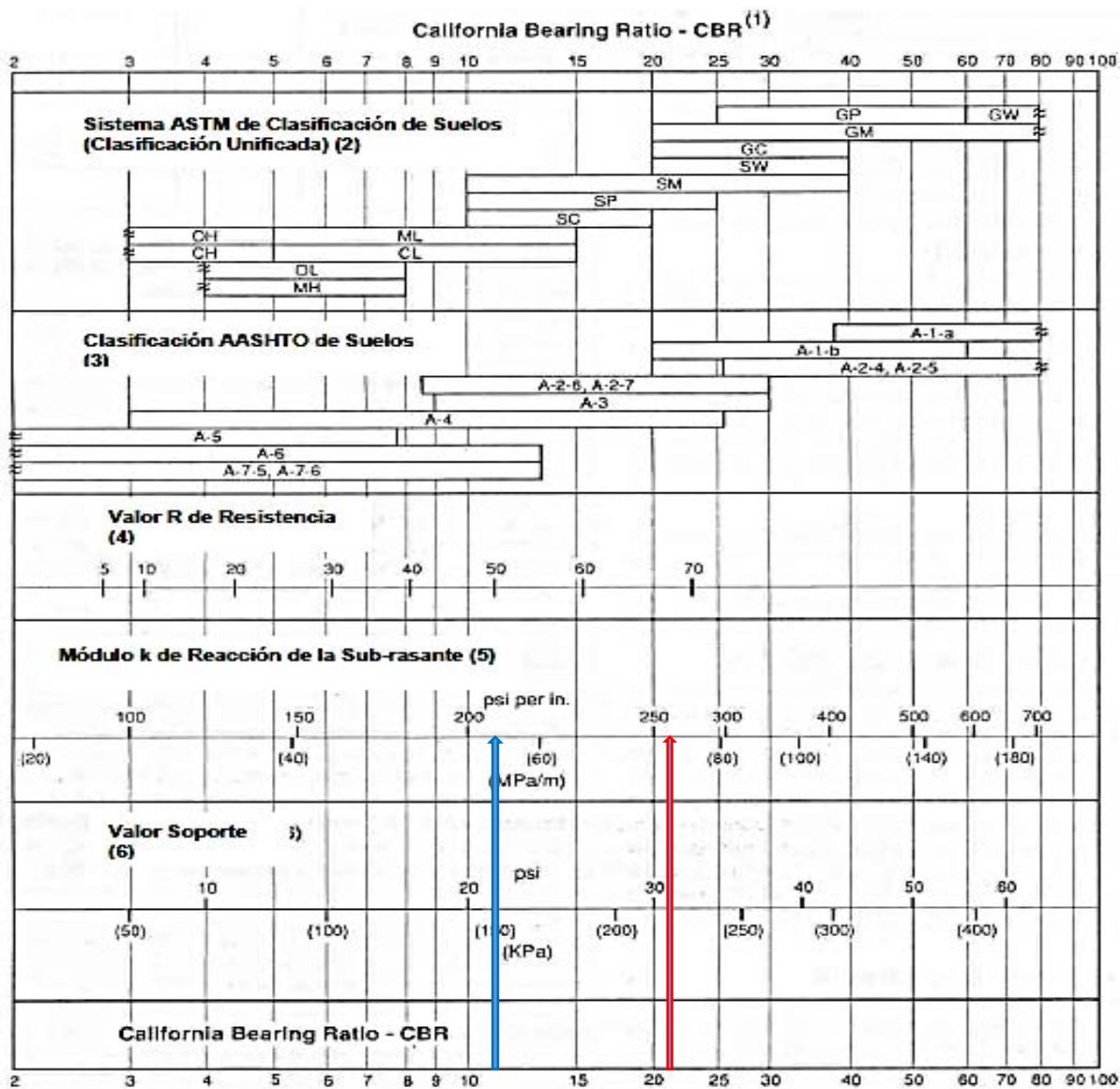
$$Ec = 6,750 * S'c \text{ o } Ec = 57,000 * \sqrt{f'c}$$

$$Ec = 3,320,142.90 \text{ psi}$$

$$Ec = 3,115,195.80 \text{ psi}$$

8.- Módulo de reacción de la sub rasante (K)

Tabla 61: Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones de suelos y valores soporte



(1) Para la idea básica ver O.J. Porter, "Cimentaciones para Pavimentos Flexibles", Highway Research Board Proceedings of the Twenty-Second Annual Meeting, 1942. Vol 22, pp 100-136.

(2) ASTM D2487

(3) "Clasificación de Materiales de Sub-rasante para Carreteras", Highway Research Board. Proceedings of the Twenty-Fifth Annual Meeting, 1945. Vol 25, pp 376-392.

- (4) C. E. Warnes, "Correlación entre el Valor R y el Valor k". Reporte no publicado, Portland Cement Association, Rocky Mountain-Northwest Region, Octubre 1971 (es la mejor correlación con corrección por saturación).
- (5) See T.A. Middlebrooks y G.E. Bertram, "Ensayos de Suelos para el Diseño de Pavimentos de Pistas de Aterrizaje", Highway Research Board. Proceedings of the Twenty- Second Annual Meeting, 1942. Vol 22, pág. 152.
- (6) Vert item (5) pág. 184

Datos del Terreno:

Sub rasante con polietileno	CBR = 7.92%
Sub rasante con cal	CBR = 15.09%
Módulo resiliente de la sub rasante	Mr = 9,482.05 psi
Módulo elástico de la base	ESB = 12,884.86 psi

Entramos al carta para estimar el Modulo de Reacción Compuesto K suponiendo un espesor semi infinito de la capa de apoyo. Fuente Manual de Diseño de AASHTO

■ K1= 180.00 pci
 ■ K2= 225.00 pci

9.- Resolvemos la ecuación

a.- Espesor para pavimento rígido (94% sub + 6% de bolsas de polietileno fundido)
 $k=180$

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The input fields are as follows:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento rígido (radio button selected).
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 % Zi=1.282, So = 0.35.
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.5, PSI final = 2.
- Módulo de reacción de la subrasante:** k = 180 pci.
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) = 3115195.8
 - Coefficiente de transmisión de carga - M1 = 2.8
 - Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) = 412.87
 - Coefficiente de drenaje - Cd = 1
- Tipo de Análisis:** Calcular D, W18 = 1500000.
- Espesor de losa (plg):** D = 8.4.
- Buttons:** Calcular (Calculate), Salir (Exit).

Fuente: Programa de la ecuación AASHTO 93

Figura 46: Cálculo del espesor CBR = 7.92%

Espesor de pavimento (D1) = 8.4" = 21.00 cm

b.- espesor para pavimento rígido (95% sub + 5% de cal) k1=225

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento rígido' selected. Under 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)', '90 % Zr=-1.282' is chosen and 'So' is set to 0.35. In the 'Serviciabilidad inicial y final' section, 'PSI inicial' is 4.5 and 'PSI final' is 2. The 'Módulo de reacción de la subrasante' section shows 'k' as 225 pci. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section lists 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)' as 3115195.8 and 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)' as 2.8; 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)' as 412.87 and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)' as 1. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular D' selected, with 'W18 =' set to 1500000. The 'Espesor de losa (plg)' section shows 'D =' set to 8.2. At the bottom are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fuente: Programa de la ecuación AASHTO 93

Figura 47: Cálculo del espesor CBR=15.09%

Espesor de pavimento (D1) = 8.2" = 20.5 cm

En la tabla 62 al mejorar la subrasante con bolsas de polietileno fundido el espesor del pavimento rígido es 21 centímetros y el mejoramiento con cal disminuye el espesor de concreto en 0.5 centímetros siendo un valor de 20.5 centímetros.

Tabla 62: Cálculo del espesor "e" en función del CBR

descripción	Subrasante+ Bolsas de polietileno fundido	Subrasante+ Cal
CBR	7.92	15.09
E (cm)	21.00	20.5

Fuente: elaboración propia

A continuación se resume el presupuesto de pavimento rígido con un mejoramiento con bolsas de polietileno fundido y con cal. En la tabla 63

Tabla 63: Resumen de presupuesto para dos tipos de estabilizadores

PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RIGIDO	
TIPO DE ESTABILIZADOR	COSTO DIRECTO
BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO (6%)	S/. 85,687.30
CAL (5%)	S/. 90,792.18

Fuente: Elaboración Propia

4.6.2. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE METODO AASHTO 1993

CALCULANDO EL NUMERO ESTRUCTURAL PARA SUB RAZANTE + ADICIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO CBR =7.98% - MR = 9653

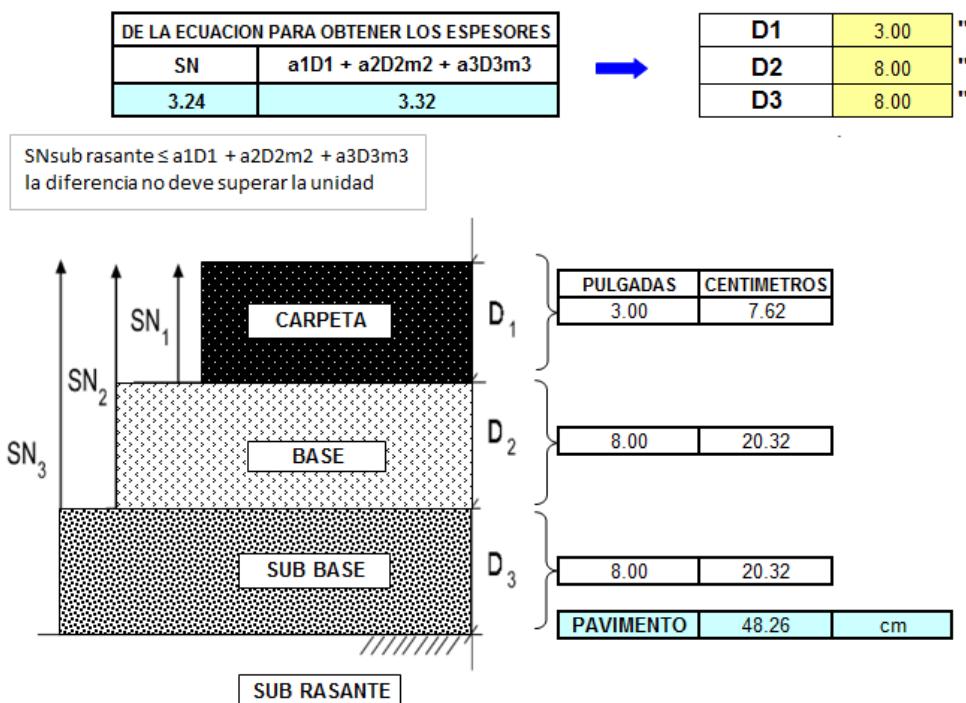
The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It includes the following sections:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible (selected).
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 % Zr=-1.282, So 0.45.
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial 4.2, PSI final 2.
- Módulo resiliente de la subsaante:** Mr 9653 psi.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi), Coeficiente de transmisión de carga - (J); Módulo de rotura del concreto - Sc (psi), Coeficiente de drenaje - (Cd).
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, W18 = 1500000.
- Número Estructural:** SN = 3.24.
- Buttons:** Calcular, Salir.

Fuente: Programa de la ecuación AASHTO 93

Figura 48: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible

Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible



CALCULANDO EL NUMERO ESTRUCTURAL PARA SUB RAZANTE + CAL CBR =15.09% - MR = 14512

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	90 % Zr=1.282	So 0.45
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial	4.2	PSI final	2
		Mr	14512 psi
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec [psi]		Coefficiente de transmisión de carga - J1	
Módulo de rotura del concreto - Sc [psi]		Coefficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	W18 = 1500000	SN = 2.81	
<input type="radio"/> Calcular W18			
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

Fuente: Programa de la ecuación AASHTO 93

Figura 49: Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible

Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible

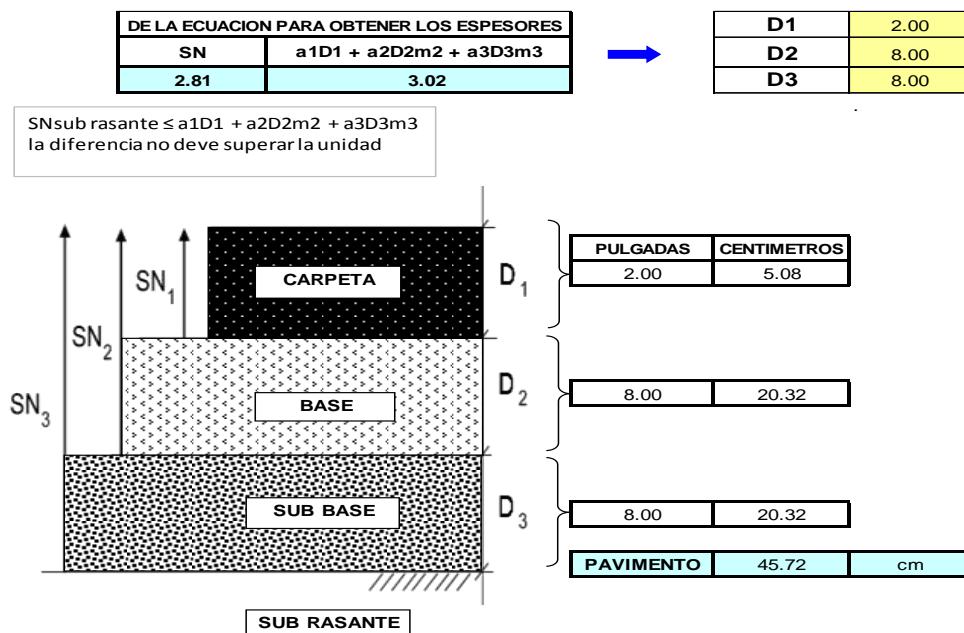


Tabla 64: Presupuesto de pavimento flexible

PRESUPUESTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

TIPO DE ESTABILIZADOR	COSTO DIRECTO
BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO (6%)	S/. 67,136.18
CAL (5%)	S/. 76,856.18

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. Las bolsas de polietileno influyen en el mejoramiento de la subrasante, mediante el uso de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos, se realizó diferentes proporciones que son: del 2%, 4%, 6%, 8% y 10 % logrando un aumento de CBR en promedio de 7.98%, superior al permisible.
2. Con la adición de polímeros reciclados, obtenidos de las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos, se mejora las propiedades física y mecánicas, se comprobó que la muestra del tramo de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 presenta gran presencia de arcilla. La problemática se debe a que la subrasante es un suelo plástico y de mala granulometría , conviene que sea bien graduada , con una granulometría continua y no uniforme, al adicionar bolsas de polietileno fundido en forma de grumos el suelo hace que tenga mayor fricción y por ende hace que presente mayor capacidad portante.
3. El CBR del suelo arcilloso es 4.15% al 95% de la máxima densidad seca y al adicionar bolsas de polietileno fundido al 6% del peso seco del suelo, con dimensiones amorfas pasante el tamiz 3/4" y retenido 3/8", incrementó el CBR (California Bearing Ratio) a 7.98% al 95% de la máxima densidad seca debido a que las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos presenta propiedades de flexo compresión y también redujo porcentualmente la expansión 36.85%.
4. En el diseño estructural del pavimento flexible la calidad del material de la subrasante depende en gran medida de los espesores del pavimento siendo la sub base, base y carpeta asfáltica que se muestra en la tabla.

CAPAS	SIN MEJORAMIENTO (SUBRASANTE)	CON MEJORAMIENTO (SUBRASANTE MAS ADICIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO EN FORMA DE GRUMOS)
Sub base	3.5 pulgadas	3 pulgadas
Base	8 pulgadas	8 pulgadas
Carpeta Asfáltica	10 pulgadas	8 pulgadas

Al realizar una evaluación económica en un pavimento rígido y flexible se aprecia la comparación de costos entre cada uno de los pavimentos mostrados en las tablas.

PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RIGIDO

TIPO DE ESTABILIZADOR	COSTO DIRECTO
BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO (6%)	S/. 85,687.30
CAL (5%)	S/. 90,792.18

PRESUPUESTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

TIPO DE ESTABILIZADOR	COSTO DIRECTO
BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO (6%)	S/. 67,136.18
CAL (5%)	S/. 76,856.18

Se observa que en el pavimento rígido la diferencia de costo entre la cal y bolsas de polietileno es S/. 5,104.88 y la diferencia en el presupuesto de pavimento flexible es de S/. 9,720.00.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al ministerio de transporte aplicar bolsas de polietileno fundido en forma de grumos solo para suelos de baja capacidad portante, Puede ser aplicable hasta un suelo con un CBR mínimo 3% al 95% de la máxima densidad seca no es recomendable para otros tipos de suelos.
2. Es requisito indispensable contar con estudios de suelos, para poder conocer las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo para poder elegir el tipo de estabilizador recomendado por el ministerio de transporte y comunicaciones. Los suelos arcillosos presentan un fenómeno de expansión susceptible de sufrir cambios volumétricos por cambios de humedad, el pavimento pueden presentar daños por asentamientos y expansión, lo cual se recomienda que se use polímeros en forma de grumos, ya que en la presente investigación disminuyo la expansión en 36.85%.
3. Se recomienda a las empresas constructoras de vías de transporte minimizar el movimiento de tierras debido a consideraciones económicas, es por eso que antes de cambiar la subrasante de baja capacidad portante optar por el mejor método de estabilizador. Para determinar el porcentaje optimo suelo – bolsas de polietileno fundido en forma de grumos, se recomienda realizar ensayos CBR del suelo-con adición de grumos con 2%, 4%, 6%, 8% y 10% con respecto al peso seco del suelo.
4. Se recomienda realizar el mejoramiento de la subrasante en suelos arcillosos de mediana a baja plasticidad utilizando bolsas de polietileno fundido en forma de grumos ya que mejora el CBR de la subrasante lo cual es un parámetro para el diseño de pavimento e influirá en el diseño estructural del pavimento disminuyendo los espesores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D1883. (2009). Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory - Compacted Soil (Annual book of ASTM Standards Vol. 04.08 ed.). EEUU.
- Badillo, J. (1995). Mecánica de Suelos Tomo I .México: Limusa Noriega Editores.
- Bañon, L. & Bevía J. (2010). Manual de Carreteras Construcción y Mantenimiento (vol. 2).
- Barrera, M. & Garnica, P. (2002). Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. (Documento Técnico N°198). Instituto Mexicano de transporte. México.
- Bowles, E. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (2° ed.). México 8, D. F., México: McGraw Hill Interamericana.
- CCanto, G. (2010) Metodología de la investigación científica en ingeniería civil. Ingeniería de trasportes (3° Ed.). Perú.
- CE.010, P. H. (2010). Reglamento Nacional de Edificaciones (4ta ed.). Lima: GE Megabyte.
- Crawford, R., Webb, H., Arnott, J., Ivanova, E. (2013). “Plastic degradation and its environmental implications with special reference”. Polymers.
- Crespo Villalaz, C. (2007). Vías de comunicación (4ta ed.). Mexico D.F.: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Das, B. M. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotecnia (5° Ed.). México, D. F., México: Interracial Thomson Editores.
- EG-2013. (2013). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (Vol. I). Lima: MTC.
- Glosario vial, 2. (2013). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima: MTC.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). Metodología de la Investigación Sexta Edición. Editorial S.A de C.V, México.

Jimenez, J. A., De Justo J. L. (1975). Geotecnia y Cimientos. (Vol. 1). Propiedades de los Suelos y de las Rocas., 2: Editorial Rueda, 466 pp.

Juárez B., E., & Rico R., A. (2004). Mecanica de Suelos (2da ed., Vol. II). Mexico: Editorial Limusa S.A. de C.V.

Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sanchez, V., & Del Val, M. (2004). *Ingenieria de Carreteras* (Vol. II). Madrid: Mc Graw Hill.

Lambe, T. W. (1968). Mecanica de Suelos. Nueva York: Mc Graw Hill.

Lázaro, M. (2007). Inferencia Estadística Primera Edición. Editorial Moshera S.R.L. Perú

Manual de Estabilización de Suelo tratado con Cal. Estabilización y modificación con cal. (2004). Boletín 326, National Lime Association Arlington, USA.

Mendoza L., M. (1992). Enfoques recientes en la compactacion de suelos (Vol. pt 33). Queretaro: IMT.

Menéndez, J. R. (2013). Ingeniería de Pavimentos: diseño y gestión de pavimentos (1º Ed.). Lima, Perú: imprenta ICG.

Método de diseño AASHTO. (1993) (American Asociation of State Highway and Transportation Officials).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (20013). Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Lima, Perú.

Ministerio de Trasporte y Comunicaciones. (2014). Manual de carreteras diseño Geométrico. Perú

Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras (2º Ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia ediciones y publicaciones.

MTC E 132. (2000). CBR de suelo (Laboratorio). Lima: ICG.

Nicholas J., G., & Lester A., H. (2005). Ingeniería de Transito y Carreteras (3ra ed.). México: Thomson Editores S.A. de C.V.

Ordoñez H., A., & Minaya G., S. (2001). CBR de subrasantes arenosas y limo-arcillosas. Lima: UNI.

Reyes L., F. A. (2003). Diseño Racional de Pavimentos (1ra ed.). Bogotá: Centro Editorial Javeriano CEJA.

Rico, A., Del Castillo, H. (2005). La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas (Vol. 1). México: Editorial Limusa S.A.

Sánchez G., A. M. (2008). Evaluación del método de Hilf para el control de compactación de mezclas con suelos volcánicos del aeropuerto del Café. Caldas: UNC.

Sánchez L., F. J. (2012). Proctor vs Ramcodes. 4to Congreso venezolano del Asfalto (pág. 9). Coro: UNEFM.

Sapón, M. (1999). Diseño de un Sistema de Control de Calidad en la Industria del Empaque Flexible de Polietileno. Guatemala: Tesis USAC 1999.

Torre, A. (2010). Tablas Estadísticas. Editorial Arcángel, Perú.

Vivar R., G. (1995). Diseño y Construcción de Pavimentos (2da ed., Vol. Libro 6). Lima: Colección del Ingeniero Civil - CIP.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICO

Morales, C., y Ramírez, E. (2011). Guía para elaborar citas y referencias en formato APA. Recuperado de <http://www.ins.go.cr/normas.html>.

Fernando, O. (2010). El problema de las bolsas de plástico, el impacto ambiental del plástico y su reciclado. Recuperado de <http://www.biodesol.com/contaminacion-ambiental/el-problema-de-las-bolsas-de-plastico-el-impacto-ambiental-del-plastico-y-su-reciclado-contaminacion-ambiental-reciclado/>

Akinori, I. (2010). Máquina que convierte el plástico en petróleo. Recuperado de <https://www.fayerwayer.com/2010/08/maquina-que-convierte-el-plastico-en-petroleo/>

López, T. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. Recuperado de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/MAY10/lopez.pdf>

ANEXOS

Anexo A – Ensayo de Laboratorio del suelo de la subrasante.

Anexo B – Ensayos de laboratorio de la subrasante con bolsas de polietileno fundido seleccionando diámetro

Anexo C – Ensayos de laboratorio de la subrasante con bolsas de polietileno fundido en forma de grumos

Anexo D – Ensayos de laboratorio de la subrasante con bolsas de polietileno fundido en forma de líquido en las cinco capas

Anexo E – Otros

ANEXO A – ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA SUBRASANTE

CALICATA-1:

ENSAYOS ESTÁNDAR

1. A.EE.C-1 Registro de Excavación
2. A.EE.C-1 Análisis granulométrico mecánico
3. A.EE.C-1 Contenido de humedad
4. A.EE.C-1 Límites líquido
5. A.EE.C-1 Límites plásticos
6. A.EE.C-1 Clasificación de suelos SUCS
7. A.EE.C-1 Clasificación de suelos AASHTO

ENSAYOS ESPECIALES

8. A.EE.C-1 Proctor modificado
9. A.EE.C-1 Ensayo CBR

CALICATA-2:

ENSAYOS ESTÁNDAR

10. A.EE.C-2 Registro de Excavación
11. A.EE.C-2 Análisis granulométrico mecánico
12. A.EE.C-2 Contenido de humedad
13. A.EE.C-2 Límites líquido
14. A.EE.C-2 Límites plásticos

15. A.EE.C-2 Clasificación de suelos SUCS
16. A.EE.C-2 Clasificación de suelos AASHTO

ENSAYOS ESPECIALES

17. A.EE.C-2 Proctor modificado
18. A.EE.C-2 Ensayo CBR

CALICATA-3:

ENSAYOS ESTÁNDAR

19. A.EE.C-3 Registro de Excavación
20. A.EE.C-3 Análisis granulométrico mecánico
21. A.EE.C-3 Contenido de humedad
22. A.EE.C-3 Límites líquido
23. A.EE.C-3 Límites plásticos
24. A.EE.C-3 Clasificación de suelos SUCS
25. A.EE.C-3 Clasificación de suelos AASHTO

ENSAYOS ESPECIALES

26. A.EE.C-3 Proctor modificado
27. A.EE.C-3 Ensayo CBR

ANEXO B – ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA SUBRASANTE CON BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO SELECCIONANDO DIÁMETRO

28. B.EE.C-1 Ensayo CBR (BPF al 5 %)
29. B.EE.C-1 Ensayo CBR (BPF al 5 %)
30. B.EE.C-1 Ensayo CBR (BPF al 5 %)

ANEXO C – ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA SUBRASANTE CON BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO EN FORMA DE GRUMOS

CALCULO DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE LA BOLSA DE POLIETILENO

CALICATA-1:**ENSAYOS ESPECIALES**

31. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 2 %)
32. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 2 %)
33. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 2 %)
34. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 4 %)
35. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 4 %)
36. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 4 %)
37. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 6 %)
38. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 6 %)
39. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 6 %)
40. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 8 %)
41. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 8 %)
42. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 8 %)
43. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 10 %)
44. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 10 %)
45. C.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 10 %)

ANEXO D – ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA SUBRASANTE CON BOLSAS DE POLIETILENO FUNDIDO EN FORMA DE LÍQUIDO EN LAS CINCO CAPAS**CALICATA-1:****ENSAYOS ESPECIALES**

46. D.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 6 %)
47. D.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 6 %)
48. D.EE.C-1 Ensayo CBR (BPQ al 6 %)

ANEXO E – OTROS

49. Ensayos de CBR (95% de subrasante más 5% de cal)
50. Ensayos químicos
51. Presupuesto de pavimento rígido
52. Presupuesto de pavimento flexible
53. Plano de ubicación de calicata