

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**“OPTIMIZACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON
APLICACIÓN DE GEO-SINTÉTICOS.”**

TESIS

**PRESENTADO POR:
Bach. ANSELMO NUÑEZ CONDORI**

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

PROMOCIÓN 2015

**PUNO – PERÚ
2016**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL****TESIS****“OPTIMIZACIÓN DE ESPEORES DE PAVIMENTOS CON
APLICACIÓN DE GEO-SINTÉTICOS.”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CIVIL ANSELMO NUÑEZ CONDORI, A LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

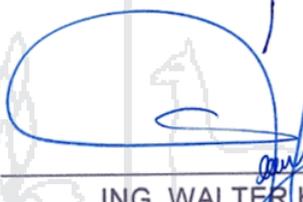
INGENIERO CIVIL

APROBADO POR:

PRESIDENTE :


ING. JAIME MEDINA LEIVA

PRIMER MIEMBRO:


ING. WALTER HUGO LIPA CONDORI.

SEGUNDO MIEMBRO:


ING. PEDRO FRANCISCO RODRIGUEZ HUANCA.

DIRECTOR DE TESIS:


ING. MARIANO ROBERTO GARCIA LOAYZA.

ASESOR DE TESIS:


ING. EMILIO CASTILLO ARONI.

ÁREA: TRANSPORTES

TEMA: PAVIMENTOS FLEXIBLES, NUEVAS TENDENCIAS.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: PAVIMENTOS FLEXIBLES, NUEVAS TENDENCIAS.

PUNO - PERÚ**2016**

DEDICATORIA:

“Es verdad, al alcanzar una meta en la vida siempre hay alguien a quien agradecer y dedicar”

Dedico esta tesis a:

*A **DIOS** por ser mi luz y fortaleza para seguir siempre adelante, iluminándome por el sendero del bien y por ser el amigo que nunca falla.*

*A mi madre **NICOLAZA** y a mi padre **NATALIO**, con amor y cariño quienes me dieron la vida y esa fortaleza, quienes me dieron la oportunidad para alcanzar este triunfo anhelado, y sobre todo por la oportunidad para cultivar lo que aspiro.
¡Mamita, Papito les adoro!*

*A mis hermanas **EDUARNINA** y **PETRONA** y a mis hermanos **LEANDRO**, **PEDRO**, **ERASMO**, **ANTONIO** y **CELESTINO**, quienes me muestran con su actuar, lo que es la vida. que con su apoyo moral me ayudaron a no abandonar la batalla contra la adversidad.
¡Mi familia, les quiero mucho!*

*A mis compañeros y amigos, que están en esta hermosa carrera, la Ingeniería Civil, porque estaremos siempre en armonía, convivencia y sobre todo en investigación, con lo que forjaremos un buen desarrollo de nuestro País, sin importar en el lugar que estaremos.
¡Gracias compañeros y amigos!*

∞ ∞ *Anseldo Nuñez Condori.*

AGRADECIMIENTOS.

Gracias a Dios, por darme la familia que tengo y por brindarme la dicha de poder concluir esta importante etapa de mi vida.

A la Universidad Nacional Del Altiplano, En especial a la Escuela de Ingeniería Civil, que me dio la oportunidad de ser parte de ella.

A mis Docentes de la Carrera Profesional de la Ingeniería Civil, por compartir conmigo sus conocimientos; por formarme profesionalmente y obsequiarme su tiempo valioso para poder concluir este proceso tan importante en mi carrera.

A mi Familia, que atenciones y que, con muchos esfuerzos y sacrificios, me ha enseñado, aconsejado y apoyado en todo momento; mi respeto y admiración.

A mis amigos y compañero que me apoyaron directamente e indirectamente en la realización de este trabajo.

De mi mayor agradecimiento a mi Asesor y Director de Tesis, quienes me orientaron y tuvieron paciencia para la finalización exitosa de este trabajo.

∞ ∞ Anselmo Nuñez Condori.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABLAS.....	12
ABREVIATURA.....	14
RESUMEN.....	15
INTRODUCCION.....	16

CAPÍTULO I
I. GENERALIDADES

I.1 ANTECEDENTES.....	18
I.2 ASPECTOS METODOLOGICOS.....	21
I.3 ALCANCES.....	21
I.4 LIMITACIONES.....	22

CAPÍTULO II
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

II.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
II.1.1 Problema general.....	24
II.1.2 Problema específico.....	25
II.2 OBJETIVOS.....	25
II.2.1 Objetivo General.....	25
II.2.2 Objetivo Específico.....	25
II.3 JUSTIFICACIÓN.....	25

CAPÍTULO III
III. MARCO TEÓRICO, HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION Y VARIABLES

III.1 MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	28
III.1.1 Método AASHTO 1993 para pavimentos flexibles.....	28
III.1.2 Métodos del Instituto del Asfalto para pavimentos flexibles.....	30
III.1.3 Método del NCHRP 1-37 ^a	32
III.2 ESTUDIO DE LOS ESFUERZOS Y DEFORMACIONES QUE GENERA EL VEHÍCULO.....	32
III.2.1 Peso del vehículo y su transmisión de carga.....	33
III.2.2 Naturaleza cíclica de cargas que actúan en un pavimento.....	36
III.2.3 Medición del nivel de impacto sobre el pavimento.....	38
III.2.4 Reseña de métodos de cálculo con geosintéticos.....	40
III.3 FALLAS MÁS FRECUENTES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	43
III.4 COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO.....	46
III.4.1 Subrasante.....	48
III.4.2 Sub base.....	48
III.4.3 Base.....	50
III.4.4 Capa de rodadura.....	52

III.5	GEOSINTÉTICOS.....	53
III.5.1	Reseña histórica de los geosintéticos (geomallas).....	54
III.5.2	Clasificación de los geosintéticos.....	56
III.5.2.1	Geotextiles.....	57
III.5.2.1.1	Geotextil no tejido.....	57
III.5.2.1.2	Geotextil tejido.....	57
III.5.2.1.3	Función y campos de aplicación.....	58
III.5.2.2	Geomallas.....	60
III.5.2.2.1	Geomalla uniaxiales o mono-orientadas.....	61
III.5.2.2.2	Geomallas biaxiales o biorientada.....	62
III.5.2.2.3	Funciones y aplicaciones.....	62
III.5.2.2.4	Geomallas multiaxiales.....	63
III.5.2.3	Geocompuestos.....	65
III.5.2.3.1	Geodren Planar.....	65
III.5.2.3.2	Geodren circular.....	66
III.5.2.3.3	Funciones y aplicaciones.....	66
III.5.2.4	Geomembranas.....	67
III.5.2.4.1	Clasificación.....	68
III.5.2.4.2	Funciones y aplicaciones.....	68
III.5.2.5	Geoceldas.....	69
III.5.2.5.1	Funciones y aplicaciones.....	70
III.5.3	Proceso de fabricación de los geosintéticos.....	70
III.5.4	Beneficios obtenidos con el uso de geomallas biaxiales.....	71
III.6	ENSAYO A ESCALA REAL DE UNA ESTRUCTURA REFORZADA CON GEOMALLA BIAXIAL.....	73
III.7	METODOLOGIA DE DISEÑO EN VÍAS CON GEOMALLAS BIAXIALES.....	78
III.7.1	Mecanismo de refuerzo generado por la geomalla biaxial.....	79
III.7.1.1	Confinamiento lateral de la base o subbase.....	82
III.7.1.2	Mecanismo de interacción suelo – refuerzo.....	83
III.7.1.3	Mejoramiento de la capacidad portante.....	85
III.7.1.4	Membrana tensionada.....	86
III.8	CARACTERISTICA DE LA GEOMALLA BIAXIAL.....	88
III.9	ASENTAMIENTOS, ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO CON APLICACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL.....	90
III.10	DRENAJE.....	91
III.11	GUIA DE DISEÑO ESTRUCTURAL AASHTO 93 PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	94
III.11.1	Factores a considerar en el cálculo de pavimentos por el metodo AASHTO 93.....	94
III.11.2	Diagrama de diseño de AASHTO 93 tradicional.....	95
III.11.3	Diagrama de diseño de ASSHTO 93 con aplicación de geomalla biaxial.....	96
III.11.4	Diseño de la AASHTO 93 tradicional para pavimentos flexibles.....	97
III.11.5	Diseño de la AASHTO 93 para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas biaxiales.....	105
III.12	MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO CON ELEMENTOS FINITOS.....	108
III.13	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	110
III.13.1	Hipótesis.....	110
III.13.1.1	Hipótesis General.....	110

III.13.1.2	Hipótesis Específico.....	110
III.13.2	Variables.....	110

CAPÍTULO IV

IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

IV.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	111
IV.2	DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN.....	111
IV.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	112
IV.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	114
IV.5	VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO.....	114
IV.6	PLAN DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	115

CAPÍTULO V

V. EXPOSICION DE RESULTADOS

V.1	METODOLOGIA DE DISEÑO.....	117
V.2	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	118
V.2.1	Ensayo de CBR con aplicación de las geomallas biaxiales.....	118
V.2.2	Ensayos para determinar las propiedades física-mecánicas de material subbase.....	127
V.3	APLICACIONES DE GEOSINTETICOS EN VIAS.....	128
V.3.1	Aplicación práctica del diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93 tradicional:.....	128
V.3.2	Aplicación práctica del diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93, con inclusión de geomalla biaxial:.....	128
V.4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	133
V.5	ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION.....	135
V.6	CONTROL DE CALIDAD.....	138
V.7	EVALUACION TEORICA A BASE DE EXPERIENCIAS SOBRE EL PERIODO DE VIDA ÚTIL DE LA GEOMALLA A LO LARGO DEL TIEMPO.....	138
V.7.1	REVISTA ESPECIALIZADA DE PERUVIAS.....	138
V.7.1.1	Geomallas, alternativa adecuada para reforzar suelos.....	138
V.7.2	GEOSOLUCIONES ANDEX.....	141
V.7.2.1	La vida útil de los geosintéticos.....	141
V.7.3	SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CARRETERAS SPECTRA “GEOMALLAS DE TENSAR”.....	141
V.7.3.1	Sistema spectra: disminución de los costos de construcción y de la necesidad de mantenimiento a largo plazo.....	141
V.7.3.2	El sistema spectra prolonga la vida de una carretera mediante la introducción de una capa mecánicamente estabilizada dentro de la estructura pavimentada.....	142
V.7.3.3	EL SISTEMA SPECTRA DISMINUYE LA CANTIDAD DE INTERVALOS DE REHABILITACIÓN, CON LO CUAL DISMINUYEN LOS COSTOS GENERALES DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO.....	144
V.8	DISEÑO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	148

CAPÍTULO VI**VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

VI.1	ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS GEOSINTÉTICOS (GEOMALLA BIAJIAL).	149
VI.1.1	Selección de la geomalla biaxial.....	149
VI.1.2	Propiedades físicas-mecánicas de la geomalla MAC GRID EGB 40.....	152
VI.2	INTERPRETACIÓN DE DATOS DE LABORATORIO CON APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS	153
VI.2.1	Resumen de ensayos de CBR con geomallas biaxial MAC GRID EGB 40.....	153
VI.2.2	Resumen de las propiedades físicas-mecánicas de material subbase.....	155
VI.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS Y SIN GEOMALLAS.	155
VI.4	RESULTADOS DEL MODELAMIENTO CON ELEMENTOS FINITOS.....	156
VI.5	ANÁLISIS DE DISEÑOS TRADICIONALES Y LA PROPUESTA EN FUNCIÓN DE COSTOS Y TIEMPO.....	157
VI.5.1	Análisis de costos de la subbase granular tradicional (e=20cm) y subbase aplicado con geomalla biaxial (e=5cm).....	157
VI.5.1.1	Costo de la subbase sin geomalla biaxial (e=20cm).....	157
VI.5.1.2	Costo de la subbase utilizando geomalla biaxial (e=5cm).....	161
VI.5.2	Análisis de tiempo de ejecución de la subbase granular tradicional (e=20.0cm) y subbase aplicado con geomalla biaxial (e=5.0cm).....	166
VI.5.2.1	Tiempo de ejecución de la subbase (e=20.0cm) sin influencia de la geomalla biaxial.	168
VI.5.2.2	Tiempo de ejecución de la subbase (e= 5.0cm) con aplicación con geomalla biaxial.	169
VI.6	ANÁLISIS DEL EFECTO QUE GENERA LA GEOMALLA BIAJIAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN GENERAL.....	170
VI.7	EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS GEOMALLAS A LO LARGO DEL TIEMPO A TRAVÉS DE EXPERIENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	172
VI.8	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	173

CAPÍTULO VII**VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

VII.1	CONCLUSIONES:	175
VII.2	RECOMENDACIONES:	176

BIBLIOGRAFÍA.....	177
-------------------	-----

ANEXOS.....	179
-------------	-----

- ANEXO 01: ENSAYO DE SUELOS EN LABORATORIO
- ANEXO 02: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOMALLAS EGB
- ANEXO 03: NORMA DE ENSAYOS APLICADOS A GEOTEXTILES Y GEOMALLAS
- ANEXO 04: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DV. HUANCANE – CHUPA, “PUNO”.

- ANEXO 05: RESUMEN METRADOS DE LA SUBBASE Y CALCULO DE RENDIMIENTO DE TRANSPORTE DE LA CARRETERA DV. HUANCANE – CHUPA, “PUNO”.
- ANEXO 06: TIEMPO DE EJECUCION DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DV. HUANCANE – CHUPA, “PUNO”.



LISTA DE FIGURAS.

- **FIGURA II.1:** (a) Pavimento convencional (sin optimizar); (b) Pavimento con geosintetico (optimizado)..... 24
- **FIGURA III.1:** Metodo de diseño general de la AASHTO 93..... 30
- **FIGURA III.2:** Método de diseño del instituto del asfalto. 31
- **FIGURA III.3:** Método de diseño del NCHRP. 32
- **FIGURA III.4:** Parámetros de caracterización de carga de la AASHTO 93. 33
- **FIGURA III.5:** Comportamiento y respuestas del pavimento frente a cargas. (a) Vista frontal; (b) Vista lateral..... 34
- **FIGURA III.6:** Relación entre la presión de contacto y la presión de la llanta. (a) Baja presión; (b) Alta presión..... 35
- **FIGURA III.7:** Cargas máximas por eje. 35
- **FIGURA III.8:** Estado de esfuerzo en la subrasante..... 36
- **FIGURA III.9:** Pulsaciones de carga originarias por el movimiento del tránsito. 37
- **FIGURA III.10:** Señal de salida típica del sensor de impacto. 38
- **FIGURA III.11:** Nivel de impacto en el sensor sobre el pavimento, para diferentes velocidades y cargas..... 39
- **FIGURA III.12:** Señal de salida típica del dispositivo de impacto..... 39
- **FIGURA III.13:** Valores de impacto para diferentes cargas y velocidades. 40
- **FIGURA III.14:** Ensayos para la obtención del módulo elástico. 41
- **FIGURA III.15:** Ensayos para modelar el efecto de las cargas en el pavimento. 42
- **FIGURA III.16:** Fallas causadas por la temperatura. (a) Agrietamiento por bajas temperaturas. ;(b) Ahullamiento o deformación por altas temperaturas. 44
- **FIGURA III.17:** Ahullamiento por fallas en la subrasante. 45
- **FIGURA III.18:** Ahullamiento por fallas en la mezcla. 45
- **FIGURA III.19:** Muestra algunos patrones de agrietamiento por fatiga que se desarrollan en la carpeta asfáltica..... 46
- **FIGURA III.20:** Evaluación de costos de la partes de una vía. 46
- **FIGURA III.21:** Clasificación de los Geosinteticos. 56
- **FIGURA III.22:** Geotextil. 57
- **FIGURA III.23:** Geomalla uniaxial o mono-orientada. 61
- **FIGURA III.24:** Geomalla coextruída o biorientada. 62
- **FIGURA III.25:** Geomalla multiaxial. 63
- **FIGURA III.26:** Geocompuesto. 65
- **FIGURA III.27:** Geodren circular..... 66
- **FIGURA III.28:** Geomenbrana..... 67
- **FIGURA III.29:** Geocelda. 69
- **FIGURA III.30:** Aplicación de Geocelda. 70
- **FIGURA III.31:** Vista en planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo para analizar el comportamiento de las geomallas biaxiales. 74
- **FIGURA III.32:** Vista en corte de la sección típica de la vía del ensayo. 75
- **FIGURA III.33:** CBR Vs. Numero de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas y no reforzadas en el fondo de la vía. 77
- **FIGURA III.34:** LCR Vs. CBR para dos profundidades de ahuellamiento..... 77
- **FIGURA III.35:** Sección típica de estructuras de pavimento asfaltico con y sin geomalla biaxial. 78

- **FIGURA III.36:** Resultado de los ensayos triaxiales. ;(a) Refuerzo inextensible; (b) refuerzo extensible..... 80
- **FIGURA III.37:** Deformaciones en masa de suelo. (a) Sin Refuerzo; (b) Con Refuerzo. 81
- **FIGURA III.38:** Incremento de la resistencia de la masa de suelo reforzada..... 81
- **FIGURA III.39:** Incremento de la resistencia de la masa de suelo reforzada..... 82
- **FIGURA III.40:** Confinamiento lateral con el uso de la geomalla biaxial en un material granular. (a)Vista cercana; (b) Interacción de geomalla biaxial y material granular; (c) Restricción lateral que realiza la geomalla..... 82
- **FIGURA III.41:** Distribución de zonas de confinamiento..... 83
- **FIGURA III.42:** Mecanismo de interacción suelo-refuerzo. 84
- **FIGURA III.43:** Capacidad portante. (a)Vista lateral; (b) Vista frontal. 85
- **FIGURA III.44:** Mecanismo de mejoramiento de capacidad de soporte. 85
- **FIGURA III.45:** Efecto de zapato de nieve..... 86
- **FIGURA III.46:** Membrana tensionada. 86
- **FIGURA III.47:** Características físicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB40..... 88
- **FIGURA III.48:** Sistema de asentamientos y esfuerzos en: (a) pavimento tradicional y (b) pavimento con aplicación de geomallas biaxiales..... 90
- **FIGURA III.49:** Factores de diseño de pavimentos. 95
- **FIGURA III.50:** Diagrama de diseño de pavimento, según AASHTO 93..... 96
- **FIGURA III.51:** Diagrama de diseño de pavimento con aplicación de geomallas biaxial, según AASHTO 93..... 97
- **FIGURA III.52:** Carta para calcular el coeficiente estructural de concreto asfáltico de gradación densa..... 103
- **FIGURA III.53:** Variación de coeficiente de capa de base granular (a_2) con la variación de los parámetros de resistencia..... 104
- **FIGURA III.54:** Variación de coeficiente de capa de subbase granular (a_3) con la aplicación de los parámetros de resistencia..... 104
- **FIGURA III.55:** LCR vs. CBR Para tres profundidades de ahuecamiento..... 107
- **FIGURA III.56:** Discretización de capas por elementos finitos..... 108
- **FIGURA IV.1:** Cantidad de muestras por cada tipo de ensayo. 113
- **FIGURA V.1:** Flujograma de la metodología de diseño..... 117
- **FIGURA V.2:** Profundidades de ensayo de cbr con aplicación de geomalla biaxial. 123
- **FIGURA V.3:** Resumen del primer ensayo de CBR con aplicación de geomallas. 124
- **FIGURA V.4:** Resumen del segundo ensayo CBR con aplicación de geomallas..... 125
- **FIGURA V.5:** Resumen del tercer ensayo de CBR con aplicación de geomallas. 126
- **FIGURA V.6:** Coeficiente de relación de Maccaferri EG Geogrids: LCR vs. CBR de la Subrasante. 130
- **FIGURA V.7:** Forma correcta de construcción..... 137
- **FIGURA V.8:** Comportamiento del refuerzo de geomalla..... 137
- **FIGURA V.9:** Extensión de la vida útil del pavimento mediante el sistema Spectra. 143
- **FIGURA V.10:** costos deciclo de vida 145
- **FIGURA VI.1:** Características físicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB40..... 152
- **FIGURA VI.2:** Profundidades de ensayo de CBR con aplicación de geomalla biaxial. 153
- **FIGURA VI.3:** Bulbo de presiones del pavimento. (a) pavimento sin geomalla; (b) pavimento con geomalla..... 156
- **FIGURA VI.4:** Corte de la sección típica del pavimento de la carretera DV. Huancané – Chupa 162
- **FIGURA VI.5:** Sección típica de 1m³ de material subbase (e=0.05m) de la carretera Dv. Huancané - Chupa..... 162

LISTA DE TABLAS.

• TABLA II.1: Analogía de componente estructural entre pavimento y edificación.....	26
• TABLA III.1: Estudio y métodos de cálculo de diferentes autores.....	41
• TABLA III.2: Ensayos más frecuente en pavimento flexible.....	47
• TABLA III.3: Ensayo más frecuentes en base y subbase.....	47
• TABLA III.4: Requerimientos granulométricos para subbase granular.....	49
• TABLA III.5: Subbase granular, requerimientos de ensayos especiales.....	49
• TABLA III.6: Requisitos de la base granular.....	50
• TABLA III.7: Características físico-mecánicas y químicas de la base granular.....	50
• TABLA III.8: Requerimientos granulométricos para base granular.....	51
• TABLA III.9: Requerimientos de agregado grueso.....	52
• TABLA III.10: Requerimientos de agregado grueso.....	52
• TABLA III.11: Requerimientos de agregado fino.....	52
• TABLA III.12: Granulometría para la capa de rodadura.....	53
• TABLA III.13: Principales polímeros utilizados en la fabricación de geosintéticos.....	54
• TABLA III.14: Función de separación.....	58
• TABLA III.15: Función de refuerzo.....	59
• TABLA III.16: Función de drenaje.....	59
• TABLA III.17: Función filtro.....	60
• TABLA III.18: Función protección.....	60
• TABLA III.19: Función De Impermeabilización.....	60
• TABLA III.20: Aplicaciones de las geomallas uniaxial y biaxial.....	64
• TABLA III.21: Beneficios de las geomallas biaxiales.....	72
• TABLA III.22: Tipos geomallas PAVCO considerados para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles.....	76
• TABLA III.23: Mecanismos de interacción.....	84
• TABLA III.24: Propiedades de la geomalla biaxial que afectan en su comportamiento.....	88
• TABLA III.25: Ensayos mas frecuentes para demostrar las propiedades mecánicas de la geomalla biaxial.....	89
• TABLA III.26: Microdeformaciones en pavimento normal.....	91
• TABLA III.27: Microdeformaciones en pavimentos aplicados con geomalla biaxial.....	91
• TABLA III.28: Periodos típicos de diseño.....	99
• TABLA III.29: Factor de distribución por carril DL.....	100
• TABLA III.30: Niveles sugeridos de confiabilidad, R.....	100
• TABLA III.31: Desviación estándar, ZR.....	101
• TABLA III.32: Condiciones de drenaje.....	103
• TABLA III.33: Coeficiente de drenaje recomendados, m_i	105
• TABLA III.34: Variable independiente y dependiente.....	110
• TABLA V.1: Ensayos de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 0 cm.....	118
• TABLA V.2: Ensayos de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 2.5 cm.....	119
• TABLA V.3: Ensayo de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 5.0 cm.....	120

• TABLA V.4: Ensayo de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 7.5 cm	121
• TABLA V.5: Ensayo de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 10 cm.....	122
• TABLA V.6: Resumen del primer ensayo de CBR con aplicación de geomallas biaxiales.	124
• TABLA V.7: Resumen del segundo ensayo de CBR con aplicación de geomallas.	125
• TABLA V.8: Resumen del tercer ensayo de CBR con aplicación de geomallas.	126
• TABLA V.9: Características fisico-mecánicas de la Subbase.	127
• TABLA V.10: Espesores obtenidos de la carretera Arapa – Dv. Huancané. Tramo I.....	128
• TABLA V.11: Resultados obtenidos en el cálculo de pavimentos con aplicación de geomalla biaxial.	128
• TABLA V.12: Espesores obtenidos y sin redondear de la carretera Arapa – Dv. Huancané. Tramo I.....	129
• TABLA V.13: Espesores obtenidos debido a la inclusión de la geomalla biaxial.	132
• TABLA V.14: costos de construcción iniciales.....	146
• TABLA V.15: Años de actividad y costos por intervalo.	146
• TABLA V.16: Costos de ciclo de vida.....	147
• TABLA V.17: Elaboración de la prueba de hipótesis específica.	148
• TABLA VI.1: Selección del tipo de material de la geomalla biaxial.....	151
• TABLA VI.2: Tipos de geomalla biaxial.....	152
• TABLA VI.3: Propiedades de la geomalla biaxial que afectan en su comportamiento.....	152
• TABLA VI.4: Propiedades mecánicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB 40.....	153
• TABLA VI.5: Resumen de ensayos de CBR con aplicación de geomallas biaxiales.....	154
• TABLA VI.6: Características fisico-mecánicas de la Subbase.	155
• TABLA VI.7: Resumen del análisis final de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla biaxial. Carretera Arapa – Dv. Huancané. Tramo I.....	155
• TABLA VI.8: Resumen del análisis de costo de la subbase granular debido a la inclusión de la geomalla biaxial (e=5cm) y sin geomalla (e=20cm).....	157
• TABLA VI.9: Costo de la capa subbase (e=20cm) de toda la carretera Dv. Huancané – Chupa.	158
• TABLA VI.10: Análisis de costo unitario de la partida subbase (e=20cm) de la carretera Dv. Huancané – Chupa	158
• TABLA VI.11: Análisis de costo unitario de la subpartida agua para la obra de la carretera Dv. Huancané – Chupa	158
• TABLA VI.12: Análisis de costo unitario de la subpartida material granular para subbase de la carretera Dv. Huancané – Chupa	159
• TABLA VI.13: Análisis de costo unitario de la subpartida carguío – material granular de la carretera Dv. Huancané – Chupa	159
• TABLA VI.14: Análisis de costo unitario de la subpartida zarandeo de la carretera Dv. Huancané – Chupa	159
• TABLA VI.15: Análisis de costo unitario de la subpartida extracción de cantera y apilamiento de material para subbase de la carretera Dv. Huancané – Chupa.....	160
• TABLA VI.16: Costo de transporte de material granular para la subbase de e=20cm para las distancias de <= 1km y para distancias > 1km.	160
• TABLA VI.17: Análisis de costo unitario de la partida transporte de material subbase para D<=1km de la carretera Dv. Huancané – Chupa.....	161
• TABLA VI.18: Análisis de costo unitario de la partida transporte de material subbase para D>1km de la carretera Dv. Huancané – Chupa.....	161

• TABLA VI.19: Costo de la subbase de $e=5\text{cm}$ aplicando la geomalla biaxial a la carretera Dv. Huancané – Chupa.	161
• TABLA VI.20: costo unitario de la base granular ($e=5\text{cm}$) con incorporación de geomalla biaxial	163
• TABLA VI.21: Análisis de costos unitarios de geomalla biaxial.	163
• TABLA VI.22: Calculo de flete de la geomalla biaxial.....	164
• TABLA VI.23: Hoja de metrados de la subbase $e=5\text{cm}$	165
• TABLA VI.24: Costo de transporte de subbase ($e=0.05\text{m}$) para distancias $\leq 1\text{km}$ y para distancias $> 1\text{km}$. de acuerdo a la influencia de la geomalla biaxial.	166
• TABLA VI.25: Reducción del impacto ambiental.	166
• TABLA VI.26: Resumen del análisis de tiempo de ejecución tradicional y ejecución con geomalla biaxial.	167
• TABLA VI.27: Resumen del análisis de ahorro de tiempo mediante de barra de tiempos.	167
• TABLA VI.28: Tiempo de ejecución de cada partida.	168
• TABLA VI.29: Tiempo influyente de la subbase ($e=0.20\text{m}$) y transporte en el cronograma de obra.....	168
• TABLA VI.30: Tiempo de ejecución de cada partida con influencia de la geomalla.	169
• TABLA VI.31: Tiempo influyente de la subbase ($e=0.05\text{m}$) y transporte en el cronograma de obra.....	170
• TABLA VI.32: Reducción de explotación de canteras.	171

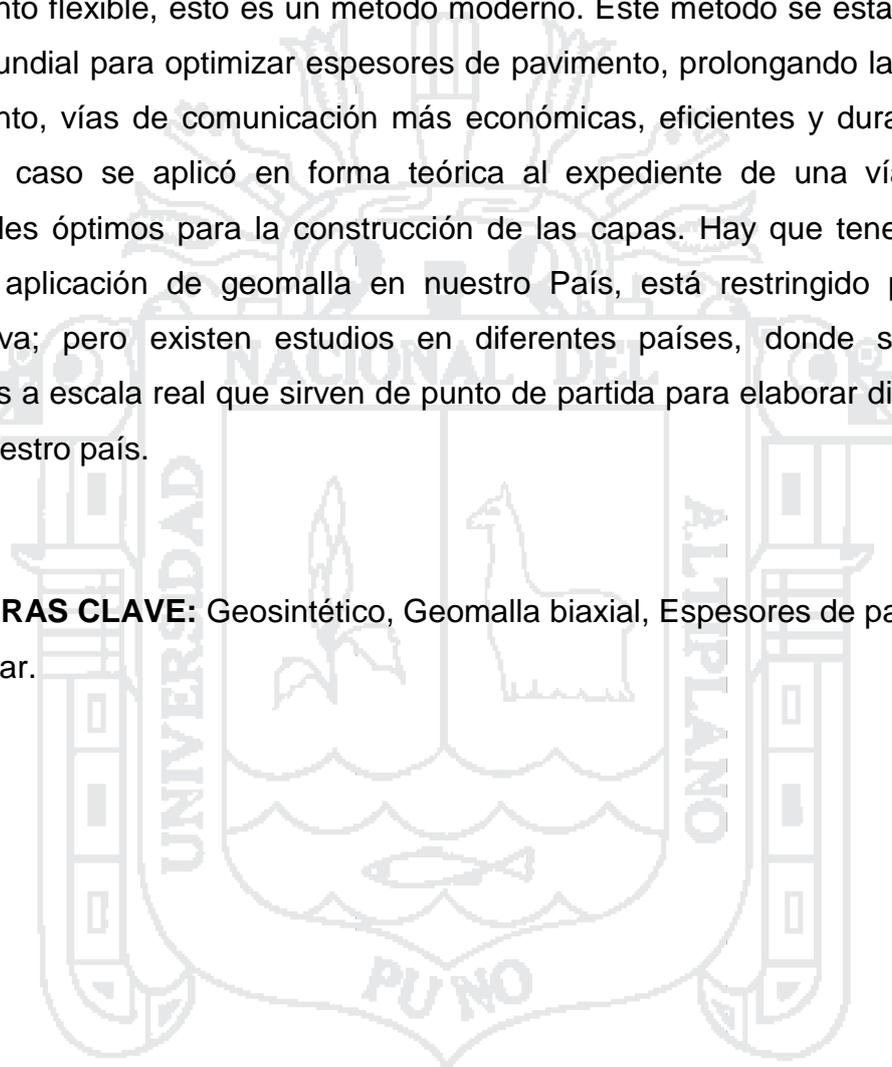
ABREVIATURA

- AASHTO: American Association of State Highway, and Transportation Officials.
- FEC: factor de equivalencia de carga.
- ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- PSI: índice de serviciabilidad.
- ESAL: número de ejes equivalentes.
- LCR: Relación del Coeficiente de Capa.
- SN: número estructural.
- CBR: Relación de soporte de California.
- TIF: Traffic Improvement Ratio.
- PEAD: polietileno de alta densidad.
- PEBD: polietileno baja densidad.

RESUMEN.

El presente trabajo consiste en el análisis del uso de geosintético (geomalla biaxial), como refuerzo de subbase granular dentro de una estructura de pavimento flexible, esto es un método moderno. Este método se está utilizando a nivel mundial para optimizar espesores de pavimento, prolongando la vida útil del pavimento, vías de comunicación más económicas, eficientes y duraderas; para nuestro caso se aplicó en forma teórica al expediente de una vía que tiene materiales óptimos para la construcción de las capas. Hay que tener en cuenta que la aplicación de geomalla en nuestro País, está restringido por falta de normativa; pero existen estudios en diferentes países, donde se muestran modelos a escala real que sirven de punto de partida para elaborar diseños aptos para nuestro país.

PALABRAS CLAVE: Geosintético, Geomalla biaxial, Espesores de pavimento, Optimizar.



INTRODUCCIÓN.

Este trabajo se basa fundamentalmente en aplicación de geosintético en vías de pavimento flexible. El diseño estructural a aplicar es el de AASHTO 93 tradicional, y la nueva metodología es implementar la geomalla al diseño tradicional de AASHTO 93, este procedimiento se ha estudiado por años, que ha sido tecnificado y normalizado para su utilización incluso en suelos y condiciones climáticas tan difíciles en diferentes países; pero aún no en nuestro País. Ahora al estudiar este método modificado se expondrá una comparación referencial en la que, se demostrarán las bondades de la utilización de geomalla y así incentivar el uso de las mismas por la comunidad de ingenieros.

Los geosintéticos en especial los geotextiles en el caso de las estructuras de vías, cumplen dos funciones esenciales que es de separación y refuerzo; pero tenemos que tener en cuenta cuando podemos aplicar. Por ejemplo en el caso de las estructuras de Pavimento, donde se coloca suelo granular (relleno, subbase, base) sobre suelos finos (subrasante) que se presentan dos procesos en forma simultánea: primero la migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje, y segundo la Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

También una alternativa, en el diseño de pavimentos flexibles se encuentra la geomalla biaxial, utilizada en proyectos de ingeniería pero sobre todo de infraestructura vial como refuerzo de la estructura del pavimento, reduciendo espesores de las capas, prolongando la vida útil de la misma y logrando un pavimento más eficiente; pero hay que tener en cuenta que el diseñador es consciente de la filosofía del diseño, la solución final dependerá del ingeniero.

Para la comprensión de este tema de tesis, se hace fraccionamiento en capítulos, donde se explicara de una manera comprensible; por tal se detalla el contenido de cada capítulo.

- **CAPITULO I. Generalidades:** Este capítulo contiene la información del tema de tesis, como son los antecedentes, aspectos metodológicos, así como las limitaciones.

- **CAPITULO II. Planteamiento del problema, justificación y objetivos:** en este capítulo encontraremos específicamente el planteamiento del problema, justificación y objetivos planteados.
- **CAPITULO III. Marco teórico, hipótesis de la investigación y variables:** Este capítulo es la base de sustento de la teoría, es decir encontraremos el estudio de los refuerzos y deformaciones que genera el vehículo, las fallas más frecuentes de pavimento flexibles, factores a considerar en el cálculo, componentes estructurales del pavimento, geosintéticos, ensayo a escala real de una estructura reforzada con geomalla biaxial, refuerzos en vías con geomallas biaxiales y características de las geomallas biaxiales. También encontraremos la hipótesis de la investigación y variables.
- **CAPITULO IV. Metodología de la investigación:** Este capítulo se basa en el que como se realizara la investigación de tesis, pues encontraremos el tipo y nivel de investigación, descripción del ámbito de estudio, población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, valides y confiabilidad del instrumento y el plan de recolección y procesamiento de datos.
- **CAPITULO V. Exposición de resultados:** en este capítulo se muestra todo los resultados de todas las pruebas realizadas, ya sean teóricas o en laboratorio.
- **CAPITULO V. Análisis De Resultados y Contrastación De Hipótesis:** Este capítulo quizá es uno de los más importantes, porque aquí se muestra la valides o nulidad de todo lo investigado; pues encontramos el análisis estructural de pavimento con y sin geomallas biaxiales, análisis en función de costos y tiempo, y finalmente la contratación de hipótesis.
- **CAPITULO VI. Conclusiones y Recomendaciones:** Este capítulo es final de la tesis en donde se dará la opinión del autor de todo lo investigado.
- **ANEXOS:** Se muestra seis anexos diferentes, donde se muestra los ensayos de laboratorio, las especificaciones técnicas de geomallas, las normas y ensayos de las geomallas y geotextiles, así mismo encontraremos como anexo la carretera a estudiar; el diseño, resumen de análisis de costos y tiempo de ejecución del pavimento flexible de la carretera Dv. Huancané – Chupa “Puno”.

Durante la ejecución de la tesis se incluye figuras y tablas bien elaboradas para que sea lo más entendible posible sobre lo que se quiere explicar con esta tesis.

CAPÍTULO I.

I. GENERALIDADES.

I.1 ANTECEDENTES.

A lo largo de la historia, ha sido de interés para la humanidad aumentar la capacidad soporte de los suelos blandos. Uno de los métodos para lograr esto, consiste en confinar lateralmente el material y suministrarle resistencia a tracción, esto se lograba antiguamente a través de la utilización de ramas trenzadas o colocando troncos en forma perpendicular; pero hoy en día, los geosintéticos (la geomallas biaxiales), son productos ideales para brindar confinamiento lateral y resistencia a tracción. Los tipos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geocompuestos y mantos para control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

En 1926 se dio el primer intento de uso de fibras sintéticas en el refuerzo de una estructura del pavimento, el propulsor de dicho experimento fue el Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos, el ensayo consistió en disponer una gruesa capa de algodón sobre la capa de base de un pavimento flexible, para luego verter asfalto caliente sobre la fibra y protegerlo con una delgada capa de arena, los resultados publicados en 1935, demostraron una reducción de las fallas localizadas y el agrietamiento en la estructura y buenas condiciones de servicio antes que la fibra se deteriorara completamente. La prueba permitió evaluar la influencia de las cargas de tráfico en el desempeño del pavimento, considerando

variables como, área de contacto entre llanta y pavimento, módulo de reacción de la subrasante, espesores de subbase.

En el estudio realizado por la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de el Salvador, en obras viales, los geosintéticos cumplen las funciones de refuerzo, separación, filtración y drenaje, pudiendo cumplir una o varias funciones a la vez, lo que los convierte en una alternativa de solución a problemas que comúnmente se presentan en la construcción de estas obras, como suelos de baja capacidad de soporte, niveles freáticos elevados, restricciones del tamaño de la obra, elevados costo de los materiales, etc. Los geosintéticos presentan ventajas sobre los métodos tradicionales de construcción por su facilidad de colocación, durabilidad, rentabilidad a largo plazo. Además de ellos viene a ser más económico, por el mismo hecho que los geosintéticos tienen un menor costo. (DÍAZ GONZÁLEZ, ESCOBAR VELÁSQUEZ, & OLIVO MARTÍNEZ, Octubre 2009)

La empresa Mexicana (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009), menciona que existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo, consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión.

En un artículo realizado por el Centro De Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata – Argentina. En el año 2008 menciona en el tema, “CARACTERIZACIÓN DE GEOSINTÉTICOS PARA USO VIAL”: Estos productos presentan una serie de ventajas que son la principal causa del aumento del empleo de los mismos en todo el mundo, como la facilidad de puesta en obra, economía de producto, ahorros de tiempos de ejecución, posibilidad de soluciones medioambientales, empleo de mano de obra no calificada y utilización de materiales de calidad verificable. Por esta razón, estos materiales están tomando cada vez más protagonismo en la construcción de las vías de comunicación, este protagonismo no sólo se debe al aumento que este rubro representa en el presupuesto total de las obras, sino también a la importancia de las responsabilidades técnicas para las cuales son diseñados.

En el estudio realizado por la Escuela Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno en el año 2006 menciona en la tesis “ESTUDIO Y DISEÑO DE

UN TERRAPLÉN SOBRE SUELOS BLANDOS REFORZADOS CON GEO SINTÉTICOS EN LA AV. COSTANERA - PUNO” (OCTABIO CHARCA, 2006): la tecnología de los geosintéticos se ha convertido en una alternativa para solucionar los problemas tanto técnicos como económicos de los proyectos de ingeniería, bajo este concepto, en muchas ocasiones de los geosintéticos han sido una solución exitosa; para algunos casos la falta de conocimiento de una metodología de diseño, no permite que los beneficios de estas tecnologías sean aprovechados en su real magnitud.

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas biaxiales, la principal función de las geomallas biaxiales es indiscutiblemente el refuerzo (las geomallas biaxiales generan un incremento en la resistencia al corte del suelo). Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla biaxial, con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo.

El compuesto suelo-geomalla biaxial reduce la resistencia al movimiento, por lo tanto, el uso de las geomallas biaxiales produce una condición de cohesión, inclusive en materiales granulares, el compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo con la tensión de la geomalla biaxial, para crear un sistema que presenta una mayor rigidez y estabilidad que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos. La capacidad que tiene la geomalla biaxiales para distribuir las fuerzas sobre su superficie, incrementan las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas.

Hoy en día las empresas productoras de geosintéticos estudian más sobre la aplicación en pavimentos; pues sus estudios realizados con diferentes pruebas en laboratorio nos dan la conclusión para poder reducir espesores de pavimento (base y subbase), por ende reducir costos; Pero ahora estudiamos un poco más a profundidad este tema, donde elaboraremos un diseño de reducción de espesores con aplicación de geomallas biaxiales.

I.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS.

El presente estudio es sobre la aplicación de geosintéticos para reducir el espesor de la capa estructural de un pavimento flexible, esta aplicación es específicamente con geomallas, para ello en primer lugar se hace un estudio de los métodos de diseño para pavimentos flexibles (aquí seleccionamos el método adecuado para diseñar un pavimento flexible), posteriormente se hace un estudio de las deformaciones que genera un vehículo en un pavimento, así como fallas frecuentes. Seguidamente se hace un estudio de los geosintéticos para poder seleccionar la adecuada (geomallas), así también se hace un estudio del material granular (base y/o subbase). Una vez seleccionado se someterá a pruebas de CBR conjuntamente con material granular a reducir (base y/o subbase), de acuerdo al resultado de CBR se logrará a diseñar las capas del pavimento de acuerdo al método seleccionado inicialmente. Todos estos resultados servirán para poder evaluar los costos y tiempos de la obra en general.

I.3 ALCANCES.

En este estudio de tesis, se llevará a cabo una descripción de las diferentes aplicaciones que tienen los geosintéticos (entre ellas geomallas biaxiales) en la construcción de pavimentos, enfocándonos en las funciones de separación, estabilización, refuerzo y subdrenaje en los diferentes componentes de la estructura de los pavimentos flexibles como la subrasante, la base, la subbase y las carpetas asfálticas.

Existen una gran variedad de productos geosintéticos en el mercado internacional (escaso en nuestro País), sin embargo solo trabajaremos con geomallas biaxiales emitidas por la empresa Maccaferri, el cual nos brinda algunas facilidades para el estudio del tema y porque son los más accesibles. Los geosintéticos, en especial las geomallas biaxiales principalmente tienen las siguientes aplicaciones:

- Se aplicará en el diseño de espesores de la base y subbase de pavimentos flexibles, donde el material de construcción sea buena, para poder reducir el espesor.
- Se aplicará en espesores de la base y subbase de pavimento flexible, donde el material construcción sea mala, para poder estabilizar dicho material y así conservando el diseño de espesor inicial.

- Sera útil para poder reducir costo y tiempo en el proceso constructivo de un pavimento flexible.

Pues, este trabajo está orientada al mejoramiento del desarrollo alterno de las estructuras de base y subbase, utilizando especialmente las geomallas biaxiales, para la ejecución del proyecto carretero, donde se realizaran ensayos de laboratorio que nos demuestran que las geomallas biaxiales son aptos para su uso en pavimentos flexibles.

I.4 LIMITACIONES.

En los mercados de nuestro país, no se venden geosintéticos (geomallas biaxiales) en pequeñas cantidades (lo que se necesita para el estudio de esta tesis); pues las empresas solo producen y venden por lotes mayores a 50 metros lineales.

En el Perú no existe aún una normatividad sobre el uso de geomallas, lo que limita a ser aplicado en solo en tramos experimentales.

En los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Civil de la UNA - Puno, no existen equipos para ensayar las características de los geosintéticos (geomallas biaxiales), lo que nos incita a tomar las características físico-mecánicas de las especificaciones brindadas por empresas fabricantes.

En el país y sobre todo en la región, el uso de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos es escaso, se cuenta con pocas experiencias que permita mostrar aplicaciones realizadas en el medio.

CAPÍTULO II.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.

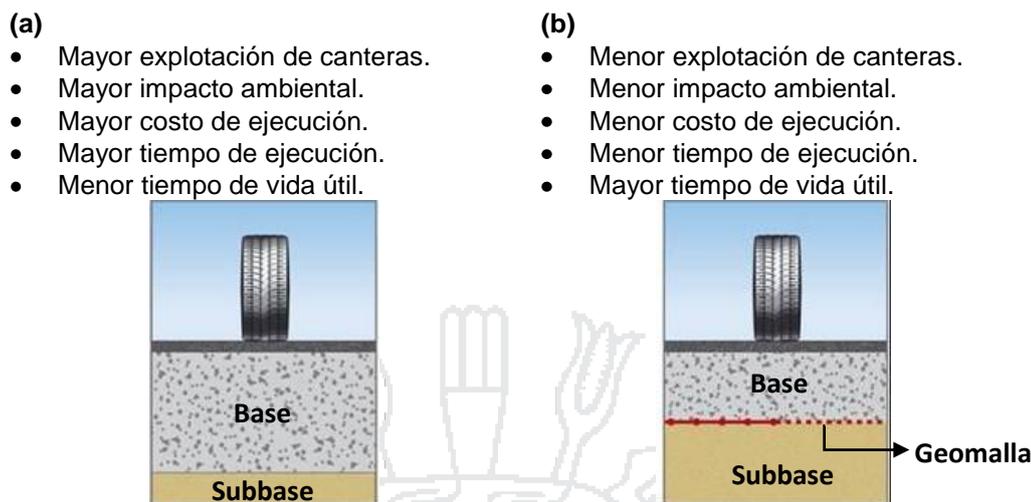
II.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Hoy en día para mantener las vías de comunicación en condiciones óptimas, es necesario contar con un buen diseño y realizar una buena construcción de la estructura de un pavimento flexible, (la base y subbase); que nos brinde dar seguridad, comodidad y disminuir los costos de operación.

Sin embargo la mayoría de empresas constructoras de pavimentos, cuentan con una guía de proceso constructivo para las capas de base y subbase que está fundamentada en los resultados del experimento vial de la AASHTO 93.

Es cierto que la guía de procesos constructivos ha resultado casi óptima para la construcción y estabilización de los diferentes tipos de suelos en el Perú; pero atravesamos por un periodo de optimización de los recursos donde se busca dar seguridad, economía y calidad de una manera más eficiente. Hoy en día, hacemos hincapié a uso de los geosintéticos (geomallas biaxiales), ya que estos tienen muchas propiedades mecánica y físicas que ayudan a una mejor estabilización de suelos, y con el conocimiento de dichos propiedades, se puede lograr una comparación entre las alternativas constructivas tradicionales y la construcción con el uso de geosintéticos (geomallas biaxiales).

Los geosintéticos se han utilizado desde hace varios años en obras de ingeniería civil como protección de taludes, obras de drenaje, rellenos sanitarios, etc. Sin embargo, en el país, su uso en carreteras ha sido escaso.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA II.1: (a) Pavimento convencional (sin optimizar); (b) Pavimento con geosintético (optimizado).

En la construcción de pavimentos, muchas veces, no se logra a optimizar los materiales, el tiempo, la economía, etc.; en tal sentido todo lo mencionado, nos exhorta a buscar los diferentes diseños de espesores de bases, sub base, terraplenes. En la figura II.1. (a) se aprecia un mayor espesor de pavimento lo cual genera mayor explotación de canteras, más tiempo de ejecución, por ende la elevación de costos en la construcción de pavimento.

Con el diseño de pavimentos flexibles utilizando geomallas biaxiales (geosintéticos) se pretende solucionar los problemas que se presentan durante el proceso constructivo de pavimentos sobre subrasante de baja calidad y los problemas que genera el no tener a disposición material (canteras lejanas), proponiéndose diseños con espesores menores que brinden igual capacidad estructural e incluso económicamente más factible. Lo que nos lleva a plantear las interrogantes:

II.1.1 Problema general.

- ¿Cómo influye, el uso de los geosintéticos en la optimización de diseño de espesores, en el costo, en el tiempo de construcción de la base y subbase, y que consecuencias positivas y negativas generará en la aplicación en carreteras?

II.1.2 Problema específico.

- ¿Será suficiente la teoría y los ensayos de laboratorio para su clasificación, aplicación y conocimiento de las propiedades físicas-mecánicas de los geosintéticos para el empleo de la base y subbase de una carretera?
- ¿Cuál será la variabilidad del costo y el tiempo en el proceso constructivo de bases y subbase, confrontando las alternativas de construcción tradicionales y la construcción con el uso de geosintéticos en carreteras?
- ¿Cuál será las consecuencias positivas y negativas del uso de los geosintéticos en la base y subbase que vayan generar en el corto, mediano y largo plazo de la construcción de carreteras?

II.2 OBJETIVOS.

II.2.1 Objetivo General.

- Evaluar el espesor de la base y subbase de una carretera con la aplicación de geosintéticos, conociendo sus propiedades físico-mecánicas, y así optimizar el costo, el tiempo de construcción, analizando la consecuencia positiva y negativa que generará a lo largo del tiempo.

II.2.2 Objetivo Específico.

- Estudiar su clasificación, aplicación y propiedades físicas-mecánicas mediante ensayos de laboratorio de los diferentes geosintéticos en la construcción de la base y subbase de una carretera para mejorar la calidad se suelos.
- Evaluar y optimizar el costo y el tiempo del proceso constructivo de bases y subbase con alternativas de construcción tradicionales y la construcción con el uso de geosintéticos en carreteras.
- Evaluar las consecuencias positivas y negativas del uso de los geosintéticos en la base y subbase que vayan generar en el corto, mediano y largo plazo de la construcción de carreteras.

II.3 JUSTIFICACIÓN.

Al transcurrir los años, a menudo en la construcción de pavimentos nos encontramos con problemas tales como suelos de mala calidad, afloramientos o

niveles freáticos superficiales que conlleven a suelos saturados, restricciones en cuanto al tamaño de la obra, para los cuales existen soluciones que no son económicamente las más favorables; pues tenemos que tener en cuenta que no es lo mismo diseñar un pavimento en la Costa, que en el altiplano o en la zona de selva, se debe recordar que en esta última zona, la red vial es exigua frente a las de otras regiones y que los suelos en cada una de ellas son totalmente diferentes, al punto que en algunos casos se necesita de ensayos de resistencia al esfuerzo cortante y otros hasta de consolidación para medir asentamientos de la estructura del pavimento; aunque estos ensayos especiales se asocian mejor a la historia de las estructuras de concreto armado. La tabla II.1 presenta analogías entre parámetros usados para el diseño, tanto de un pavimento como de una edificación, en la cual se aprecia que un pavimento, como estructura, relaciona a la capacidad de soporte del suelo para determinar su espesor.

TABLA II.1: Analogía de componente estructural entre pavimento y edificación.

N°	Componente.	(a). Pavimento. 	(b). Edificio. 
1	Solicitaciones de carga.	Peso del vehículo, etc.	Carga muerta, carga viva, carga por sismo, etc.
2	Apoyo.	Subrasante.	Suelo de cimentación.
3	Ensayos de esfuerzo cortante.	CBR.	Corte directo, triaxial, compresión simple.
4	Parámetros mecánicos.	Número de CBR	Cohesión, ángulo de fricción interna.
5	Características físicas.	Partículas, Limite líquido, limite plástico, granulometría, contenido de humedad.	Peso específico.
6	Parámetro final de transformación.	Numero estructural (SN) a capas componentes. (geomallas biaxiales)	Número de varillas.

Fuente: (GUTIÉRREZ LÁZARES, 2007).

Pero hoy en día, en base a lo anterior, se usa, materiales muy económicos y duraderos, como es el uso de geosintéticos, pues estos, en nuestro medio están enfocado a obras de estabilización de taludes, subdrenajes y algunas obras especiales como los pasos a nivel y muros estabilizados.

Sin embargo en nuestro medio poco se conoce acerca de que estos materiales pueden utilizarse en la estructura del pavimento para ayudar a mejorar las

propiedades de suelos de baja capacidad de soporte o reducir espesores estructurales, servir como una separación para evitar la mezcla de las diferentes capas del pavimento mejorando la vida útil de los mismos, o permitirnos la construcción en áreas donde la saturación de los suelos impida la movilización del equipo pesado; proporcionándonos la estabilización necesaria para realizar estos trabajos. Además el uso de geosintéticos permite lograr un mejor aprovechamiento de suelos; por esto se propone la aplicación de los geosintéticos (geomallas biaxiales) no como estabilizadores, sino como sistema estructural que nos ayudara a la reducción de base y subbase en la construcción de pavimentos, y reducir costos y tiempo de ejecución e indirectamente conlleva a la reducción de la explotación de canteras y minimizar el impacto ambiental.

- Justificación técnica: Los geosintéticos (geomallas biaxiales) tienen propiedades físico-mecánicas muy excelentes que son duraderas (así lo demuestran los ensayos realizados por empresas que los fabrican, ver anexo 02 y anexo 03), además de ello, los geosintéticos son elaborados por diferentes tipos de polímeros que estos a su vez llegan a hacer económicos y de fácil uso, no requiriendo mano calificada para su aplicación de construcción de carreteras.
- Justificación económica: Con la aplicación de geosintéticos (geomallas biaxiales), la construcción de pavimento se hace más económico (menos horas máquina, menos explotación de canteras, menos tiempo y además de ello los geosintéticos (geomallas biaxiales) son económicos.
- Justificación académica: El tema de la aplicación de geosintéticos en general, es un tema muy amplio, pues existen diferentes tipos de geosintéticos que actúan estructuralmente, así como también existe métodos en estudio para aplicar en diseño de pavimentos flexibles, muchas veces mejorando y así reduciendo la capas base y subbase, el cual debe ser un motivo de estudio.
- Justificación social: Al aplicar los geosintéticos (geomallas biaxiales) en un pavimento, surge indirectamente la reducción de explotación de canteras, y esto beneficia a la sociedad, por el simple hecho de lograr un menor impacto ambiental. También en la aplicación de geosintéticos (geomallas biaxiales), genera el uso de mano de obra no calificada (la aplicación puede hacer cualquier personal obrero de la zona).

CAPÍTULO III.

III. MARCO TEÓRICO, HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN Y VARIABLES.

III.1 MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS.

Para hacer un diseño de pavimentos en carreteras, existen distintos métodos de diseño, por lo cual se debe estudiar y seleccionar el método más adecuado. Por ese entonces, el más adecuado para este estudio de tesis es el método de la AASHTO 93 a comparación de los otros métodos. Se selecciona este método (AASHTO 93) porque en su diseño ofrece una facilidad de variabilidad en espesores de acuerdo a su función estructural de la capa (base, subbase).

III.1.1 Método AASHTO 1993 para pavimentos flexibles.

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois donde los suelos y climas son típicos para gran parte de Estados Unidos, esto con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas. A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original. (SALAMANCA NIÑO, MARÍA ANGÉLICA ; ZULUAGA BAUTISTA, SANTIAGO ARTURO;, 2014).

El método AASHTO 1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que hace referencia a la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación de soporte del suelo (M_R), tránsito total (W_{18}), de la serviciabilidad terminal y de las condiciones ambientales. Para determinar el número estructural, el método se apoya en la ecuación III.1:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} SN + 1 - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07 \quad (\text{III.1})$$

Donde:

- W_{18} = número de aplicaciones de ejes simples equivalentes de 18 kip (80 kN).
- SN = número estructural.
- ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal.
- M_R = módulo resiliente de la subrasante (libras/pulg²).
- S_0 = desviación estándar total de la distribución normal de los errores asociados con las predicciones de tránsito y de comportamiento del pavimento (0.44-0.49)
- Z_R = parámetro estadístico asociado con distribuciones normales de datos, que considera la probabilidad de que el índice de servicio del pavimento sea superior a p_t durante el periodo de diseño.

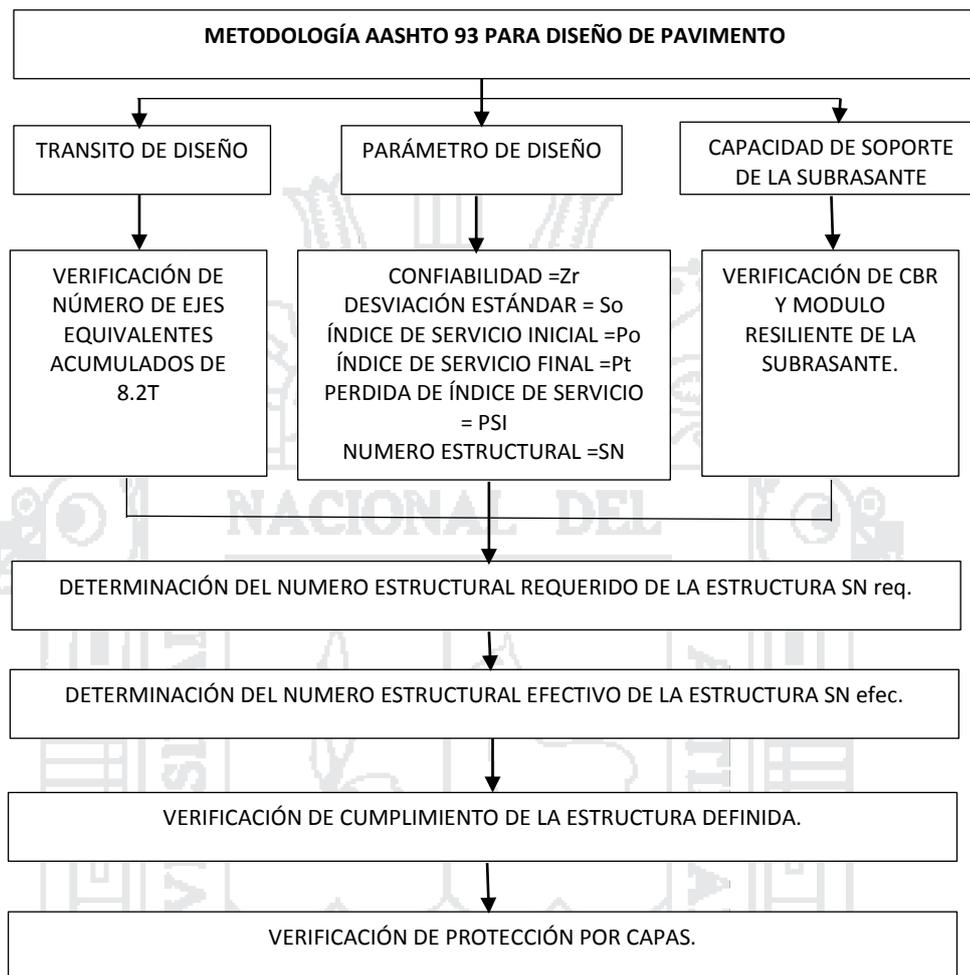
Una vez determinado el número estructural requerido se busca un conjunto de espesores que combinados adecuadamente y teniendo en cuenta parámetros como los coeficientes estructurales y de drenajes garanticen un número estructural efectivo mayor o igual al requerido para soportar las solicitaciones de tránsito esperadas en el periodo de diseño. El número estructural efectivo se determina por medio de la ecuación III.2:

$$SN = a_1 D_1 \times a_2 D_2 m_2 \times a_3 D_3 m_3 \quad (\text{III.2})$$

Donde:

- a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de la capa asfáltica, base granular y subbase granular (Pulg.)
- D_1, D_2, D_3 : Espesores de la capa asfáltica, base granular y subbase granular (Pulg.)
- m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje para base granular y subbase granular.

METODO AASHTO 93 PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.



Fuente: (SALAMANCA NIÑO, MARÍA ANGÉLICA ; ZULUAGA BAUTISTA, SANTIAGO ARTURO;, 2014).

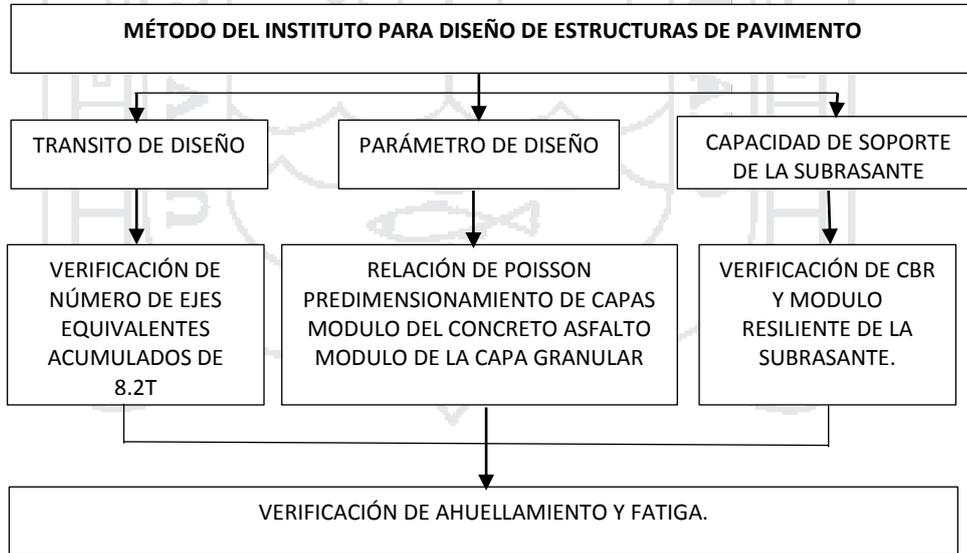
FIGURA III.1: Metodo de diseño general de la AASHTO 93.

III.1.2 Métodos del Instituto del Asfalto para pavimentos flexibles.

El método del Instituto Asfalto considera al pavimento como un sistema elástico multicapa (Capa de rodadura y base de concreto asfáltico, capa de rodadura bases con emulsiones asfálticas, así como capa de rodadura asfáltica con base y subbase granulares), en los cuales se utilizan conceptos teóricos, experimentales, resultados de ensayos de laboratorios y programas de computador que permiten optimizar los espesores de estructura de pavimento y el chequeo del cumplimiento de los criterios de fatiga y ahuellamiento. El dimensionamiento de la estructura de pavimento que se diseñe debe cumplir que las deformaciones por tracción producidas en la fibra inferior de las capas

asfálticas y las deformaciones verticales por compresión en la parte superior de la subrasante no superen los valores admisibles dados por el tránsito de diseño que debe soportar la estructura para el periodo de servicio definido. El primer parámetro a evaluar para el diseño es el Modulo Resiliente (Mr) el cual cuantifica la capacidad de soporte de la subrasante y en este trabajo se utilizara como $100 * CBR$ de cada tramo homogéneo, posteriormente se estima el número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 Ton, esperado en el carril de diseño durante el periodo de diseño, posteriormente se calculan los módulos de la mezcla asfáltica y de la capa granular donde se requiere conocer el tipo de asfalto a utilizar, los espesores de la estructura de pavimento y la temperatura de la zona. Consecutivamente se hace el chequeo por ahuellamiento y fisuramiento de la estructura donde se verifica que los ejes equivalentes de diseño no superen los admisibles. (SALAMANCA NIÑO, MARÍA ANGÉLICA ; ZULUAGA BAUTISTA, SANTIAGO ARTURO;, 2014)

MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.



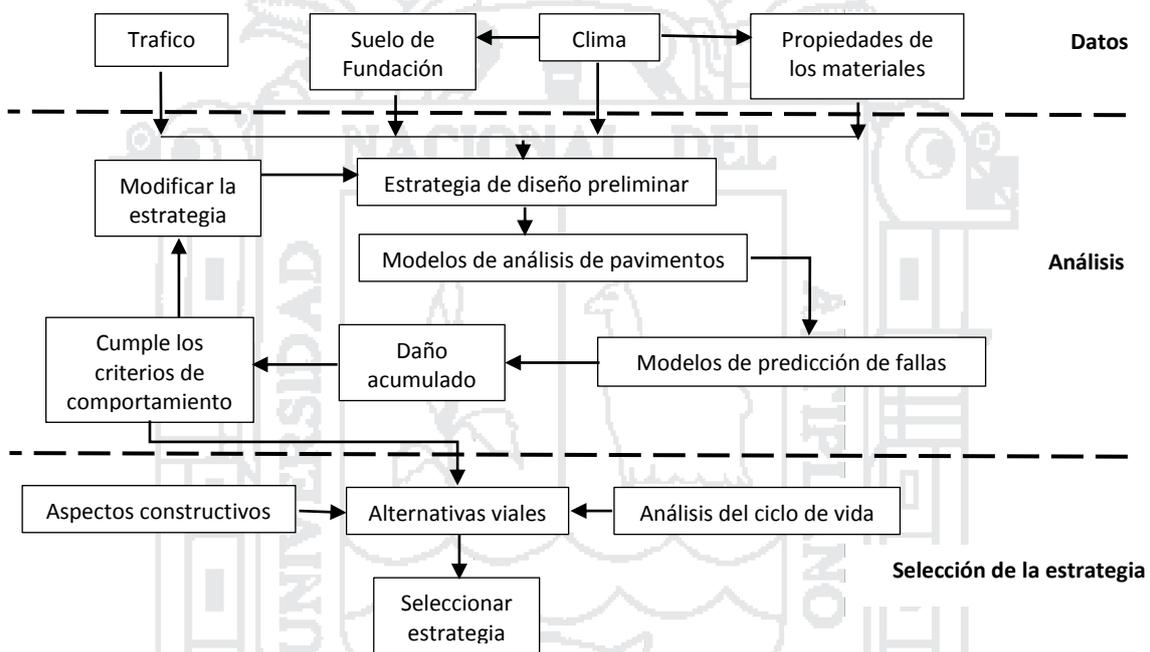
Fuente: (SALAMANCA NIÑO, MARÍA ANGÉLICA ; ZULUAGA BAUTISTA, SANTIAGO ARTURO;, 2014).

FIGURA III.2: Método de diseño del instituto del asfalto.

III.1.3 Método del NCHRP 1-37^a

La metodología de diseño de la guía norteamericana es del tipo empírico-mecanicista y requiere de una aproximación práctica e iterativa de parte del diseñador, el cual debe seleccionar un diseño preliminar para luego analizarlo en detalle para determinar si éste se ajusta a los criterios de desempeño establecidos.

MÉTODO DEL NCHRP 1-37^a PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.



Fuente: (M.Sc. Ing. MENENDEZ ACURIO, Diciembre 2009)

FIGURA III.3: Método de diseño del NCHRP.

III.2 ESTUDIO DE LOS ESFUERZOS Y DEFORMACIONES QUE GENERA EL VEHÍCULO.

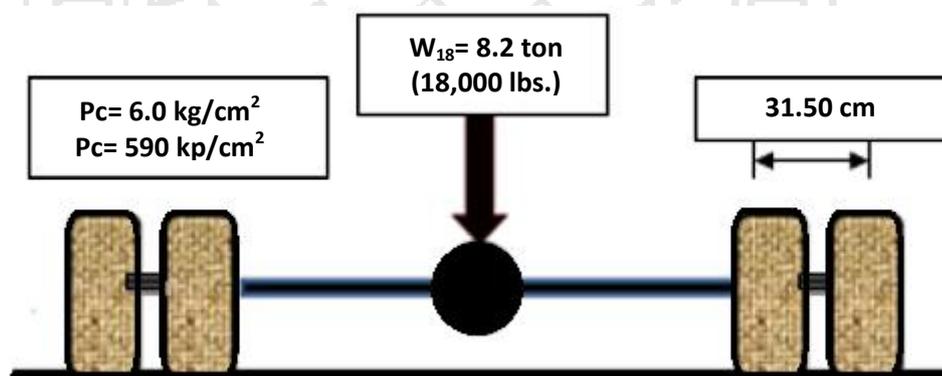
El vehículo es el nexo entre el conductor que lo maneja y la vía que lo soporta, por lo que el estudio de sus características y comportamiento es fundamental. Los vehículos que se fabrican en la actualidad están destinados a distintos usos, por lo que sus características varían dentro de una amplia gama de formas, tamaños y pesos.

III.2.1 Peso del vehículo y su transmisión de carga.

La carga de vehículos pesados, en especial el eje estándar, conforme a la concepción de la AASHTO 93, se define como aquel constituido por un arreglo de ruedas sencillas (dos llantas adosadas en cada extremo), que transmite a la superficie del pavimento una descarga total de 8.2 ton (18,000 lbs), cuando la presión de inflado de sus neumáticos es de aprox. 5.8 kg/cm² (577 kpa). (Ver figura III.4) (LIZÁRRAGA LÓPEZ, Octubre 2013)

El factor de equivalencia de carga (FEC), se define como el daño ocasionado sobre el pavimento, en cuestión de relación a los daños causados por la carga de eje estándar.

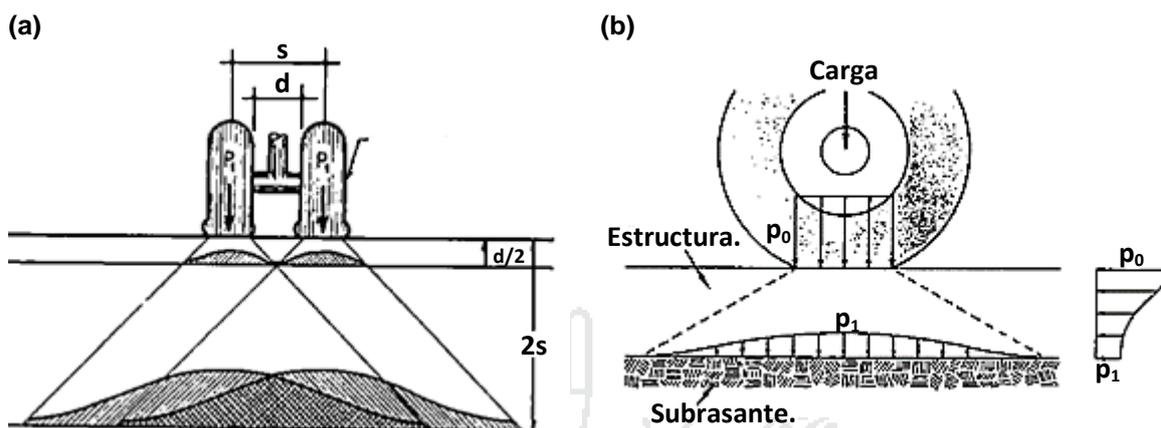
Asimismo, con el propósito de homologar las cargas y presiones de inflado, el tránsito real en una determinada carretera se ha constituido por diversos tipos de vehículos con diferentes arreglos en sus ruedas. La magnitud y distribución del peso del vehículo así como de la carga que transporta, determina junto con las características mecánicas de los neumáticos, la forma de transmisión de la totalidad de las cargas a la base. Ahora resaltaremos algunos ítems importantes para un mejor estudio y entendimiento.



Fuente: (LIZÁRRAGA LÓPEZ, Octubre 2013)

FIGURA III.4: Parámetros de caracterización de carga de la AASHTO 93.

- El aplastamiento del neumático es proporcional a la carga. Esta relación aplastamiento/carga se denomina rigidez del neumático, y su valor medio para neumáticos de baja presión es de 5 mm. por cada 100 kg. (ver figura III.5.)



Fuente: (FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES, Julio 2010).

FIGURA III.5: Comportamiento y respuestas del pavimento frente a cargas. (a) Vista frontal; (b) Vista lateral.

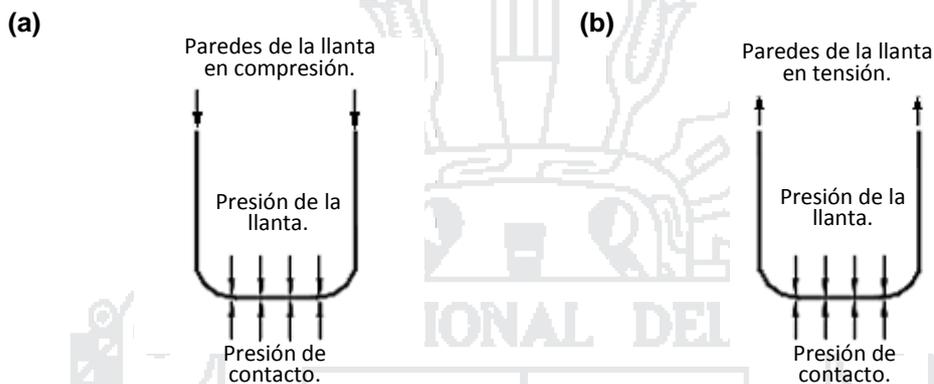
- El neumático, debido a la deformabilidad del caucho, provoca esfuerzos de cizalladura; éstos son las responsables del desgaste de los neumáticos en las calzadas, además son generadores de ruido.
- Para una misma carga, las distintas presiones de inflado suponen un reparto diferente de las tensiones a lo largo de la superficie de contacto.
- La presión media aplicada sobre la calzada es constante y sensiblemente igual a la presión de inflado del neumático. Esto no es del todo cierto, aunque puede aplicarse esta simplificación para el cálculo de bases.

Por lo tanto, una mayor carga de proyecto exigirá un mayor espesor de la capa de base para distribuir correctamente los esfuerzos. De esta afirmación se deduce que:

- El vehículo ligero no ejerce solicitaciones importantes en la base.
- El vehículo pesado es el que somete a la carretera a mayores tensiones.

En los métodos de diseño, necesario conocer el área de contacto de la llanta con el pavimento, el tamaño del área de contacto depende de la presión de contacto. la presión de contacto es más grande que la presión de la llanta para presiones bajas de la llanta, ver figura III.6.(a), debido que la pared de la misma está en compresión y la suma de las fuerzas verticales de la pared y presión de la llanta deben ser iguales, fuerza debido a la presión de contacto; la presión de contacto es más pequeña que la presión de la llanta para presiones altas de

las llantas, ver figura III.6.(b), debido a que la pared de la llanta está en tensión. Sin embargo, en el diseño de pavimentos la presión de contacto generalmente se asume igual a la presión de la llanta, debido a que los ejes de carga pesados tienen presiones altas y efectos más destructivos en el pavimento, al utilizar la presión de llanta como presión de contacto es estar por el lado de la seguridad. (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).



Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

FIGURA III.6: Relación entre la presión de contacto y la presión de la llanta. (a) Baja presión; (b) Alta presión.

Cabe describir que dichas solicitaciones no crecen proporcionalmente a la carga aplicada, sino que lo hacen exponencialmente, debido a las características mecánicas del material que constituye la base. Una consecuencia inmediata es el rápido acortamiento de la vida útil de la carretera en el caso de que circulen vehículos con cargas por eje superiores a las fijadas.

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

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

Fuente: Ingeniera de Pavimentos, (Menendez, 2009)

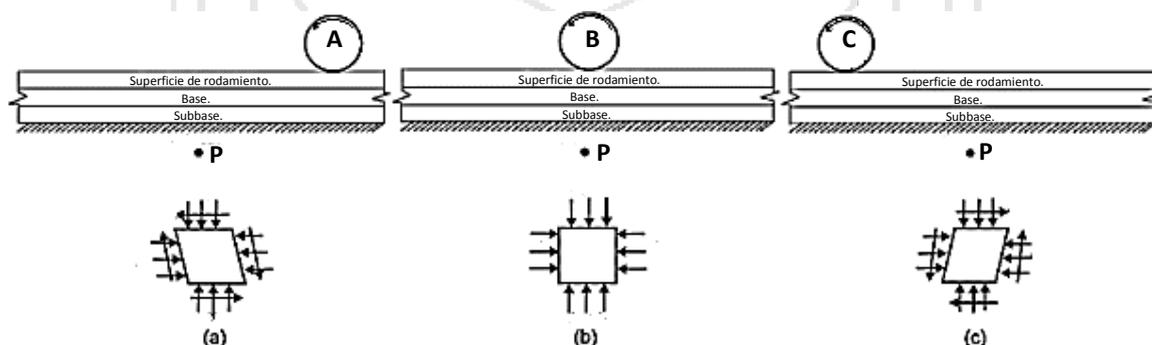
FIGURA III.7: Cargas máximas por eje.

Otro aspecto desfavorable es el continuo proceso de carga y descarga producido por el paso de vehículos, que produce la fatiga del material que conforma la calzada, acelerando el deterioro de la base. Otro punto importante, debemos tener en cuenta los pesos máximos por eje independiente o grupos de ejes permitidos a los vehículos para su circulación por las vías de nuestro país (ver figura III.7.):

III.2.2 Naturaleza cíclica de cargas que actúan en un pavimento.

Los materiales que constituyen los pavimentos, se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tránsito vehicular. La figura III.8 muestra el esquema de una sección longitudinal de las capas de un pavimento, sobre la cual una carga se mueve a velocidad constante.

El estado de esfuerzos experimentado por el punto P (debido a la carga en el punto A) se puede observar en la figura III.8. (a); en este punto actúan tanto esfuerzos normales como esfuerzos cortantes. Cuando la carga se mueve al punto B, los esfuerzos cortantes son nulos y únicamente actúan los esfuerzos normales, como se presenta en la figura III.8. (b); en este punto se tiene un estado triaxial de esfuerzos, debido a que se presentan sólo esfuerzos normales. La dirección de los esfuerzos cortantes originados en el punto C es contraria a la dirección de los esfuerzos originados en el punto A, como se muestra en la figura III.8(c).



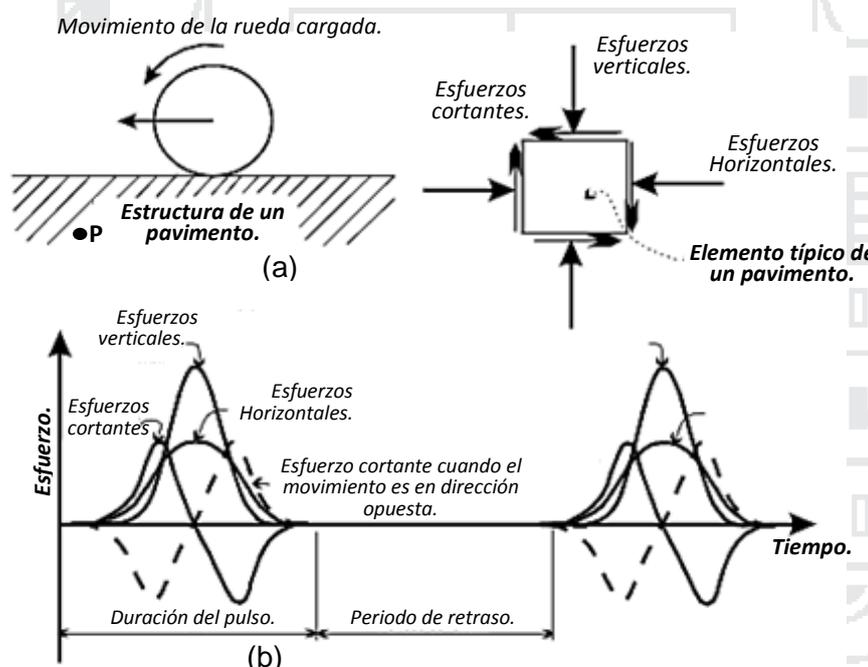
Fuente: (NAVARRETE SARAIVA, Agosto 2008).

FIGURA III.8: Estado de esfuerzo en la subrasante.

En laboratorio se realizan pruebas triaxiales simulando la condición B tratando de reproducir las condiciones más desfavorables. Durante las pruebas debe aplicarse una presión de confinamiento que varíe con el esfuerzo desviador; sin

embargo, es difícil simular en laboratorio este cambio, por lo que la presión de confinamiento se mantiene constante y el esfuerzo desviador es el que se aplica en forma repetida. (NAVARRETE SARAVIA, Agosto 2008)

Los neumáticos de los vehículos se apoyan sobre el pavimento produciendo una huella de forma distinta para cada tipo de neumático, presión de inflado, carga por rueda, velocidad y estado de la superficie. Cuando está en movimiento, además de variar la forma de la huella, aparecen solicitaciones distintas a las verticales, que son las que existen cuando el vehículo está detenido; Cuando tiene un movimiento uniforme, aparecen esfuerzos horizontales debido al rozamiento y a los cambios de trayectoria, succiones de agua contenida en la sección estructural y esfuerzos verticales de impacto por efectos del movimiento del vehículo y las irregularidades de la carretera.



Fuente: (NAVARRETE SARAVIA, Agosto 2008).

FIGURA III.9: Pulsaciones de carga originarias por el movimiento del tránsito.

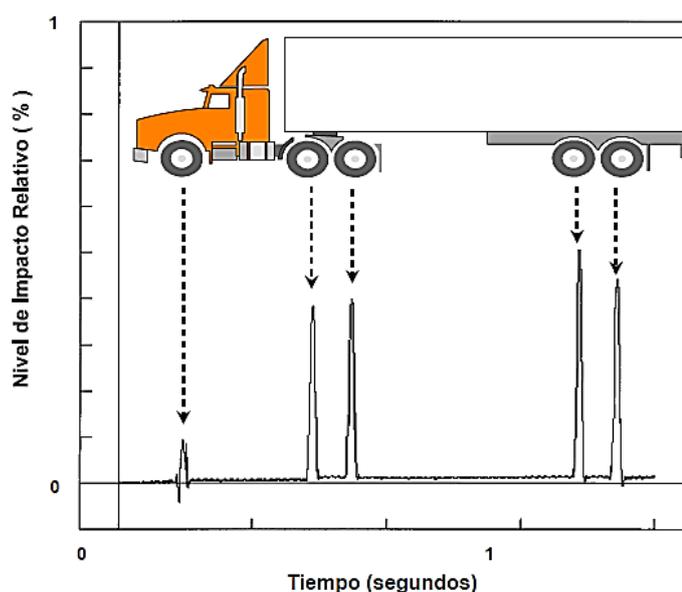
Los esfuerzos horizontales de aceleración, frenado o en curvas de pequeño radio, que se pueden producir en zonas localizadas, influyen también en el estado de esfuerzos y deformaciones del pavimento. Los efectos dinámicos de los vehículos en movimiento se transforman en impactos y vibraciones en los que intervienen el estado superficial del pavimento y el tipo de suspensión del vehículo. En general, los vehículos en marcha transmiten al neumático una carga de magnitud variable,

según el movimiento oscilatorio de la masa suspendida, cuya frecuencia varía con la velocidad y tipo de pavimento. (NAVARRETE SARAVIA, Agosto 2008).

En la figura III.9.(b) muestra una rueda cargada que avanza y producen pulsaciones de los esfuerzos verticales y horizontales, que son acompañados de una doble pulsación del esfuerzo cortante con una señal contraria en el plano horizontal y vertical, se muestra también la relación entre el esfuerzo y el tiempo. A medida que el vehículo se va acercando al punto P ver figura III.8.(b) y figura III.9.(a), el esfuerzo cortante se incrementa hasta llegar a un máximo para luego decrecer hasta un valor de cero (en el momento en que el esfuerzo vertical es el máximo); luego se incrementa nuevamente (pero ahora con signo contrario, hasta lograr un máximo negativo, para después decrecer y llegar a un cero; describiendo con este comportamiento una onda senoidal completa.

III.2.3 Medición del nivel de impacto sobre el pavimento.

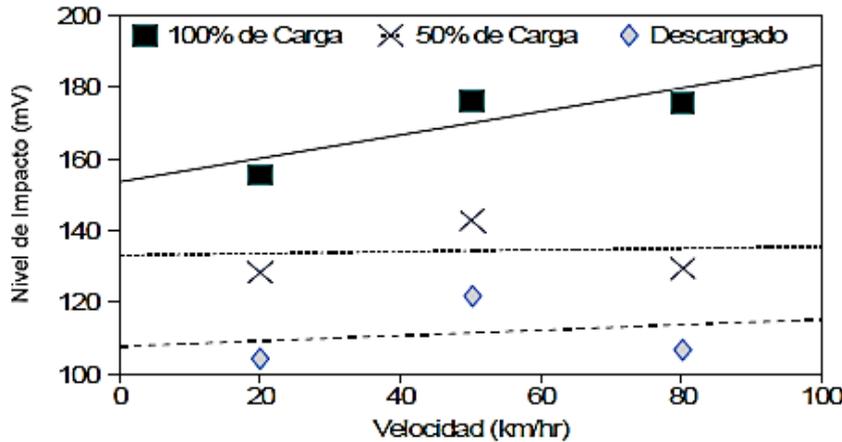
- COMO FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD:** Para el desarrollo de esta prueba se utilizó un sensor de impacto de tipo resistivo. Se llevaron a cabo una serie de pruebas a tres velocidades y tres niveles de carga, la prueba de cada combinación carga - velocidad, fue realizada seis veces (ver figura III.11), de tal forma que se obtuvo un valor promedio para cada tipo de condiciones. (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).



Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

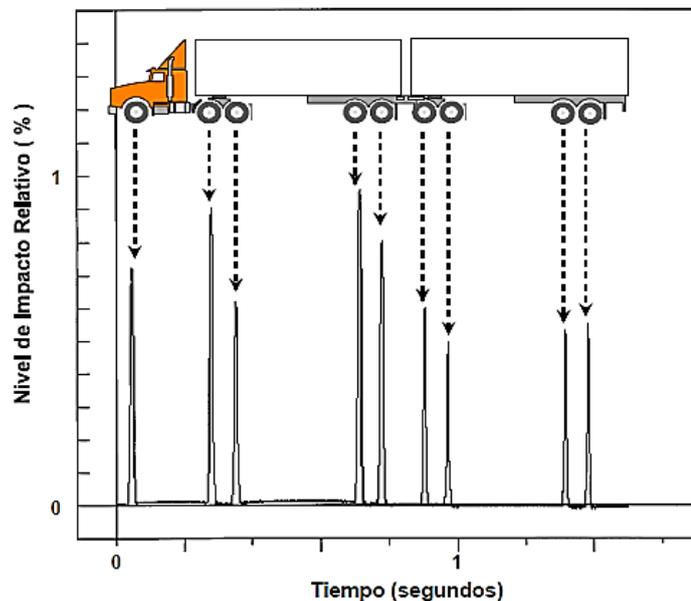
FIGURA III.10: Señal de salida típica del sensor de impacto.

La figura III.10 muestra una señal de salida típica para el dispositivo de impacto, para una velocidad de 50 km/h y 100% de carga. Los valores de impacto mostrados corresponden, de izquierda a derecha, al eje frontal y a los ejes tándem del tractor y de la plataforma. La figura III.11 muestra los valores de impacto relativos para estas pruebas.



Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

FIGURA III.11: Nivel de impacto en el sensor sobre el pavimento, para diferentes velocidades y cargas.

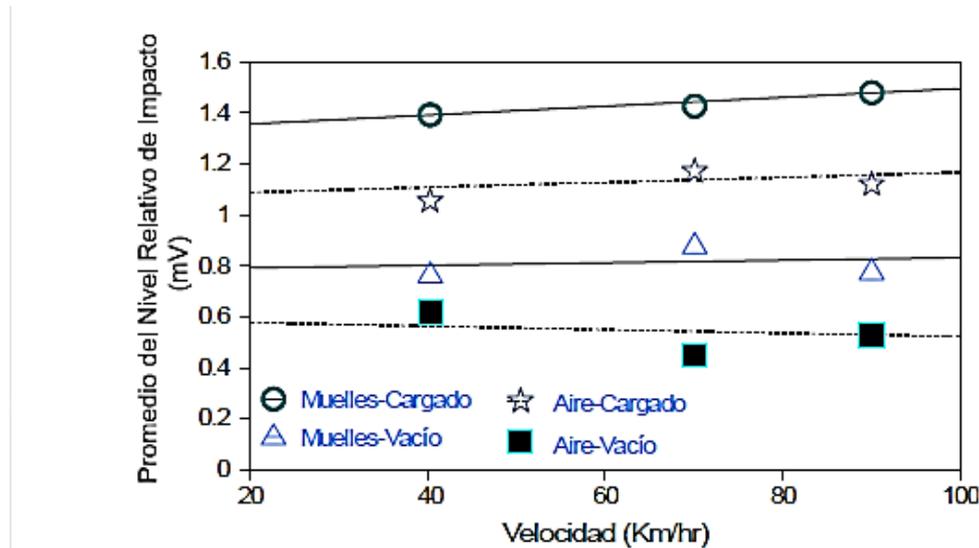


Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

FIGURA III.12: Señal de salida típica del dispositivo de impacto.

La figura III.12. Muestra una gráfica típica de la señal del sensor de impacto, correspondiente al vehículo con suspensión de muelles, viajando a 70 km/hr. Los valores promedio del impacto para las diferentes cargas y velocidades se muestran en la figura III.13. Es necesario notar que los valores mostrados,

dan una referencia del comportamiento de los vehículos empleados, que permite una comparación entre ellos, sin embargo, estas cantidades no marcan el valor absoluto del nivel de impacto sobre el pavimento.



Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

FIGURA III.13: Valores de impacto para diferentes cargas y velocidades.

III.2.4 Reseña de métodos de cálculo con geosintéticos.

Con frecuencia encontramos suelos poco competentes para soportar cargas debido al tráfico, por lo cual el refuerzo con geosintéticos (geomallas biaxiales) permite mejorar el desempeño de un pavimento, disminuyendo los esfuerzos aplicados sobre la subrasante; como resultado, se tiene una sección reforzada que permite una mayor aplicación de cargas y menores deformaciones que una sección sin refuerzo. Varios métodos (tabla III.1.) se han presentado para dimensionar este tipo de estructuras, como la AASHTO 93, entre otros.

En el presente ítem se difunde la consideración de los conceptos mecánicos, el módulo resiliente de los materiales y la evaluación de la subrasante.

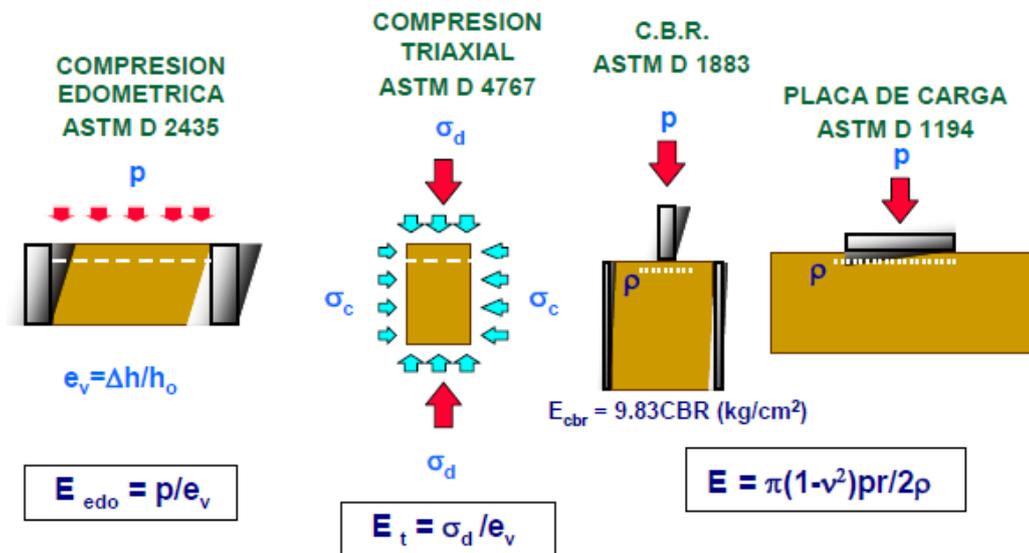
Módulo Elástico: Es el parámetro que se utiliza en la estimación de deformaciones bajo cargas estáticas, el módulo elástico relaciona los esfuerzos aplicados y las deformaciones resultantes. El nivel de esfuerzos aplicado al suelo a través de la estructura del pavimento es mínimo comparado con la deformación en falla, por ello se asume que existe una relación lineal entre los esfuerzos y las deformaciones.

La teoría de la elasticidad permite utilizar ensayos de laboratorio y campo para la determinación del módulo elástico. La figura III.14. Muestra los ensayos disponibles en nuestro medio (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005).

TABLA III.1: Estudio y métodos de cálculo de diferentes autores.

Estudios en modelos		<ul style="list-style-type: none"> • Binquet y Lee (1975). • Fragaszy y Lawton (1984). • Omar et al (1993). • Shin et al (1993). • Yetimoglu et al (1994).
Metodologías analíticas		<ul style="list-style-type: none"> • Método de Binquet y Lee (1975) • Método de Das et al (1996) • Método de Huang y Menq (1997) • Método del DGGT (1997) • Método de Wayne et al. • Método de Sharma et al (2009)
CÁLCULOS ANALÍTICOS	Terrenos Arenosos	<ul style="list-style-type: none"> • Método de Binquet y Lee (1975). • Método de Huang y Menq (1997). • Método de Equilibrio Límite.
	Terrenos Arcillosos	<ul style="list-style-type: none"> • Método de Das et al (1996).
	Terrenos Bicapa	<ul style="list-style-type: none"> • Método del DGGT (1997). • Método de Wayne et al (1998). • Método de Sharma et al (2009). • Método de Equilibrio Límite.

Fuente: (CHACON JIMBO, Septiembre 2012).



Fuente: (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005).

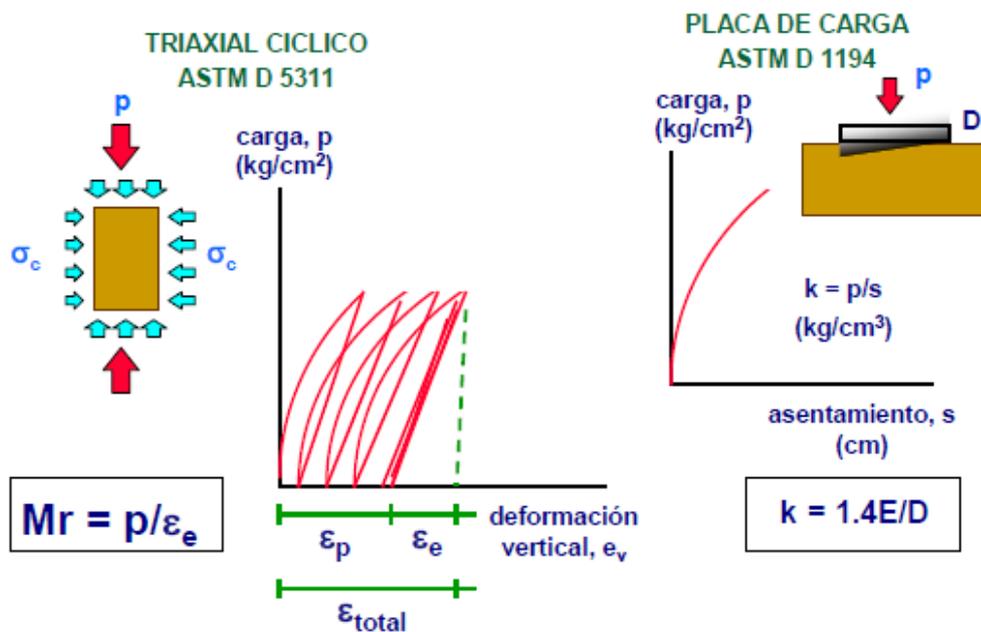
FIGURA III.14: Ensayos para la obtención del módulo elástico.

- El ensayo de compresión confinada utilizando el consolidómetro simula el comportamiento deformacional que tendrá el suelo debajo de una

cimentación superficial. El ensayo permite obtener el módulo elástico en la condición natural y humedecida.

- El ensayo triaxial estudia el comportamiento deformacional del suelo bajo confinamiento y permite obtener módulos elásticos para cualquier nivel de presión de confinamiento y deformación.
- El ensayo CBR. y el ensayo de placa de carga permite obtener los parámetros elásticos en la evaluación de la subrasante. La ventaja del ensayo CBR. es la evaluación de la influencia de la densidad natural y el humedecimiento.

El Módulo Resiliente, MR relaciona el esfuerzo aplicado y la deformación elástica en la condición estable o residual cuando el suelo presente un comportamiento elástico. El módulo resiliente no representa el comportamiento total, desde el inicio del ciclo de cargas hasta el final.



Fuente: (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005).

FIGURA III.15: Ensayos para modelar el efecto de las cargas en el pavimento.

Sin embargo, el módulo resiliente relaciona las cargas móviles o rápidas y las deformaciones instantáneas resultantes. El valor del Mr puede ser 10 veces el valor del Módulo Elástico. Los suelos granulares que conforman las capas del pavimento, presentan una adecuada gradación y compactación, el comportamiento de estas capas granulares, bajo los ciclos de carga, no presentará deformaciones plásticas significativas. Se asume que durante el adecuado proceso constructivo, deformaciones plásticas se anularán, en este

caso es apropiado modelar el comportamiento de las capas con el Módulo resiliente (figura III.15.). Al respecto la Guía AASHTO, 93 presenta valores establecidos en el laboratorio, basados en el valor CBR. (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005).

Subrasante: Es “el nivel superior de la plataforma de una carretera, donde se coloca la estructura del pavimento”. Sin embargo, el concepto de “capacidad de soporte de la subrasante” implica la evaluación estructural y por consiguiente la determinación de la respuesta mecánica del subsuelo hasta la “profundidad donde pueden generarse deformaciones significativas”.

En la estructura de pavimento, las capas (elementos estructurales) que componen el pavimento no presentan asentamientos significativos, siendo la subrasante o cimentación del pavimento propenso a deformarse. Entonces, la primera conclusión es que las fallas estructurales que aún se presentan en nuestro medio, se deben a una limitada, incorrecta y no actualizada metodología de evaluación de la sub-rasante. Definitivamente, un asentamiento mayor ocasiona la fatiga prematura de la carpeta asfáltica, elemento que es muy rígida (módulo elástico superior a $30,000 \text{ kg/cm}^2$). (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005).

III.3 FALLAS MÁS FRECUENTES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Tenemos que tener en cuenta que una falla, no solo es causada por la variación de la temperatura (ver figura III.16.), esto también es a causa de una falla estructural de la base, subbase y terreno de fundación; falla por ahuellamiento y falla por fatiga (ver figura III.17. y ver figura III.19.); esto es debido generalmente a un mal material empleado en la construcción, a un error de cálculo estructural en el diseño de la vía, a un error en la construcción, entre otros. Lo que genera un motivo de estudio para la presente tesis, buscando cómo podemos solucionar estos problemas, sin mayores gastos económicos, y sean efectivos en un periodo corto, mediano y largo plazo, esto con aplicación de geomallas biaxiales.

Existen dos principales tipos de ahuellamiento: ahuellamiento por fallas en la subrasante y ahuellamiento por fallas en la carpeta asfáltica, así como se menciona el agrietamiento por fatiga:

En climas fríos o bajo aplicaciones de carga rápida, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico.

El agrietamiento por bajas temperaturas algunas veces ocurre en los pavimentos cuando están sometidos a climas fríos. En estos casos, las cargas aplicadas producen esfuerzos internos que se acumulan en el pavimento asfáltico que tenderá a contraerse mientras su movimiento es restringido por las capas inferiores.



(a)

En climas cálidos o sometido a cargas de tráfico lentas (intersecciones, tramos en pendiente), el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso, dejando que el agregado soporte las cargas cíclicas.

La viscosidad es la característica física del material que describe la resistencia de los líquidos a fluir. Si el flujo del cemento asfáltico en caliente es lento puede ser observado microscópicamente como capas adyacentes de moléculas deslizándose unas sobre otras.

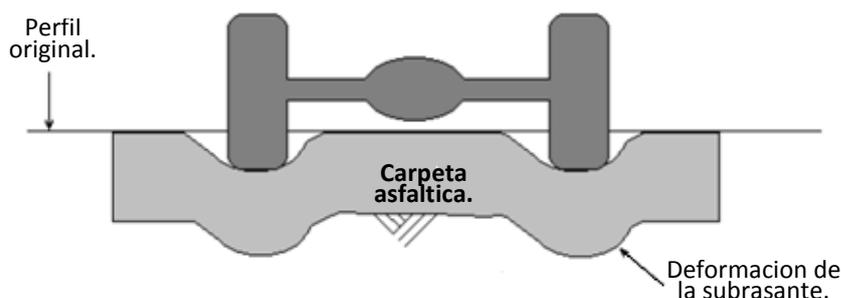


(b)

Fuente: *Elaboración Propia.*

FIGURA III.16: Fallas causadas por la temperatura. (a) Agrietamiento por bajas temperaturas. ;(b) Ahuellamiento o deformación por altas temperaturas.

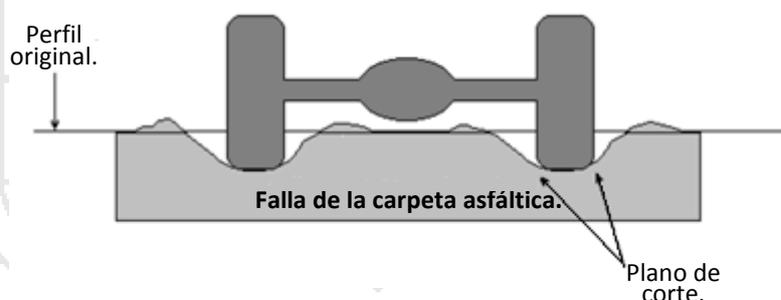
- **Ahuellamiento por fallas en la subrasante:** Este tipo de ahuellamiento son causadas por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores (base o subbase) bajo la carpeta asfáltica (figura III.17.). Si bien los materiales pétreos pueden reducir parcialmente este tipo de ahuellamiento, es considerado un problema estructural más que de los materiales en sí. Esencialmente, no hay suficiente resistencia en el pavimento para reducir la fuerza aplicada en un nivel tolerable. Puede más bien ser causado por el inesperado debilitamiento de una de las capas generadas por la intrusión de humedad. La deformación ocurre en las capas inferiores más que en las capas de asfalto. (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).



Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

FIGURA III.17: Ahuellamiento por fallas en la subrasante.

- Ahuellamiento por fallas en la carpeta asfáltica:** El tipo de ahuellamiento que más preocupa a los diseñadores de mezclas asfálticas es la deformación de la carpeta asfáltica. Esta deformación es el resultado de una mezcla de asfalto sin la suficiente capacidad para resistir cargas pesadas (figura III.18.). Una mezcla débil va acumulando pequeñas, pero permanentes deformaciones con cada impacto del camión que transita, y eventualmente forma una ruta caracterizada con una inclinación y deslizamiento lateral de la mezcla. Los ahuellamientos que se forman en el curso de la superficie de la carpeta asfáltica, pueden ser causadas por el debilitamiento de alguna de las capas bajas de asfalto. (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).



Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

FIGURA III.18: Ahuellamiento por fallas en la mezcla.

- Agrietamiento por fatiga:** Aunque generalmente una carga simple no genera grietas en el pavimento, las repeticiones de carga pueden inducir agrietamientos en las capas confinadas (figura III.19). Los esfuerzos cortantes y de tensión, así como las deformaciones en las capas confinadas, causan la formación de micro grietas. Estas micro grietas acumuladas con la repetición de cargas pueden generar macro grietas visibles. Este proceso es llamado fatiga. (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002)

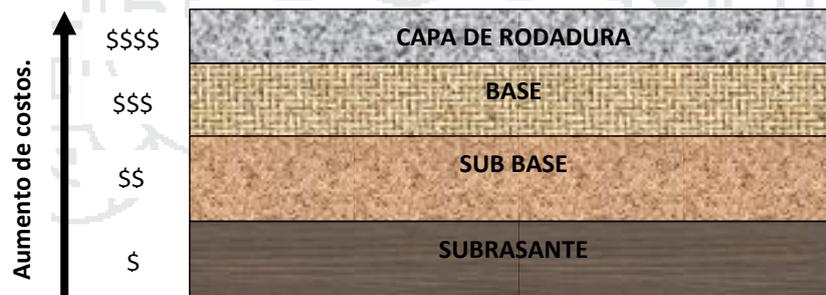


Fuente: (GARNICA ANGUAS, GÓMEZ LÓPEZ, & SESMA MARTÍNEZ, 2002).

FIGURA III.19: Muestra algunos patrones de agrietamiento por fatiga que se desarrollan en la carpeta asfáltica.

Un signo temprano de agrietamiento por fatiga son los rompimientos intermitentes longitudinales en las huellas de las llantas del tránsito. El rompimiento por fatiga es progresivo, ya que en algún punto los rompimientos iniciales se unen, causando más rompimientos. Al avanzado rompimiento por fatiga se le conoce como rompimiento de lagarto o piel de cocodrilo, El rompimiento por fatiga es causado por numerosos factores que ocurren en forma simultánea. Entre ellos, las cargas pesadas repetidas; deflexiones delgadas bajo ruedas pesadas de carga; deflexiones altas aunadas a la tensión horizontal en la superficie de la capa de asfalto y mal drenaje, generado por una construcción pobre y un mal diseño del pavimento.

III.4 COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO.



Fuente: *Elaboración Propia.*

FIGURA III.20: Evaluación de costos de la partes de una vía.

Los componentes estructurales (figura III.20.) son que hacen del pavimento una vía de confort y resistencia a lo largo de los años, pues entre ellas está la capa exterior que presenta al tráfico, la superficie a la rodadura que adsorbe las cargas que derivan del tráfico. El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir, distribuir esfuerzos originados por los vehículos, mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por

lo general está conformada por las siguientes: capas: base, subbase y capa de rodadura. Los materiales más costosos están en las capas superiores (fig. III.20.).

Los componentes de los pavimentos en general, deben estas sometidos a ensayos (Tabla III.2.) que demuestren que los materiales son de buena calidad; muchos de ensayos son especialmente para bases y subbase (Tabla III.3.) para determinar sus características físico-mecánicas.

TABLA III.2: Ensayos más frecuente en pavimento flexible.

Propiedades y características.	Método de ensayo			frecuencia	Lugar del muestreo
	AASHTO	ASTM	MTC		
Granulometría	T88	D422	E109	1 cada 1,500 m ³	Cantera
Limite liquido	T89	D423	E110	1 cada 1,500 m ³	--
Materia orgánica	T267	--	E118	1 cada 10,000 m ³ .	--
Densidad	T180	D1557	E115	1 cada 2500 m ³ (en cada capa)	Tramo 1,500 m ²
	T191	D1556	E117		

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014).

TABLA III.3: Ensayo más frecuentes en base y subbase.

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de Muestreo
Base Granular	Granulometría	MTC E 204	C 136	T 27	750 m ³	Cantera (2) y pista
	Límite líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	750 m ³	Pista
	Índice de plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	750 m ³	Pista
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C131	T 96	2.000 m ³	Cantera (2)
	Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	2.000 m ³	Pista
	Sales Solubles	MTC E 219	D1888		2.000 m ³	Cantera (2)
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	2.000 m ³	Cantera (2)
	Partículas fracturadas	MTC E 120	D 5821		2.000 m ³	Cantera (2) y pista
	Partículas Chatas y Alargadas		D 4791		2.000 m ³	Cantera (2) y pista
	Durabilidad al Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	2.000 m ³	Cantera (2)
	Densidad y Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	750 m ³	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 4718 D 2922	T191 T238	250 m ³	Pista

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2013).

Nota:

(1) O antes, si por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico-mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad y /o característica.

(2) Material preparado previo a su uso.

III.4.1 Subrasante.

- **Definición de subrasante:** La subrasante es la capa de terreno natural de una carretera, que soporta la estructura del pavimento, se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto, de su capacidad soporte depende el espesor que debe de tener toda la estructura del pavimento. Es considerada como la cimentación del pavimento.
- **Características principales de la subrasante:** La principal función de la subrasante, es soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas de tránsito provenientes de las capas superiores del pavimento, de manera que el terreno natural sea capaz de soportarlas. Ya que la subrasante es considerada como la cimentación del pavimento, una mejor calidad de materiales con los que se cuente en esta capa, ayudará a la reducción de las capas de la estructura del pavimento, logrando así un ahorro en los costos de construcción sin disminuir la calidad y vida útil de la misma.
- **Materiales adecuados para subrasante mejorada:** En los casos en que se haga un vaciado y se trabaje una subrasante mejorada, los materiales adecuados son suelos de preferencia granulares con menos de tres por ciento de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T-193 (CBR), que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo o sección que se esté trabajando y que además, no sean inadecuados para subrasante.

III.4.2 Sub base.

- **Definición de subbase:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta asfáltica. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. sus funciones son:
 - Servir de drenaje al pavimento.
 - Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.

- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos en épocas de helada.

La subbase es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que la subrasante las pueda soportar.

- **Características principales de la capa de subbase:**

TABLA III.4: Requerimientos granulométricos para subbase granular.

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso.			
	Gradación A(1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	--	--
25 mm (1")	--	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 -100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 - 50	40 – 70
4.25 µm (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 µm (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 - 15

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2013).

(1) La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Así también se muestra en la tabla III.5, los ensayos a realizar:

TABLA III.5: Subbase granular, requerimientos de ensayos especiales.

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< menor de 3000 m.s.n.m.	≥ 3000 m.s.n.m.
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50% máx.	50% máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40% min.	40% min.
Limite Líquido.	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de plasticidad.	MTC E 111	D 4318	T 89	6% máx.	4% máx.
Equivalencia de Arena.	MTC E 114	D 2419	T 176	25% min.	35% min.
Sales Solubles.	MTC E 219	--	--	1% máx.	1% máx.
Partículas chatas y alargadas (2).	MTC E 211	D 4791	--	20% máx.	20% máx.

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2013).

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm).

(2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor / longitud)

- **Materiales adecuados para la capa de subbase:** La capa de subbase puede estar constituida por materiales de tipo granular en su estado natural

o mezclados, que formen y produzcan un material que deba tener mayor capacidad soporte que el terreno de la subrasante. Estos pueden ser, arena, grava, granzón o residuos del material de cantera.

Todos los materiales aplicados a esta capa serán tal como indica la granulometría (tabla III.4.), asimismo, estos materiales deben estar sometidos a ensayos especiales para esta capa (tabla III.5.) cumpliendo normas que garanticen que son aptos para su aplicación en obras, además ello, el cumplimiento de estas normas garantizan las propiedades físico-mecánicas del material.

III.4.3 Base.

- Definición de base:** Es la capa inferior a la carpeta de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$), la capa de base es la capa encargada de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, y de repartirlos uniformemente a las capas de sub-base y subrasante. Por lo general en la capa base se emplea piedra triturada o chancada, grava.
- Características principales de la capa de base:**
 Principal elemento de resistencia, absorbe los esfuerzos verticales derivados de las cargas del tráfico, generalmente se constituye por capa granular. Una de las características principales es cumplir ciertos requisitos (tabla III.6.), que a su vez debe ser garantizado por sus características físico-mecánicas del material (tabla III.7.)

TABLA III.6: Requisitos de la base granular.

(% Pasa N° 200)/(% Pasa N° 30)	< 60 %
Valor Relativo de Soporte, CBR. MTC E 132 al 100% MSD	Min 100%
Grado de Compactación, MTC E 117	Min 100%

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014).

TABLA III.7: Características físico-mecánicas y químicas de la base granular.

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes (<106)	Min. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (≥ 106)	Min. 100%

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014).

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm)

- **Materiales adecuados para la capa de base:** El material de base granular consistente preferiblemente de piedra o grava clasificada sin triturar, o bien producto de una trituración parcial cuando sea necesario, además de ello el material de esta capa debe cumplir los requerimientos granulométricos (tabla III.8.); para cumplir con los requisitos de gradación, combinado con arena y material de relleno para formar una capa de base que llene los siguientes requisitos.

TABLA III.8: Requerimientos granulométricos para base granular.

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso.			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	--	--
25 mm (1")	--	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 -100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 - 50	40 – 70
4.25 μ m (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 μ m (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 - 15

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014).

El material pétreo que se emplee en la base deberá de llenar los siguientes requisitos:

- Resistencia a los cambios de temperatura y humedad.
- Carecer de cambios de volúmenes perjudiciales.
- Un porcentaje de desgaste inferior a cincuenta, de acuerdo al ensayo de la máquina de los ángeles.
- La fracción del material que pase por el tamiz cuarenta, debe de tener un límite líquido menor del veinticinco por ciento y un índice plástico inferior a seis.

Agregado Grueso: Se denominará así a los materiales retenidos en la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesadas o combinación de ambos.

Los materiales como el agregado grueso deben cumplir requerimientos (tabla III.9.) y (tabla III.10.), que estos garantizan la calidad del material en las alturas adecuadas.

TABLA III.9: Requerimientos de agregado grueso.

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< menor de 3000 m.s.n.m.	≥ 3000 m.s.n.m.
Partículas con cara fracturada	MTC E 120	D 5821	-	80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 120	D 5821	-	40% min.	50% min.
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas (1).	MTC E 221	D 4791	-	15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888	-	0.5% máx.	0.5% máx.
Perdida con sulfato de sodio.	MTC E 209	C 88	T 104	-	12% máx.
Perdida con sulfato de magnesio.	MTC E 209	C 88	T 104	-	18% máx.

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014).

(1) La relación a emplearse para la determinación es: 1/3 (espesor/longitud).

TABLA III.10: Requerimientos de agregado grueso.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< menor de 3000 m.s.n.m.	≥ 3000 m.s.n.m.
Índice plástico.	MTC E 111	4% máx.	2% máx.
Equivalente de arena.	MTC E 114	35% min.	45% min.
Sales solubles totales	MTC E 219	0.55% máx.	0.5% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014).

Agregado Fino: Se denominará así a los materiales que pasan la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesadas o combinación de ambos. Así como la tabla III.11. Lo especifica.

TABLA III.11: Requerimientos de agregado fino.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< menor de 3000 m.s.n.m.	≥ 3000 m.s.n.m.
Índice plástico.	MTC E 111	4% máx.	2% máx.
Equivalente de arena.	MTC E 114	35% min.	45% min.
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	--	15%

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014).

III.4.4 Capa de rodadura.

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

- **Características principales de la carpeta de rodadura:** Adsorbe los esfuerzos horizontales y evita deslizamientos. Su función primordial será proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores. Además evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.
- **Materiales adecuados para la carpeta de rodadura:** El asfalto de petróleo, es obtenido directamente por refinación del petróleo de base asfáltica. Este material ligante puede ser semisólido o sólido, de color negro, que se vuelve líquido al exponerlo a altas temperaturas, sus constituyentes principales son betunes. Además de ello debe cumplir una granulometría (tabla III.12.) el cual es necesario para poder garantizar el material.

TABLA III.12: Granulometría para la capa de rodadura.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada				
	A	B	C	D	E
2" (50.8 mm.)	100				
1 1/2" (38.10 mm.)	80 - 100				
1" (25.40 mm.)	60 - 80	100	100	100	100
3/8" (9.5mm.)	--	50 - 85	60 - 100	--	--
Nº 4 (4.75 mm.)	45 - 65	35 - 70	45 - 85	--	--
Nº 10 (2 mm.)	--	25 - 50	30 - 65	40 - 100	55 - 100
Nº 40 (0.425 mm.)	--	12 - 30	15 - 40	20 - 50	30 - 70
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 15	4 - 12	5 - 15	6 - 20	8 - 25

Fuente: MOP-001- F-2002. TOMO I

III.5 GEOSINTÉTICOS.

Geosintético es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la Ingeniería Civil.

Todo material para una aplicación en la construcción debe estar debidamente certificado, pues no es la excepción de los geosintéticos, estos materiales deberán cumplir los requisitos mínimos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas INDECOPI, en las Normas de Ensayo de Materiales del MTC, o en ausencia de ellas, en las Normas Técnicas internacionales vigentes. Asimismo, para la colocación y ejecución de la partida, deberá estar de acuerdo con las

Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del MTC (en caso que exista el producto).

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en el mundo de la construcción y la edificación como son: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones medioambientales, entre otras. La fabricación de los geosintéticos comprende procedimientos principalmente de extrusión, tecnología textil y/o ambas tecnologías: Textil y plástica. Estos geosintéticos se derivan de fibras artificiales, compuestos básicamente de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, siendo los dos primeros los de mayor utilización en la actualidad (ver tabla III.13). Un polímero es una macromolécula (generalmente orgánica) formada por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeras. A partir de estas se desarrollan polímeros sintéticos en laboratorios; actualmente usándose también el nylon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc.

TABLA III.13: Principales polímeros utilizados en la fabricación de geosintéticos.

POLÍMERO.	MONÓMERO.	TIPO DE GEOSINTÉTICO.	VENTAJA.	DESVENTAJA.
Polietileno (PE).	$\left[\begin{array}{c} H & H \\ & \\ -C & -C- \\ & \\ H & H \end{array} \right]_n$	Geotextiles. Geomembranas.	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad química nula en soluciones ácidas y básicas. • Bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modulo elástico reducido. • Deformabilidad elevada bajo carga constante.
Polipropileno (PP).	$\left[\begin{array}{c} H & CH_3 \\ & \\ -C & -C- \\ & \\ H & H \end{array} \right]_n$	Geocompuestos. Geomallas.	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado modulo elástico. • Baja deformabilidad bajo carga constante. • Costo relativamente bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de las características mecánicas en soluciones muy alcalinas.
Poliéster (PET).	$\left[\begin{array}{c} H & H & O & O \\ & & & \\ O-C & -C- & O-C & -C- \\ & & & \\ H & H & & \end{array} \right]_n$	Geomallas. Geotextiles. Geocompuestos.	<ul style="list-style-type: none"> • Modulo elástico elevado. • Resistencia a la abrasión alta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de las características mecánicas por permanencia prolongada en agua. • Costo elevado.
Cloruro de polivinilo (PVC).	$\left[\begin{array}{c} H & Cl \\ & \\ -C & -C- \\ & \\ H & H \end{array} \right]_n$	Geomembranas. Geocompuestos.		
Poliamida (PA).	$\left[\begin{array}{c} H & & C \\ & & \\ -N & -(CH_2)_a & -C- \\ & & \\ H & & \end{array} \right]_n$	Geotextiles. Geocompuestos. Geomallas.		

Fuente: (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014)

III.5.1 Reseña histórica de los geosintéticos (geomallas).

A lo largo de la historia, el hombre intenta aprovechar la mejor manera posible los materiales disponibles a su alrededor, el suelo, uno de los elementos más

utilizados por el hombre, ha sido objeto de muchas investigaciones buscando encontrar un material final con mejores características. Es así que podemos encontrar intentos de “suelo reforzado” desde los inicios de la civilización, existen pruebas del uso de troncos con el fin de estabilizar suelos arcillosos o pantanosos, o intentos por construir taludes con una mayor pendiente usando fibras naturales o vegetación como refuerzo, y con el desarrollo de fibras sintéticas se hizo posible un mayor desarrollo de esta aplicación ya que estas ofrecían una ventaja muy importante, la resistencia. Las fibras naturales utilizadas eran propensas a la biodegradación por parte de la matriz donde se encontraba mientras que las fibras fabricadas en base a polímeros presentaban una resistencia mucho mayor.

La utilización de materiales como elemento de refuerzo de suelos es práctica común desde A.C., hace tres mil años; los babilonios ya insertaban materiales fibrosos en el material utilizado para la construcción de habitaciones; la muralla de China, construida en 2.000 A.C., poseía secciones de arcilla y grava reforzadas con fibras naturales. Diversos materiales vegetales, constituidos de fibras resistentes, han sido utilizados en obras del Imperio Romano, como: estibas de junco, bambú, troncos de árboles, paja, etc.

En el siglo XX, mantas de algodón fueron utilizadas por el Departamento de Carreteras de Carolina del Sur (EE.UU.) como elementos de refuerzo de pavimentos. En el año 60, el ingeniero francés Henri Vidal desarrolló el sistema “Tierra Armada”, que consiste en el uso de tiras de acero galvanizado como refuerzo. Desde allí, el concepto de suelo reforzado se extendió rápidamente.

A mediados de mil ochocientos se desarrollan los primeros polímeros sintéticos.

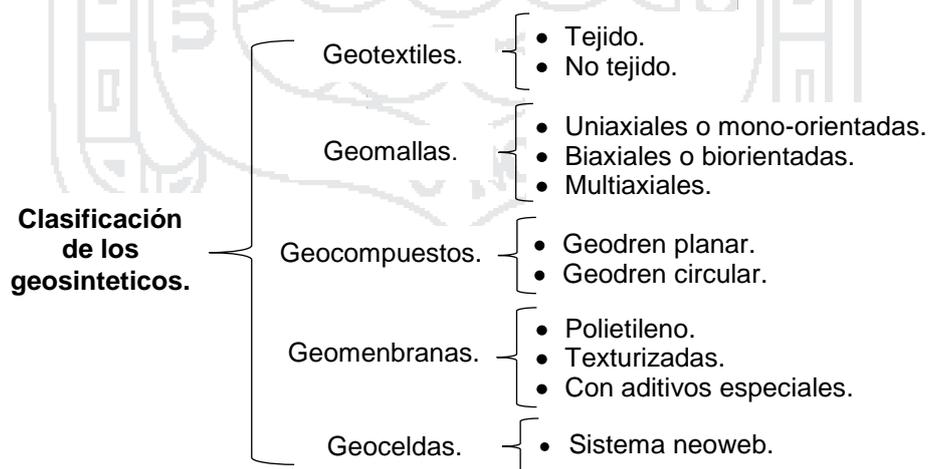
Los primeros materiales en desarrollarse fueron los geotextiles, un conjunto de textiles desarrollados como “telas filtrantes”. Estos alcanzaron gran popularidad durante los años 1950 ya que se empezaron a utilizar como una alternativa al uso de material granular en aplicaciones de drenaje y control de erosión. Años después, en Francia, se dan los primeros intentos del uso de geosintéticos en vías no pavimentadas, debajo de balastos (ferrocarriles), dentro de terraplenes y como refuerzo de presas de tierra; en estos casos se buscaba que el material cumpla las funciones de separación y refuerzo.

El uso de estos materiales permitió la creación de una nueva clase de materiales: los geosintéticos. La norma ASTM D4439 define un geosintético como “un material planar fabricado a partir de materiales poliméricos usado en contacto con suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnico y que es parte de un proyecto realizado por el hombre”. La estructura, la composición y el comportamiento molecular de los polímeros utilizados para formar este material tienen una influencia directa en sus propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas, y en su comportamiento.

Según Koerner (2005), podemos definir a las geomallas como materiales geosintéticos que consisten en juegos de costillas paralelas conectadas con aberturas de tamaño suficiente que permitan la trabazón del material con el que están en contacto. Como ya se mencionó anteriormente, este material tiene como principal función “el refuerzo” del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

III.5.2 Clasificación de los geosintéticos.

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes y otros geocompuestos derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores (ver figura III.21.).



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA III.21: Clasificación de los Geosintéticos.

III.5.2.1 Geotextiles.

Son materiales flexibles y permeables a los fluidos, fabricados de fibras sintéticas como el poliéster o polipropileno (ver figura II.22.). Sus características los hacen capaces de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros.

Los geotextiles se definen como un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido o tejido y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en Ingeniería Civil para aplicaciones geotécnicas".



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

FIGURA III.22: Geotextil.

III.5.2.1.1 Geotextil no tejido.

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles No Tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas.
- Geotextiles No Tejidos ligados térmicamente o termo soldados.
- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente o resinados.

III.5.2.1.2 Geotextil tejido.

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser tejidos de calada o tricotados. Los Tejidos de calada son los

formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal).

Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana, los tricotados están fabricados con hila entrecruzada en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotosas y circulares.

III.5.2.1.3 Función y campos de aplicación

El uso de los geotextiles tejidos y no tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar.

A continuación se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo. Estas funciones son función de separación (tabla III.14.), Función de Refuerzo (tabla III.15.), Función de drenaje (tabla III.16.), función de filtro (tabla III.17.), función de protección (tabla III.18.), función de impermeabilización (tabla III.19.).

TABLA III.14: Función de separación.

<p>(a). Separación de capas granulares y subrasante</p>	<p>DETALLES.</p> <p>Esta función, es la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades Geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material.</p>
<p>CAMPOS DE APLICACIÓN EN PAVIMENTOS.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados. • Entre la subrasante y el balasto en vías férreas. • Entre rellenos y capas de base de piedra. • Entre geomembranas y capas de drenaje de piedra. • Debajo de áreas de estacionamiento. • Debajo de bloques prefabricados y paneles para pavimentos estéticos. • Entre capas de drenaje en masas de filtro pobremente gradado. • Entre capas antiguas y nuevas de asfalto. 	

Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

TABLA III.15: Función de refuerzo.

<p>(b). Efecto de membrana.</p>	<p>DETALLES.</p> <p>En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción.</p> <p>El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.</p>
<p>CAMPOS DE APLICACIÓN EN PAVIMENTOS.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Sobre suelos blandos para caminos no pavimentados. • Sobre suelos blandos para campos de aterrizaje. • Sobre suelos blandos para rellenos. • Sobre suelos heterogéneos. • Para reforzar terraplenes. • Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados. • Para reforzar pavimentos flexibles con juntas. • Para estabilizar patios de almacenamiento no pavimentados y áreas de descanso. • Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por suelos. • Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por materiales de relleno o base de piedra. • Para crear taludes laterales más estables debido a la alta resistencia friccionaste. • Como membranas en suelos encapsulados. • Para la compactación y consolidación in-situ de suelos marginales. • Para hacer un efecto de "puente" sobre rellenos irregulares durante el cerramiento del sitio. 	

Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

TABLA III.16: Función de drenaje.

<p>DETALLES.</p> <p>Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil. La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones.</p> <p>Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión.</p>
<p>CAMPOS DE APLICACIÓN EN PAVIMENTOS.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Como una galería de drenaje en una presa de tierra. • Como una cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga. • Como un dren detrás de un muro de retención. • Como un dren de agua debajo de geomembranas. • Como un dren de gas debajo de geomembranas. • Como un dissipador de presión de poros en rellenos de tierra. • En reemplazo de drenes de arena. • Como una barrera capilar para la migración de sales en áreas áridas. • Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo o roca expuestas.

Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

TABLA III.17: Función filtro.

DETALLES
Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases.
CAMPOS DE APLICACIÓN EN PAVIMENTOS.
<ul style="list-style-type: none"> • Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados. • Debajo de base de piedra para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados. • Alrededor de piedra picada que rodea los subdrenes. • Alrededor de piedra picada sin subdrenes (Drenes franceses). • Como protección contra los sedimentos. • Como cortina a los sedimentos. • Como un encofrado flexible para contener arena, inyección de concreto en sistemas de control de erosión. • Contra georedes para prevenir la intrusión del suelo.

Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

TABLA III.18: Función protección.

DETALLES.
<ul style="list-style-type: none"> • Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana. • El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante. • De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno.

Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

TABLA III.19: Función De Impermeabilización.

DETALLES
<ul style="list-style-type: none"> • Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético. • El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

III.5.2.2 Geomallas.

Las geomallas son estructuras elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

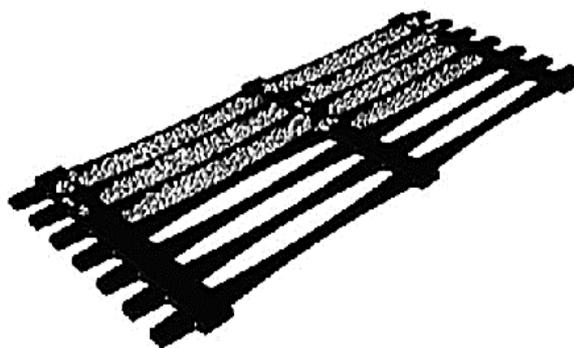
La función de las geomallas es el refuerzo; existen varios tipos de geomallas entre ellas la geomallas uniaxiales o mono-orientadas (figura III.23.), que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que

en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas biorientadas o biaxiales. (Figura III.24.)

La capacidad que tiene la geomalla es distribuir las fuerzas sobre su superficie e incrementan las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas.

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas biaxiales

III.5.2.2.1 Geomalla uniaxiales o mono-orientadas.



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

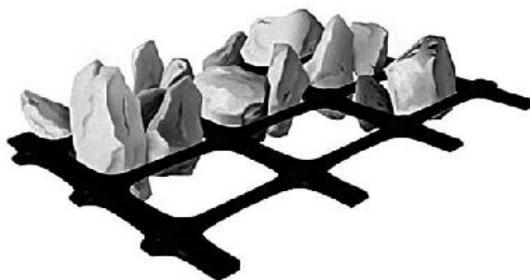
FIGURA III.23: Geomalla uniaxial o mono-orientada.

Las geomallas mono-orientadas, son estructuras producidas de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional. Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollando así gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. La estructura de este tipo de geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo especialmente de tipo granular.

Este tipo de geomallas de HDPE, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen

gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160 KN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo. (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009)

III.5.2.2.2 Geomallas biaxiales o biorientada.



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

FIGURA III.24: Geomalla coextruída o biorientada.

Este tipo de geomallas son estructuras bidimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal. Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Este tipo de geomallas se componen de elementos y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento. Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles. (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009)

III.5.2.2.3 Funciones y aplicaciones.

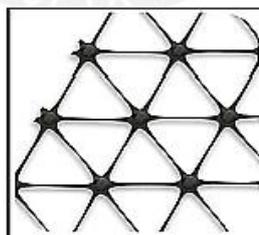
La geomalla son básicamente los transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por ejemplo en muros en suelo reforzado, sabemos que los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura.

Mientras que para refuerzo en estructuras de pavimento, los esfuerzos verticales generados por el tráfico, son disipadas en varias direcciones, por lo que el diseño de la geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal. Las geomallas han sido utilizadas con éxito como refuerzo de estructuras granulares en pavimentos flexibles desde el año de 1980 en Estados Unidos. Este tipo de refuerzo se ha definido como refuerzo de base, como efecto de restricción lateral o de refuerzo de confinamiento, debido a la unión que se genera en la interacción del suelo granular con la geomalla. El agregado no reforzado se desplaza lateralmente bajo las cargas del tráfico, causando el ahuellamiento, y finalmente el fallo de la estructura del pavimento flexible. (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

Una diferencia entre las funciones y aplicaciones de las geomallas uniaxiales y biaxiales (tabla III.20.) son: las uniaxiales se aplicaran a construcciones que necesiten esfuerzo en una dirección; y la biaxial se aplicara a construcciones que necesiten esfuerzo en dos direcciones.

III.5.2.2.4 Geomallas multiaxiales.

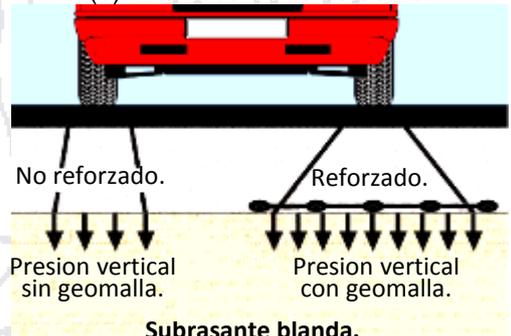
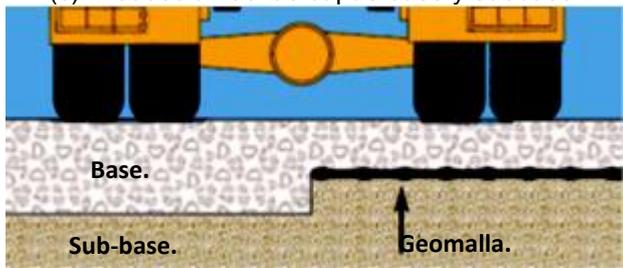
Las geomallas multiaxiales, son aquellas de donde un nudo trabaja en distintas direcciones (figura III.25.), porque estos son de mayor resistencia. Son geomallas rígidas que presentan una resistencia a la tensión “radial”; es decir, en todas las direcciones. Este material fue desarrollado como una “evolución” de la geomalla biaxial y se optó por utilizar aberturas con forma triangular ya que es la forma geométrica más estable. Además presenta un alto desempeño debido a características únicas que tiene. (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)

FIGURA III.25: Geomalla multiaxial.

TABLA III.20: Aplicaciones de las geomallas uniaxial y biaxial.

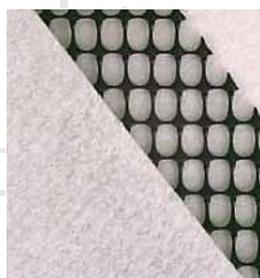
APLICACIONES DE LAS GEOMALLAS UNIAXIALES.	APLICACIONES DE LAS GEOMALLAS BIAXIALES.
<ul style="list-style-type: none"> • Refuerzo de muros y taludes. • Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques. • Estabilización de suelos blandos. • Reparación de deslizamientos. • Ampliación de cresta de taludes. • Reparación de cortes en taludes. • Muros vegetados o recubiertos con concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terraplenes para caminos y vías férreas. • Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados. • Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos. • Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril. • Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.
OTRAS FUNCIONES DE LAS GEOMALLAS BIAXIALES:	
<ul style="list-style-type: none"> • El sistema minimiza la superficie del terraplén, así como sus requisitos de relleno y potencial de asentamiento. 	<p>(a). Reducción de terraplenes.</p>  <p>Diseño convencional.</p> <p>Diseño reforzado con geomallas.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • La geomalla debe tener la capacidad de distribuir cargas eficazmente sobre la subrasante, de manera amplia y pareja, debe de existir una interacción compleja entre la geomalla y el material. 	<p>(b). Distribución de esfuerzo.</p>  <p>Subrasante blanda.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • La geomalla como refuerzo y reducción de la base de la estructura del pavimento: Con frecuencia, las estructuras de pavimento flexible fallan prematuramente porque el material de la capa de base se esparce lateralmente de los senderos de las ruedas, produciendo el ahuellamiento, alejándose de las cargas del tránsito. Dando como resultado la rotura de la superficie del pavimento. Se ha podido demostrar que la utilización de la geomalla aumenta significativamente la vida útil de la estructura del pavimento flexible, además de contribuir con la reducción de las capas de base, y aumentar la capacidad soporte de la misma, dando como resultado un ahorro significativo en los costos tanto de construcción como de operación. 	<p>(c). Reducción de las capas base y subbase.</p> 

Fuente: (CABALLEROS TORRES, Octubre 2006).

III.5.2.3 Geocompuestos.

Un geocompuesto consiste en la combinación de geotextil y geomalla (figura III.26.), siendo combinando las cualidades más sobresalientes de cada material, de tal manera que se resuelva en forma óptima la captación y conducción de fluidos.

Este compuesto es diseñado específicamente para estabilización de suelos donde se requiere tanto refuerzo como separación de una base granular y un subsuelo muy fino. Uniendo un geotextil no tejido a una geomalla, lo que permite una gran interacción con el suelo reforzado, completa separación de los diferentes tipos de suelo, una efectiva acción de filtración, gran resistencia a la tensión como un alto módulo elástico, gran resistencia a los daños durante la instalación y un excelente comportamiento a los agentes atmosféricos.



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).

FIGURA III.26: Geocompuesto.

Este tipo de geocompuesto se usa básicamente como una alternativa a los sistemas tradicionales de drenaje y para brindar un producto que tuviera la capacidad de conducir flujos en mayores cantidades que las que un geotextil puede manejar, debido a la magnitud de algunos proyectos. A continuación se mencionan los tipos de geocompuestos para el control de agua en estructuras geotécnicas y/o de pavimentos (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014). Y se clasifican:

III.5.2.3.1 Geodren Planar.

El Geodren planar es el sistema más adecuado para captar y conducir los fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación. Este geocompuesto se utiliza principalmente para los sistemas de drenaje en muros de contención, drenaje de terraplenes, drenaje de campos deportivos,

captación de lixiviados dentro de rellenos sanitarios y sistemas de drenaje en vías. (figura III.26.)

III.5.2.3.2 Geodren circular.



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).

FIGURA III.27: Geodren circular.

El Geodren circular (figura III.27.) es un geocompuesto que combina las excelentes propiedades hidráulicas de tres elementos que conforman al sistema: geotextil no tejido punzonado por agujas, geomalla y tubería circular perforada de drenaje.

Este geocompuesto integra estos elementos para obtener un sistema prefabricado de drenaje que, instalado en zanjas o trincheras, permite captar y evacuar con alta eficiencia los fluidos.

Al igual que el Geodren planar, este sistema de drenaje con tubería se utiliza para muros de contención, rellenos sanitarios, campos deportivos, terraplenes y para los subdrenes en vías, con la función adicional de evacuación de fluidos por medio de la tubería.

III.5.2.3.3 Funciones y aplicaciones.

A continuación se enuncian algunas funciones realizadas por los geocompuestos, los cuales funcionan como sistemas de drenaje en estructuras de contención, en vías y entre otras. (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).

- Como drenaje en los espaldones de los muros de contención.
- Como drenaje debajo de las geomembranas en presas y canales.
- Como sistema de subdrenaje de campos deportivos.
- Como sistema de subdrenaje debajo de la fundación de edificaciones.
- Como sistema de subdrenaje en carreteras y pistas de aterrizaje.
- Como sistema de subdrenaje debajo de terraplenes.
- En rellenos sanitarios como sistema de evacuación de gases y lixiviados.
- En sistemas de subdrenaje en sótanos.
- En sistema de drenaje de aguas de infiltración en muros de contención.

III.5.2.4 Geomembranas.

Las geomembranas (figura III.28.) se definen como un recubrimiento o barrera impermeable usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos. Las geomembranas son láminas poliméricas impermeables fabricados en cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD). Son utilizados para recubrimientos impermeables a fluidos y partículas cuya función es la de revestir canales, lagunas, depósitos de agua, además controlan la erosión.

Se instalan en depósitos de hormigón o acero de cualquier dimensión para confinamiento de químicos, residuos sólidos o químicos e industriales y prolongar la duración de los tanques.



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).

FIGURA III.28: Geomembrana.

Las geomembranas de polietileno de alta densidad tienen las siguientes características:

- Alta durabilidad.
- Resistentes a la mayoría de los líquidos peligrosos - Alta resistencia química.
- Resistentes a la radiación ultravioleta.
- Económicas.

III.5.2.4.1 Clasificación.

Existen membranas características técnicas especiales; por ejemplo geomembranas de polietileno de alta flexibilidad para el recubrimiento de túneles; de geomembranas texturizadas para desarrollar más fricción con el suelo cuando los taludes a impermeabilizar tienen pendientes importantes; de geomembranas con aditivos especiales para retardar la combustión, aplicaciones donde se requieran materiales de construcción con inflamabilidad controlada. (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)

III.5.2.4.2 Funciones y aplicaciones.

Los principales campos de aplicación, están relacionados con obras para la protección del medio ambiente, rellenos sanitarios, piscinas para tratamiento de lodos, lagunas de oxidación, recubrimiento de canales, minería, acuicultura y recubrimiento de tanques, sin dejar a un lado aplicaciones en el campo de la geotecnia y la hidráulica, entre otras funciones tenemos (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014):

- Recubrimientos para agua potable, para reserva de agua, para desperdicios líquidos, para material radioactivo o desperdicios líquidos peligrosos, para tanques de almacenamiento bajo tierra, para espejos solares, para canales de conducción de aguas, para canales de conducción de desechos líquidos, para material sólido, para material de relleno y apilamiento de basuras, para evacuación de lixiviados, para muros verticales: Sencillos o dobles con detección de fugas, impermeables dentro de túneles.

- Para impermeabilizar la cara de tierra en presas de roca, para fachadas en mampostería en presas.
- Como control de filtración en reservorios flotantes, control cubierta en reservorios flotantes para control de filtración, control barrera para los olores en rellenos, control barrera para vapores debajo de edificios, control de suelos expansivos, control de suelos susceptibles a congelamiento.

III.5.2.5 Geoceldas.

Son sistemas tridimensionales de confinamiento celular fabricados en paneles de polietileno o polipropileno (figura III.29.). Por su alta resistencia sirven para el confinamiento de cargas. Se utilizan también para aumentar la capacidad de carga del suelo, sin generar problemas de contaminación beneficiando al entorno ecológico.



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).

FIGURA III.29: Geocelda.

El sistema de confinamiento con geoceldas, es una nueva generación de geosintéticos que ofrece estabilidad dimensional a largo tiempo y rendimiento ajustado a las necesidades presentes de la infraestructura, esto hace aplicable al sistema de confinamiento celular rígido y flexible.

En particular, las aleaciones patentadas del sistema Neoweb permiten garantizar la estabilidad dimensional a largo plazo a: Creep, fatiga, fisuras, oxidación, temperaturas extremas y flexoposiciones a rayos UV.

La durabilidad y estabilidad dimensional son factores críticos para mantener el desempeño desde el punto de vista de ingeniería a largo plazo de la estructura de pavimento. Neoweb como material de construcción esta

específicamente diseñado para mantener la estabilidad dimensional y desempeño ingenieril a largo plazo.

III.5.2.5.1 Funciones y aplicaciones.

Sus principales campos de aplicación son en:

- **En la estabilización de subrasantes:** La estabilización de la subrasante se logra gracias a la redistribución lateral de los esfuerzos y logrando transmitir una menor carga neta y directa al suelo de fundación.
- **En el refuerzo de estructuras de pavimento:** principalmente la Neoweb se emplea en el refuerzo de las capas granulares, ya que gracias al confinamiento de los mismos materiales se incrementan los módulos elásticos permitiendo el rediseño de las estructuras con menores espesores granulares y concreto asfáltico. (ver figura III.30.)



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).

FIGURA III.30: Aplicación de Geocelda.

- **En las estructuras de contención:** cuando se utiliza Neoweb se pueden diseñar y construir muros mecánicamente estabilizados más esbeltos y con alturas mayores a los que se realizan con los geosintéticos tradicionales.
- **Control de erosión en taludes:** canales y márgenes de ríos.

III.5.3 Proceso de fabricación de los geosintéticos.

La mayoría de los geosintéticos se compone principalmente de polímeros y, en menor medida por aditivos. Los polímeros son sustancias macromoleculares de

naturaleza orgánica, con alto peso molecular, y se obtienen por la combinación de monómeros (ver tabla III.13.), que son moléculas de bajo peso molecular.

El monómero es una molécula compuesta de carbono y átomos de hidrógeno, a través de mecanismos químicos, los monómeros pueden unirse para formar largas cadenas moleculares. El aumento de peso molecular provoca un aumento en la resistencia a la tracción, al impacto y al calor, conduciendo a una reducción de la deformabilidad del material y de los efectos de fluidez.

En la fabricación de geosintéticos, se pueden utilizar diversos tipos de polímeros. Los más empleados son: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliéster (PET) y poliamida (ver tabla III.13.)

- El polipropileno es muy resistente y puede ser utilizado en ambientes extremos, como los rellenos sanitarios.
- Los poliésteres presentan elevado módulo de elasticidad y baja susceptibilidad a la fluencia. Pero, son susceptibles a la hidrólisis en ambientes con pH alto.
- Las poliamidas son también susceptibles a la hidrólisis, y cuando están sumergidas, pueden tener la resistencia a la tracción reducida hasta un 30%.

La mejora de las propiedades de un geosintético se puede obtener mediante la introducción de diferentes aditivos durante el proceso de fabricación. Los aditivos más comúnmente utilizados son los estabilizadores térmicos, contra los rayos UV y antioxidantes. Se enumeran las ventajas y desventajas de los principales polímeros utilizados en la fabricación de geosintéticos. (Ver tabla III.13.)

III.5.4 Beneficios obtenidos con el uso de geomallas biaxiales.

Los principales beneficios potenciales obtenidos de las geomallas biaxiales dentro de la estructura de pavimento (ver tabla III.21.) son: la reducción de espesores de la sección y el incremento de la vida útil de la estructura.

A partir de esta información, se han determinado otros beneficios que se obtienen a partir del uso de geomallas biaxiales tanto en mejoramiento de subrasantes como en refuerzo de capas granulares. Estos pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

TABLA III.21: Beneficios de las geomallas biaxiales.

<p>(a). Reducción de espesor con los mismos valores de cohesión, ángulo de fricción y fuerza de aplicación.</p>	
<p>(b). Aumento de vida útil con los mismos valores de espesor por capa, cohesión y ángulo de fricción.</p>	
<p>(c). Reducción de la calidad de relleno con los mismos valores de espesor por capa y fuerza de aplicación.</p>	

Fuente: *Elaboración Propia.*

- Incremento de vida útil de la vía:** (tabla III.21. b) A través del aumento de la capacidad de soporte de una capa de agregado, se pueden reducir espesores de material a reemplazar en el caso de que se trate de un mejoramiento de subrasantes. Asimismo, dado que el uso de geomallas permite la construcción de capas más rígidas, se pueden reducir los espesores necesarios para el caso de bases o subbases granulares. Esto conlleva un ahorro en el costo final de transporte de material, en el caso en el que exista una escasez de material granular cerca de la zona (por ejemplo, durante la construcción de una vía en la selva), o la reducción de los tiempos de instalación y entrega de la obra.
- Incremento de capacidad de soporte:** Las capas de suelo reforzadas con geomallas biaxiales admiten una mayor carga sobre estas, esto se puede ver reflejado en su uso en caminos mineros, vías sobre suelos muy blandos o suelos que soportaran cargas de tráfico muy altas. Entonces podemos lograr un aumento significativo en el número de ejes equivalentes (ESAL's) que soportara el pavimento antes de presentar fallas o necesitar de

mantenimiento. Esto se puede traducir en un ahorro considerable en los costos de mantenimiento de la vía proyectada y un ahorro a largo plazo.

- **Cobertura de vacíos:** Tal vez esta sea una aplicación no muy usada, pero con el uso de geomallas biaxiales es posible cruzar vacíos que se puedan producir por el colapso debido a la erosión o falla de algunas zonas de la subrasante. Esta solución solo es temporal, y se recomienda utilizarla hasta que se produzca la reparación de la falla. En este caso, el mecanismo de membrana tensionada será el más relevante ya que la geomalla biaxial tendrá que desarrollar fuerzas de tensión.
- **Nivelación de subrasantes débiles:** A través de los mecanismos ya descritos anteriormente, se logra una “aparente” capacidad de soporte mayor. Esta característica permite que se puedan crear plataformas constructivas o vías de acceso sobre suelos muy blandos (esto es útil en la construcción de dique flotante o vías de acceso sobre suelos pantanosos).
- **Control de asentamientos diferenciales:** Este beneficio se puede lograr colocando dos o más capas de geomallas ya que se logra crear una capa más rígida de acuerdo a un confinamiento lateral “más efectivo” gracias al uso de más de una capa de geomalla biaxial.

III.6 ENSAYO A ESCALA REAL DE UNA ESTRUCTURA REFORZADA CON GEOMALLA BIAXIAL.

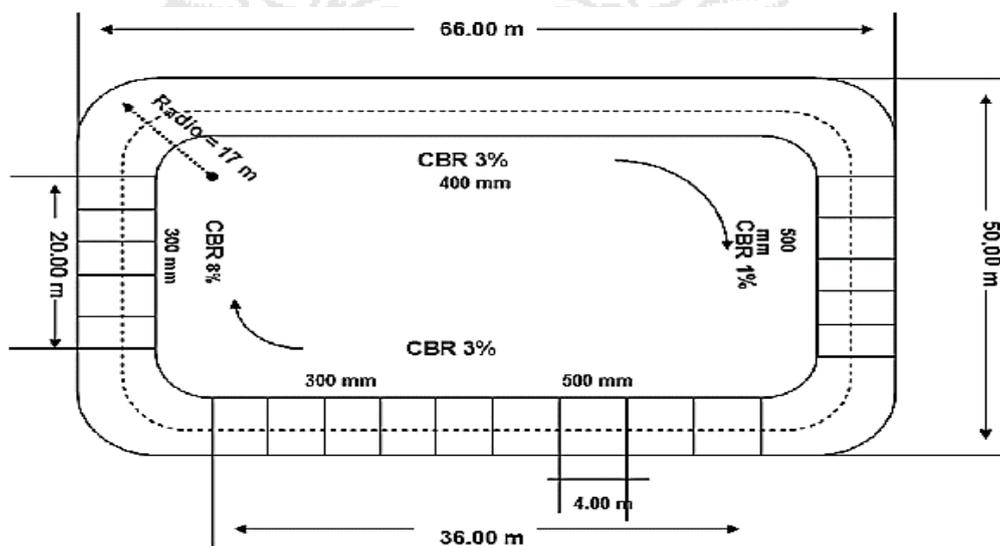
Este ensayo fue un extracto del Manual de Geosistemas Pavco de Mexichem publicada en Junio 2009. A continuación detallamos el ensayo.

El proceso de diseño AASHTO 93 se amplió para el uso de geomallas biaxiales (reforzamiento pavimento flexible) La metodología de incorporación de refuerzo tiene sustento en extensos ensayos de laboratorio y verificación a escala real. Las conclusiones y los resultados empíricos fueron obtenidos durante el análisis de una estructura de pavimento con secciones reforzadas y no reforzadas, utilizadas para realizar el ensayo de pavimento a escala real. Las variables que se estudiaron fueron las siguientes: Resistencia de la subrasante (CBR), espesor de la capa de grava, tipo de geosintético, número de ejes equivalentes (ESAL).

Para verificar la capacidad de refuerzo de la geomalla biaxial en la base, se construyó una vía con sección de 210 m aplicando procesos de laboratorio para

poder obtener datos confiables y reproducibles para mediciones “in situ” y para realizar la comparación entre secciones reforzadas y no reforzadas. La vía es similar a un semióvalo que tiene secciones rectilíneas de 36 y 20 m de longitud y curvas con un radio de 17 m como se muestra en la figura III.31, y a la vez se observa la sección típica. (Ver figura III.32.)

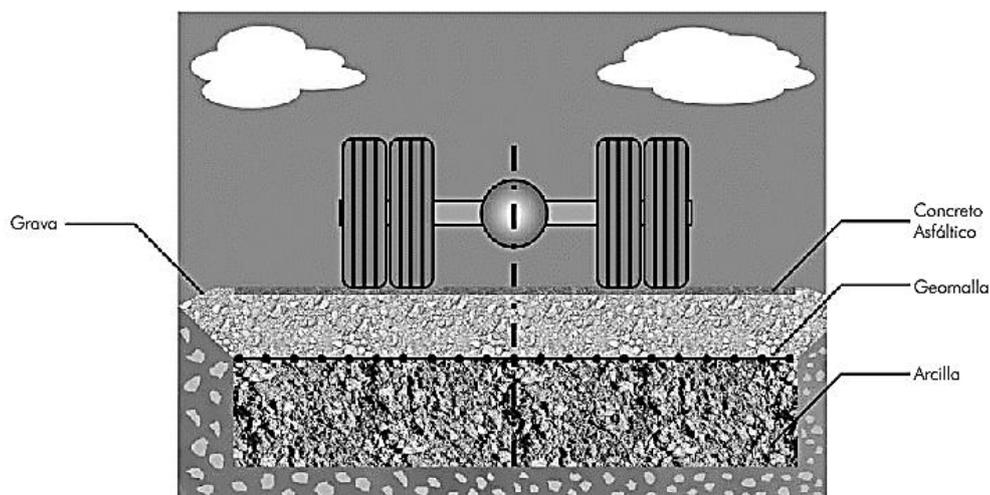
El borde extremo de las curvas fueron realizadas ligeramente dando un efecto de “parábola” para facilitar el paso de los vehículos en las curvas evitando la desaceleración. Para analizar varias condiciones, e tomaron diferentes valores de CBR en la subrasante (1%, 3% y 8%).



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

FIGURA III.31: Vista en planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo para analizar el comportamiento de las geomallas biaxiales.

Las dimensiones de las capas de refuerzo fueron de 2.2 m por 4.6 m para dejar 0.20 m de traslapo a lo largo de la vía en el eje central y 0.30 m de traslapo a lo ancho de la sección de la vía entre capas de refuerzo adyacentes. Más de 56 secciones diferentes fueron instaladas con y sin refuerzo, teniendo diferentes valores de resistencia en la subrasante, y espesores de base. Para la sección típica de la vía se excavó una zanja donde se colocó una subrasante de espesor 0.7 m y CBR de 1% ,3% y 8%. Posteriormente, se colocó la geomalla biaxial y por último se rellenó con espesores entre 0.3 m y 0.5 m con grava seleccionada y debidamente compactada. Para la capa de concreto asfáltico se mantuvo un espesor constante de 7.5 mm a los largo de toda la sección de la vía.



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

FIGURA III.32: Vista en corte de la sección típica de la vía del ensayo.

Más de 160 ejes equivalentes fueron aplicados por un vehículo que transitaba en un sólo sentido. El vehículo seguía un camino definido por las líneas centrales demarcadas en la carpeta asfáltica, de esta forma se garantizaba que las llantas circularan siempre por el mismo lugar.

El vehículo utilizado en el ensayo, fue un camión estándar con eje Tandem en la parte trasera y un eje sencillo en la parte delantera. Los ejes fueron cargados con 90 KN y 45 KN respectivamente. El camión mantenía una velocidad constante de 20 Km/h a lo largo de su trayecto, de esta forma cada vuelta era completada cada 60 segundos aproximadamente.

Las conclusiones obtenidas en el ensayo de las secciones reforzadas y no reforzadas, fueron realizadas a través de gráficos (en función de la resistencia del suelo de la subrasante, número de ciclos y coeficiente de las capas) estos gráficos permiten a los Ingenieros diseñar correctamente, estructuras de pavimento flexible utilizando refuerzo con geomallas biaxiales. Los datos empíricos conseguidos se pueden aplicar exclusivamente a los tipos de geomalla biaxiales aquí especificados:

- Geomallas PAVCO P-BX (geomallas rígidas con valores de esfuerzo y módulo de resistencia alta, caracterizada por una excelente capacidad de efecto "interlock").

- Los tipos de geomallas considerados (tabla III.22.) han sido divididos en dos clases basándose en los valores de su resistencia a la tensión:

En la siguiente tabla III.22 se listan las diferentes clases de geomallas PAVCO de acuerdo a los tipos A y B.

TABLA III.22: Tipos geomallas PAVCO considerados para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles.

Tipo A	Tipo B
Esfuerzo a la tensión de 19 KN/m	Esfuerzo a la tensión de 29 KN/m
P-BX11	P-BX12

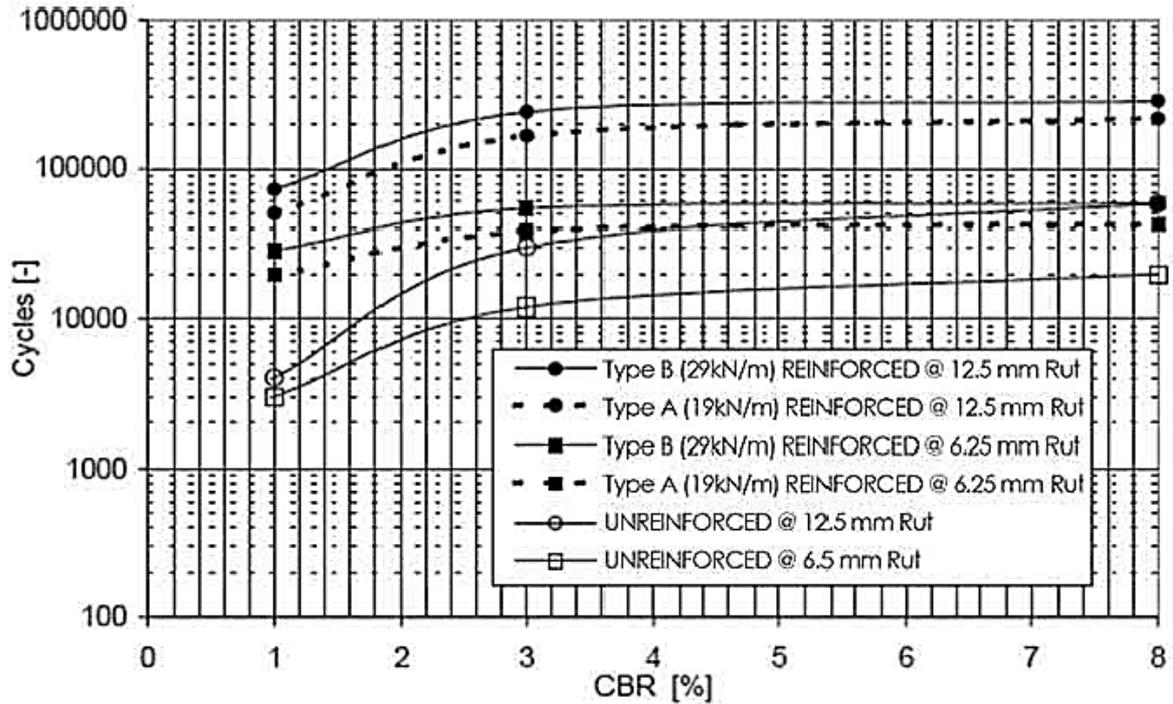
Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

En la figura III.33 se especifican las curvas de isodeformaciones las cuales muestran el incremento en la vida útil de servicio de la vía con una estructura reforzada. Por medio de esta gráfica se evalúa el aumento de la vida útil de diseño (en términos del incremento del número de pasadas) al instalarse una geomalla PAVCO como refuerzo en la sección de la vía.

En la figura III.34 se listan las curvas de Traffic Improvement Ratio (mejoramiento del índice de tráfico) provenientes de las geomallas PAVCO determinadas de la figura III.33.

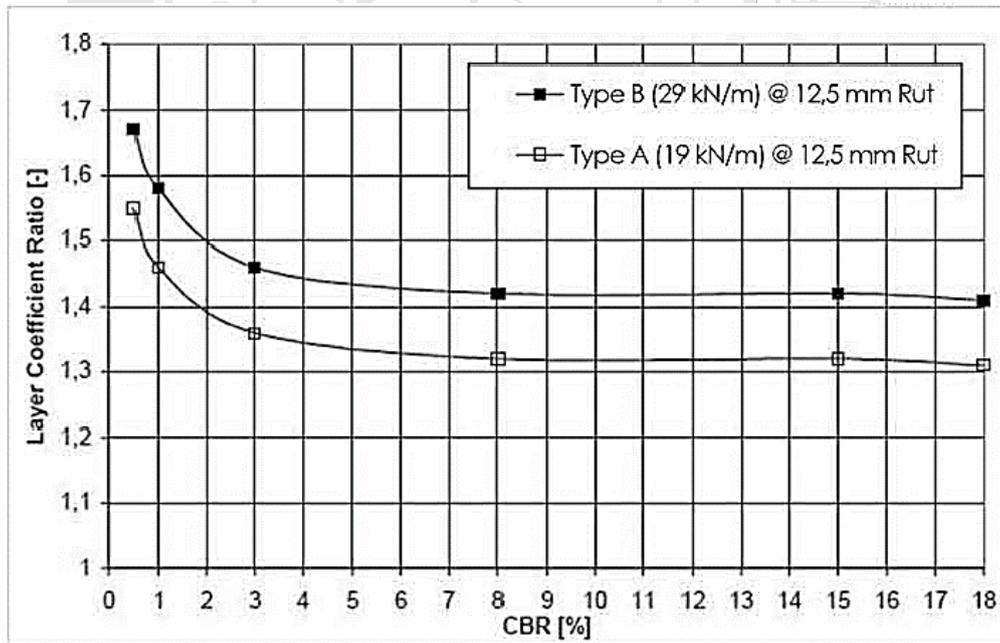
El TIF (Traffic Improvement Ratio) es la proporción de número de ciclos de carga, en secciones reforzadas y no reforzadas aplicados en el fondo de la vía. El TIF para periodos de servicio largos, aumenta de forma considerable los valores de CBR y números estructurales bajos.

En el capítulo IV.4 contiene el diseño paso a paso para la estimación del número estructural requerido y el diseño de la estructura usando las ecuaciones del método AASHTO 93 para pavimentos flexibles, y la introducción del Layer Coefficient Ratio LCR – (Relación del Coeficiente de Capa), de la geomalla biaxial, el cual cuantifica la contribución estructural de la geomalla a la estructura de pavimento.



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

FIGURA III.33: CBR Vs. Numero de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas y no reforzadas en el fondo de la vía.



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

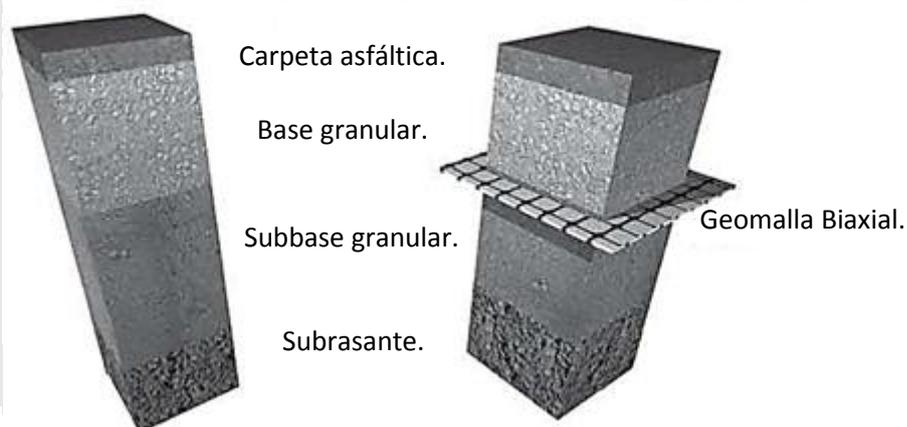
FIGURA III.34: LCR Vs. CBR para dos profundidades de ahuellamiento.

III.7 METODOLOGÍA DE DISEÑO EN VÍAS CON GEOMALLAS BIAXIALES.

La metodología que menciona en el manual de Geosistema Pavco De Mexichem (junio 2009). Hace referencia a una comparación entre pavimentos diseñados sin y con geomallas biaxiales (figura III.35.); además de ello menciona lo siguiente:

Existen diferentes metodologías de diseño para pavimentos flexibles incluyendo métodos empíricos, métodos limitando la fuerza de corte, métodos limitando la deflexión, métodos regresivos y métodos mecánicos-empíricos. El método AASHTO 93 es un método de regresión basado en resultados empíricos obtenidos por la AASHTO 93 Road Test en los años 50.

Esta metodología es la empleada como punto de partida para el desarrollo de la inclusión de geomalla de refuerzo. La metodología que se presenta a continuación se basa en la versión de 1993 del método de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO 93. La cual ha sido modificada para explicar la contribución estructural de las geomallas biaxiales coextruídas.



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

FIGURA III.35: Sección típica de estructuras de pavimento asfáltico con y sin geomalla biaxial.

La modificación del método de la AASHTO 93 empleando geomallas biaxiales para refuerzo de pavimentos flexibles, se realizó con base en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo a escala real por los autores mencionados.

Los datos recolectados fueron analizados y con base a ellos se desarrolló una metodología aplicable a geomallas de alto módulo de tensión y caracterizadas por su capacidad de trabazón con los agregados y alta resistencia en sus juntas.

Las vías, en general, pueden ser clasificadas dentro de dos grandes grupos: permanentes y temporales dependiendo del tráfico que recibirán, el tiempo de vida que tendrán y el desempeño que se espera de cada una de ellas.

Las vías temporales, generalmente tienen un periodo de vida entre uno y tres años, aproximadamente. Estas esperan un tráfico no muy significativo y por lo tanto casi siempre son vías no pavimentadas. Estas pueden incluir desvíos, producto de alguna obra en proceso, caminos de acceso y plataformas de construcción necesarias para la construcción de vías permanentes o terraplenes sobre suelos blandos. El uso de geosintéticos permite que el equipo pesado pueda transitar por un área que es muy débil para soportar este tipo de carga por si misma ya que su uso puede ser una alternativa económica al uso de tratamientos de mejoramiento más costosos.

Por otro lado, las vías permanentes, que pueden ser pavimentadas o no pavimentadas, generalmente, esperan un tráfico mayor a un millón de pasadas de ejes equivalentes y un periodo de vida que supera los diez años. En este caso, el diseño consiste en determinar los materiales adecuados para asegurar que no habrá una falla prematura de la sección proyectada del pavimento.

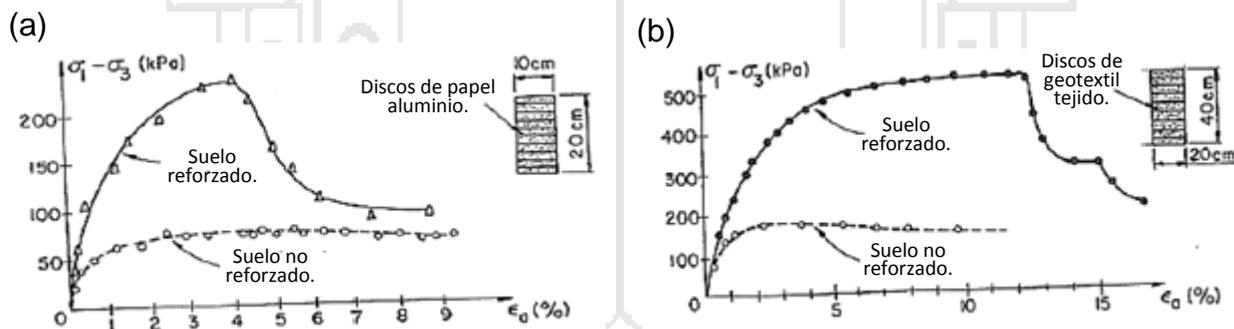
Los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapa, los cuales están diseñados para absorber y disipar los esfuerzos generados por el tráfico, por lo general estas estructuras poseen capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores. Tradicionalmente un pavimento flexible trabaja distribuyendo la carga aplicada hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante. Este tipo de pavimentos lo conforma una capa bituminosa apoyada sobre una capa de base que puede ser piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados (con cementos, cal o asfalto) y una de subbase con material de menor calidad.

III.7.1 Mecanismo de refuerzo generado por la geomalla biaxial.

Un concepto muy utilizado en vías es de “suelo reforzado” que fue investigado experimentalmente por Schlosser and Long (1972) quienes utilizaron ensayos triaxiales para estudiar el comportamiento de muestra de arena reforzadas con discos de papel aluminio, los resultados se pueden observar en la figura III.36

(a). Se demostraron que existen dos modos principales de falla, la rotura de los refuerzos y la pérdida de adherencia; para bajos niveles de esfuerzos el comportamiento de los materiales en los ensayos triaxiales a compresión fue aproximadamente similar al de las muestras sin refuerzo.

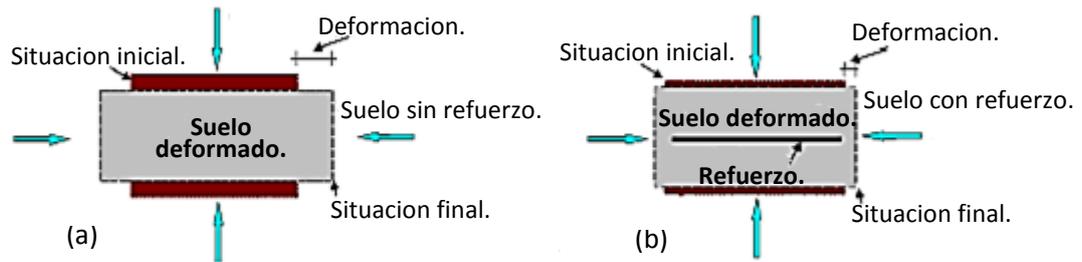
Ensayos similares fueron realizados por Chandrasekaran (1988) en muestras de arena reforzadas con discos de geotextiles tejidos, los resultados se pueden observar en la figura III.36.(b), la diferencia principal entre refuerzos casi inextensibles (discos de papel aluminio) y los refuerzos extensibles (discos de geotextil tejido) es el valor de la deformación necesaria para obtener la resistencia pico cuando ocurre la falla como resultado de la rotura de los refuerzos (3% para refuerzos inextensibles y 12% para refuerzos extensibles). (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012)



Fuente: (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012)

FIGURA III.36: Resultado de los ensayos triaxiales. ;(a) Refuerzo inextensible; (b) refuerzo extensible.

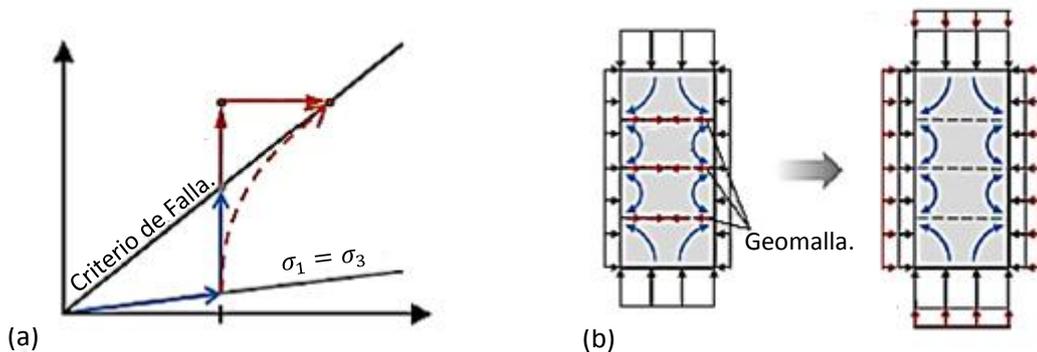
Los suelos en general poseen elevada resistencia a los esfuerzos de compresión pero baja resistencia a los esfuerzos de tracción. Cuando una masa de suelo es cargada verticalmente, esta sufre deformaciones verticales de compresión y deformaciones laterales de tracción (extensión). Sin embargo, si una masa de suelo estuviese reforzada los movimientos laterales de tracción son limitados por la deformabilidad del refuerzo. Esta restricción de deformaciones es obtenida gracias al desenvolvimiento de la resistencia a la tracción en el elemento de refuerzo, ver la figura III.37.



Fuente: (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012)

FIGURA III.37: Deformaciones en masa de suelo. (a) Sin Refuerzo; (b) Con Refuerzo.

La falla para una muestra sin refuerzo ocurre cuando la carga alcanza el límite crítico de la muestra de suelo. Sin embargo, para el caso reforzado los esfuerzos axiales exceden el esfuerzo de rotura de la muestra no reforzada en un $\Delta\sigma_1$, esto se puede apreciar en la figura III.38.(a). Si se considera un espaciamiento de refuerzos reducido se produce dentro del suelo un efecto de confinamiento lateral adicional ($\Delta\sigma_3$) que actúa homogéneamente sobre la muestra de suelo, ver figura III.38.(b).



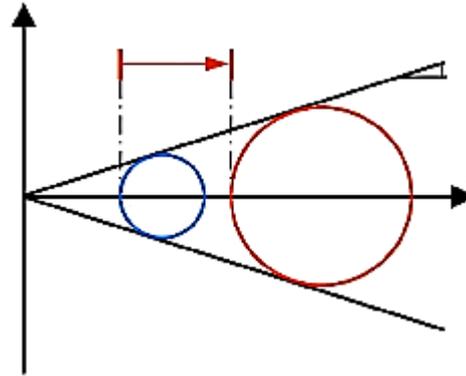
Fuente: (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012)

FIGURA III.38: Incremento de la resistencia de la masa de suelo reforzada.

Otra forma de mostrar el efecto del refuerzo es mediante el círculo de Mohr tal como se presenta en la figura II.39, presentada inicialmente por Vidal en 1969, como se puede apreciar el incremento del esfuerzo axial σ_1 y esfuerzo confinante σ_3 se realiza manteniendo una relación de radios constante σ_1 / σ_3 .

En las obras de ingeniería en cuya función principal del geosintético (geomalla biaxial) es la de refuerzo existen variaciones en los tipos de solicitaciones en cuanto a la intensidad, tiempo de duración, mecanismo de interacción suelo-refuerzo, niveles de deformación, etc. Exigiendo estudios diferenciados y específicos para cada tipo de aplicación. Asimismo el uso correcto de un

geosintético (geomalla biaxial) para refuerzo comienza por el estudio de sus propiedades relevantes, se detallan a continuación: (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012)

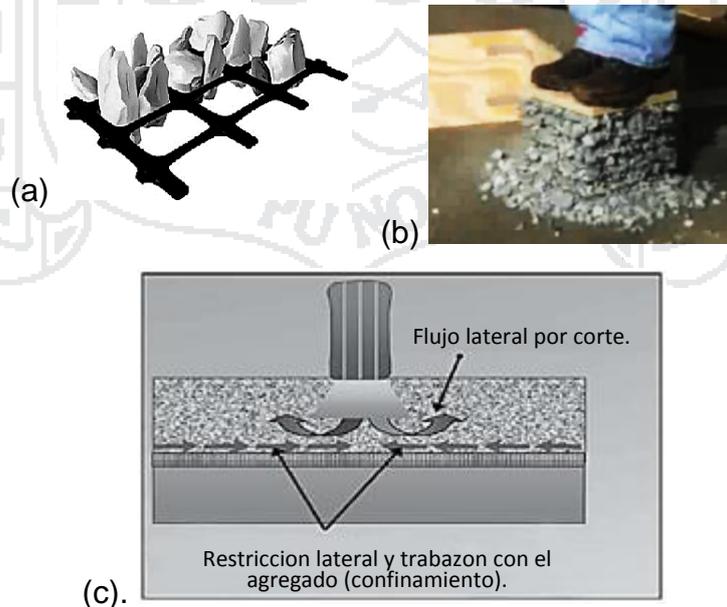


Fuente: (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012)

FIGURA III.39: Incremento de la resistencia de la masa de suelo reforzada.

III.7.1.1 Confinamiento lateral de la base o subbase.

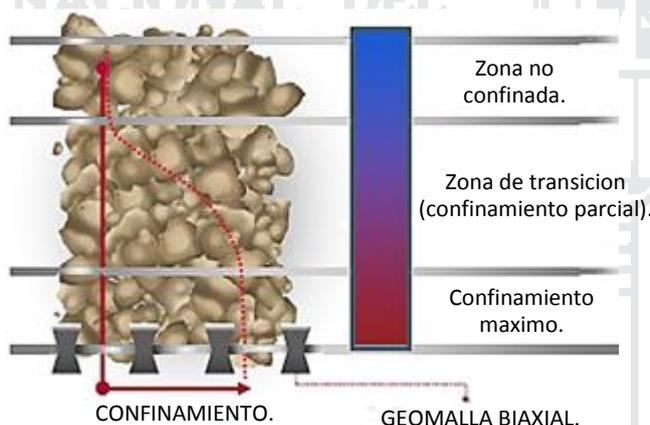
Este confinamiento se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla biaxial con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla biaxial. (ver figura III.40.)



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009)

FIGURA III.40: Confinamiento lateral con el uso de la geomalla biaxial en un material granular. (a)Vista cercana; (b) Interacción de geomalla biaxial y material granular; (c) Restricción lateral que realiza la geomalla.

Si tenemos en cuenta que este confinamiento generado crea una capa de material más rígida; entonces debemos ser conscientes de la importancia de la forma y tipo de abertura para tener un mejor comportamiento del material, el resultado será distinto para cada tipo de geomalla. Además, es importante mencionar que se tendrá un confinamiento “máximo” en la zona próxima al elemento de refuerzo; mientras que, a medida de que nos alejamos de este, este efecto ira disminuyendo (figura III.41.). En algunos casos, cuando el espesor de la capa a reforzar es muy grande, será necesario colocar más de una capa de geomalla para asegurar el correcto comportamiento del material y una capa lo suficientemente rígida para soportar las solicitaciones sobre la estructura. (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014).

FIGURA III.41: Distribución de zonas de confinamiento.

III.7.1.2 Mecanismo de interacción suelo – refuerzo.

La propiedad mecánica de interacción entre el suelo y el elemento de refuerzo es el factor más importante para el diseño y funcionamiento de estructuras en suelo reforzado. La interacción depende del tipo de suelo, tipo de refuerzo y como interactúa una con otra, es la responsable principal de la transferencia de esfuerzos del suelo al refuerzo.

El grado de interacción y el desarrollo del mecanismo de fallo es función de la forma del refuerzo, en la tabla III.23 se muestran algunos de los principales mecanismos. Cabe indicar que la fricción y trabazón no ocurren simultáneamente, para pequeños desplazamientos relativos entre el suelo y el refuerzo ocurre una movilización de fricción en la interface. A medida que

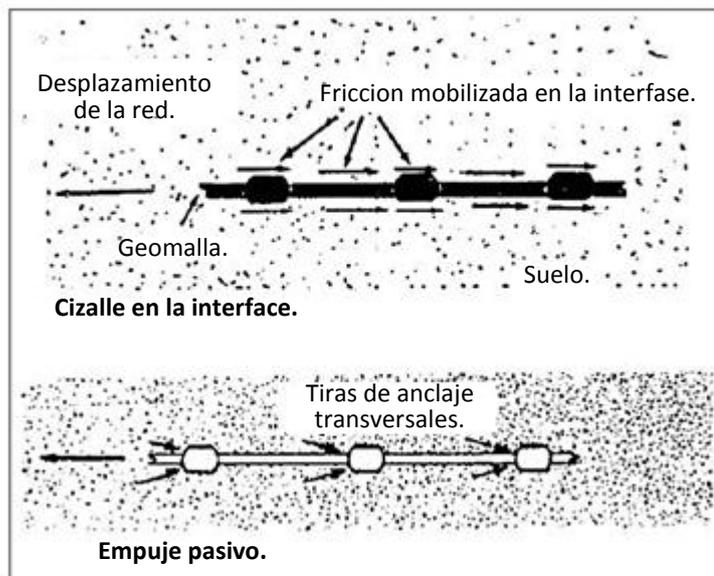
el desplazamiento relativo aumenta ocurre la movilización progresiva del empuje pasivo del suelo sobre los elementos transversales del refuerzo. (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012).

TABLA III.23: Mecanismos de interacción.

	Tipo de Refuerzo	Mecanismo	
		Fricción	Trabazón
Banda Lisa de Metal			
Banda Rugosa de Metal			
Geotextil			
Geomalla			

Fuente: (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012).

La interacción entre el suelo y la geomalla biaxial es función de la fricción de la interface y del empuje pasivo de los miembros de anclaje (figura III.42).



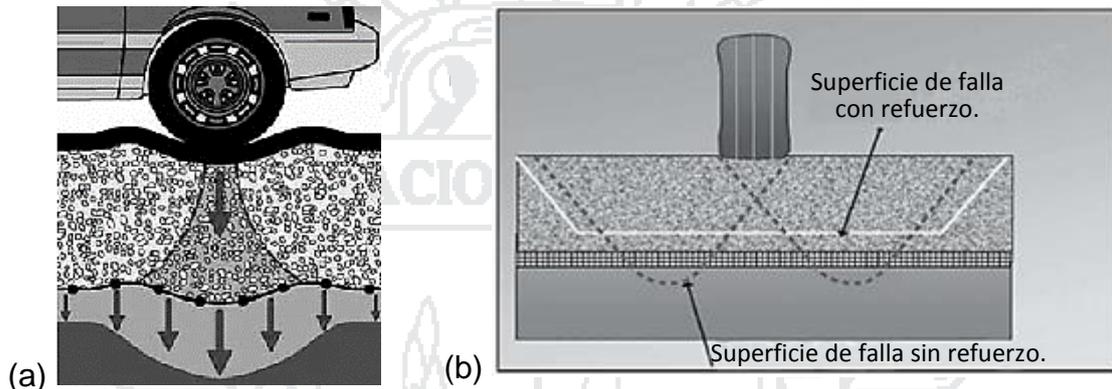
Fuente: (EGOAVIL PEREA, Septiembre 2012)

FIGURA III.42: Mecanismo de interacción suelo-refuerzo.

Lo importante es identificar correctamente el mecanismo de interacción y la elección de una forma precisa de medirlo, los ensayos más comunes son los de corte directo y el de arrancamiento.

III.7.1.3 Mejoramiento de la capacidad portante.

Este mejoramiento se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia, este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto. (figura III.43.).



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)

FIGURA III.43: Capacidad portante. (a)Vista lateral; (b) Vista frontal.

Este mecanismo logra desplazar la superficie de falla, ubicada en un principio en la subrasante blanda, hacia una de mayor resistencia, en este caso la capa granular. Esto es posible ya que la rigidez de la geomalla permite la redistribución de las cargas en un área mayor (figura III.44.) disminuyendo los esfuerzos que el material no competente (suelo blando) debe soportar.



Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)).

FIGURA III.44: Mecanismo de mejoramiento de capacidad de soporte.

Este es un mecanismo considerado al momento de trabajar en vías no pavimentadas o cuando la capacidad portante de la subrasante es muy baja. También se le conoce como efecto del “zapato de nieve” por su similitud con este objeto utilizado en algunos países para poder caminar sobre este tipo de terreno (figura III.45.).

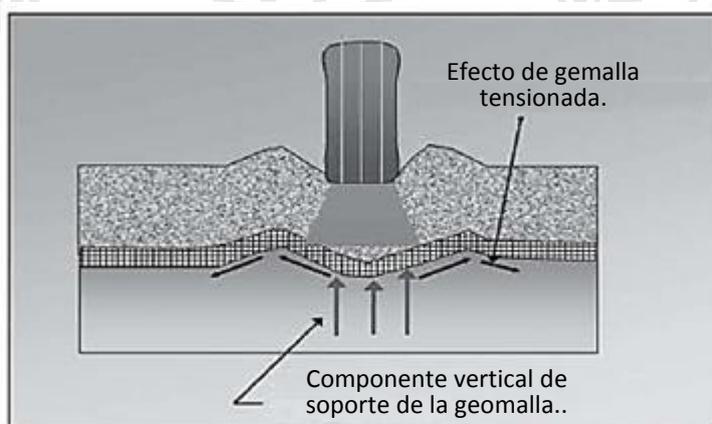


Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)

FIGURA III.45: Efecto de zapato de nieve.

III.7.1.4 Membrana tensionada.

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geomalla biaxial hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla biaxial. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado. (figura II.46.)



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009)

FIGURA III.46: Membrana tensionada.

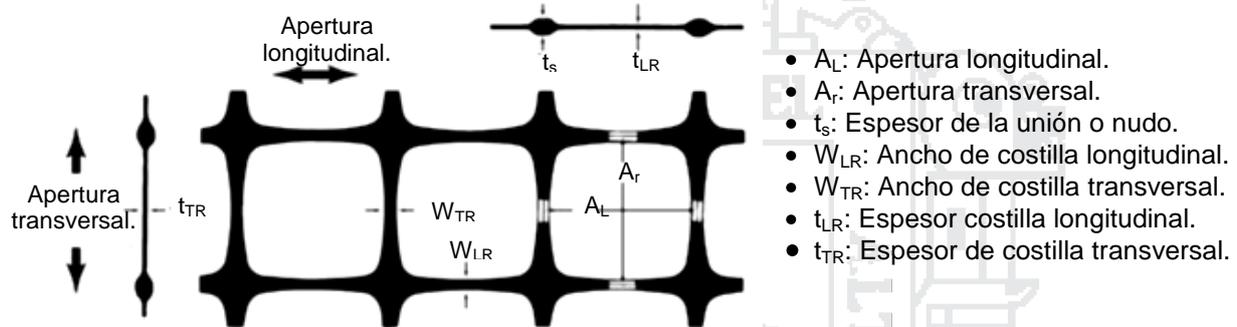
De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían cuatro beneficios principales:

- **Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase:** La colocación de una o varias capas de la geomalla biaxial dentro o en el fondo de la capa de base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla biaxial, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente. La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla biaxial y la coloca en tensión. La alta rigidez de la geomalla biaxial actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se generará constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura. Una deformación lateral más pequeña de la base o subbase se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía.
- **Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo:** Se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una adecuada interacción entre esta y la geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales dinámicas recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.
- **Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante:** En sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o subbase resulta en una distribución de los esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante. En términos generales, el esfuerzo vertical en la subbase o subrasante directamente por debajo de la geomalla biaxial y de la carga aplicada debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base. Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.
- **Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante:** La disminución de la deformación por corte transmitida desde la base o subbase hacia la subrasante a medida que el cortante de la base transmite las cargas tensionales hacia el refuerzo, sumado a los menores esfuerzos

verticales genera un estado de esfuerzos menos severo que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante.

III.8 CARACTERÍSTICA DE LA GEOMALLA BIAxIAL.

La geomalla biaxial cumple un papel importante en el pavimento ya que alcanza un amplio desarrollo, encontrándose distintas aplicaciones; sin embargo, su uso como refuerzo de base tuvo un desarrollo menor debido a la falta de conocimiento de los mecanismos de refuerzo que se presentan al usar este material. En la figura III.47 se muestra una sección de la geomalla biaxial, donde se muestran algunas características que se deben tener en consideración.



Fuente: (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014)

FIGURA III.47: Características físicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB40.

TABLA III.24: Propiedades de la geomalla biaxial que afectan en su comportamiento.

Costillas	Espesor	Mientras más gruesa sea, es mejor.
	Rigidez	Mientras más rígida sea, es mejor.
	Forma	La forma rectangular es mejor.
Apertura	Tamaño	Depende del relleno, se debe asegurar la trabazón.
	Forma	Circular o Cuadrada es mejor.
	Rigidez	Una mayor rigidez es mejor.
Unión	Resistencia	Alta comparada con las costillas (>90%)
General	Rigidez Torsional	Mientras más alta sea, es mejor.
	Estabilidad de la abertura	Cuando es más alta es mejor.

Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)

En la tabla III.24 se presentan los resultados y experiencias obtenidos en la investigación desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – USACOE en el año 1992. En este ensayo, a escala real, se compararon secciones reforzadas con diversos tipos de geomallas biaxiales con el fin de determinar su aporte dentro de la sección de pavimento ensayada y así poder obtener mayor información acerca de las características que afectaban su comportamiento estructural. Por lo tanto, las características más importantes al

momento de elegir una geomalla para utilizarla como refuerzo de base serian: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)

- **Tamaño de la abertura:** Las aberturas de las geomallas deben tener el tamaño suficiente para permitir que los agregados y el suelo de relleno puedan penetrar a través de estas. Sin embargo, también deben ser suficientemente pequeñas para que las partículas puedan generar una trabazón eficaz y asegurar el confinamiento del material dentro de estas.
- **Grosor de las costillas:** Al momento de confinar las partículas de agregado, el grosor de las costillas juega un papel importante ya que mientras mayor sea este, la interacción entre la geomalla y el suelo será mayor. Además, las costillas cuadradas, o rectangulares, tienen un mejor comportamiento para lograr este mecanismo en comparación con las de forma redondeada.
- **Resistencia a la torsión:** Se refiere a la resistencia ante el movimiento de rotación que presenta la unión central de una muestra en el mismo plano de la carga aplicada.
- **Resistencia a la tensión:** En las aplicaciones en pavimentos no es una propiedad determinante ya que se busca que los elementos de refuerzo no soporten altos esfuerzos de tensión sino que puedan soportar las sollicitaciones a partir de otros mecanismos de refuerzo ya mencionados.
- **Resistencia de las juntas:** Se busca la mayor eficiencia posible, es decir, que las juntas sean lo suficientemente resistentes para transmitir las cargas hacia las costillas. Es así que si existiese alguna falla por resistencia, esta debería producirse en las costillas y no en las uniones.

Los ensayos más frecuentes para demostrar las propiedades mecánicas de las geomallas biaxiales se muestran en la tabla III.25, para ver a detalle los ensayos ver el anexo 03.

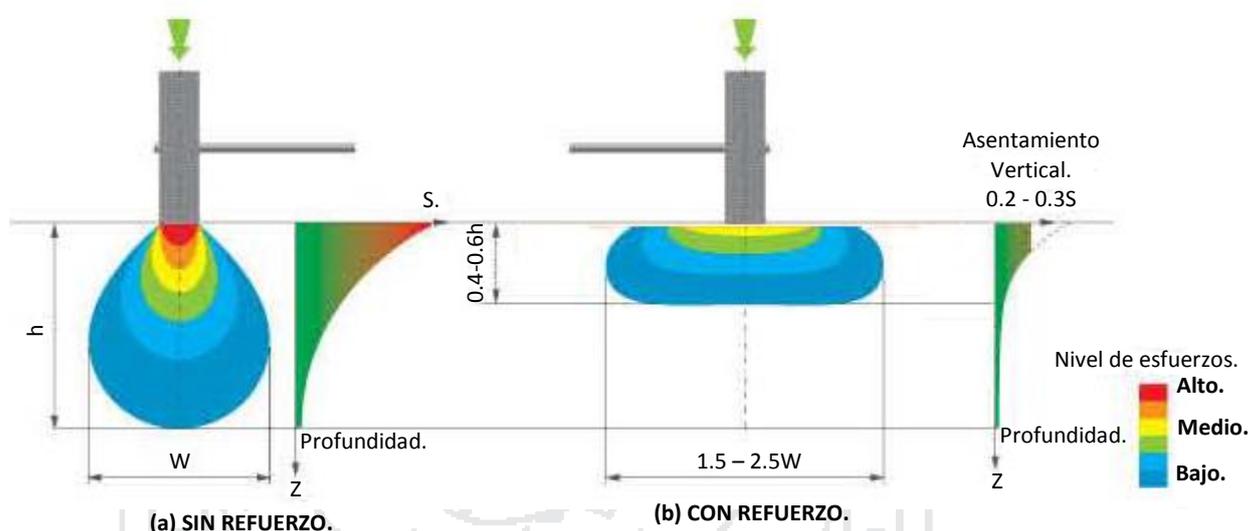
TABLA III.25: Ensayos más frecuentes para demostrar las propiedades mecánicas de la geomalla biaxial.

ENSAYOS	CONCEPTO
Estabilidad de la abertura y resistencia a la torsión.	Se mide la estabilidad de la abertura con una fuerza torsional o torque.
Rigidez y resistencia a la flexión.	Se mide la rigidez y resistencia de un conjunto de costillas.
Resistencia a la tensión.	Se mide la resistencia a la tensión y el comportamiento a la elongación de una costilla tanto longitudinal y transversal.
Resistencia de las uniones o nudos.	Se mide la resistencia a la tensión de los nudos.

Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009).

III.9 ASENTAMIENTOS, ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PAVIMENTO TRADICIONAL Y PAVIMENTO CON APLICACIÓN DE GEOMALLA BIAxIAL.

En la figura III.48 se muestra los asentamientos y nivel de esfuerzos cuando es aplicada una misma fuerza (peso del vehículo) en pavimentos sin geomallas y pavimentos reforzados con geomallas biaxiales. Esta estimación es mediante un software, como se observa en la figura III.48. (b) es muy dependiente de los parámetros de la figura III.48.(a). Es decir, si generamos un bulbo de presiones tal como la figura III.48.(a), entonces podremos calcular el bulbo de presiones (asentamientos y nivel de esfuerzos) del pavimento con refuerzo de geomalla biaxiales.



Fuente: (GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM, Junio 2009)

FIGURA III.48: Sistema de asentamientos y esfuerzos en: (a) pavimento tradicional y (b) pavimento con aplicación de geomallas biaxiales.

- **Deformaciones en pavimento normal:** En la tabla III.26 se muestra las microdeformaciones en un pavimento tradicional, este micro deformación se hace con el software Bisar 3.0, estudio realizado en la ciudad de México. (LIZÁRRAGA LÓPEZ, Octubre 2013).

Las deformaciones o microdeformaciones son para saber aproximadamente en cuanto asienta la capa, además de ello debemos saber que las deformaciones son acusa del asentamiento y de la cantidad de repeticiones de vehículos.

TABLA III.26: Microdeformaciones en pavimento normal.

Capa	Prof. (cm)	Microdeformaciones		Geometría Propuesta
		ϵ_r	ϵ_z	
BTMA	17	8.261E+01		SECCIÓN 1
BASE	37		-1.705E+02	MB 17
SUBBASE	57		-1.358E+02	BG 20
SUBRASANTE	∞		-1.238E+02	SUBBASE 20

Fuente: (LIZÁRRAGA LÓPEZ, Octubre 2013)

ϵ_z : Deformación vertical.

ϵ_r : Deformación tangencial de compresión en la cara superior de los materiales granulares.

CBR de diseño: 8%

- **Deformaciones en pavimento con aplicación de geomalla biaxial:** En la tabla III.27 se muestra las deformaciones de la sección de construcción aplicando sistema de reforzamiento en condiciones de adherencia de la geomalla biaxial con cada una de las capas de la sección del firme flexible. (LIZÁRRAGA LÓPEZ, Octubre 2013)

TABLA III.27: Microdeformaciones en pavimentos aplicados con geomalla biaxial.

Capa	Espesor cm	Prof. (cm)	Microdeformaciones	
			ϵ_r	ϵ_z
BTMA	17	17	-0.0358	
GEOMALLA BIAxIAL 1	1	18	-0.0464	
BASE	20	38		0.1619
GEOMALLA BIAxIAL 2	1	39	-0.0140	
SUBBASE	30	69		0.1052
SUBRASANTE	∞			0.1690

Fuente: (LIZÁRRAGA LÓPEZ, Octubre 2013)

III.10 DRENAJE.

La humedad es una característica muy especial de los pavimentos, ya que esta reviste de importancia sobre las propiedades de los materiales que conforman la estructura de un pavimento flexible, pero sobre todo en el comportamiento de los mismos. Por tal motivo se hace necesario analizar los distintos métodos por medio de los cuales se pretende reducir o eliminar el agua en la estructura de un pavimento flexible. La evacuación del agua en los pavimentos flexibles es considerada como parte primordial del diseño de carreteras. El exceso de agua en combinación con el incremento del volumen de tránsito y de cargas, junto con el transcurrir del tiempo, se combinan para ocasionar daño a la estructura del pavimento flexible. Esta puede penetrar en la estructura del pavimento por medio de las grietas, juntas o bien por infiltración del pavimento.

Por tal motivo es indispensable encontrar soluciones a los problemas de humedad en los pavimentos, que consisten básicamente:

- Prevenir la penetración del agua dentro del pavimento.
- Proveer de drenaje necesario para remover el exceso del agua rápidamente.
- Construir pavimentos resistentes a los efectos combinados de cargas y agua.

Para evitar que el agua penetre dentro de la parte inferior de la estructura del pavimento flexible, es necesario construir drenajes para el control o reducción de los problemas causados por el agua, divididos en las siguientes categorías:

- Drenajes superficiales
- Sub-drenajes
- Estructuras de drenaje

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la sub-rasante, lo que hace un camino de mejor calidad, así como en determinado momento el uso de capas de menor espesor.

Existen dos formas para calcular el tiempo de drenaje para la capa de un pavimento, el primero es la aproximación del tiempo para drenar, en el cual se considera únicamente el agua de infiltración, y el segundo es el del caudal constante, considerando las fuentes de ingreso y egreso del agua, éstas se cuantifican y la base permeable se dimensiona para poder conducir el agua de estos caudales de diseño. (CABALLEROS TORRES, Octubre 2006)

a) Método del tiempo para drenar: El agua de lluvia que se infiltra en la superficie de un pavimento flexible, llega hasta el nivel de la base, la cual al hacer contacto la satura completamente, de aquí que se debe tener en cuenta que la capa de base debe ser perfectamente permeable, ya que una vez termine de llover, el agua debe de escurrir saliendo de la base lo más rápido posible, con el fin de que la saturación de los materiales no cambie las características mecánicas de la capa.

El posible daño que pueda sufrir la estructura del pavimento, depende del tiempo que le tome al agua en escurrir, así como de las condiciones climáticas de la zona. Es conveniente que la estructura se drene en un lapso de media a una hora como máximo, con el objeto de minimizar los posibles daños, por el

efecto de la presencia de humedad en las capas. Para realizar en análisis correspondiente es necesario contar con los siguientes datos:

- Pendiente longitudinal
- Pendiente transversal
- Espesor de la capa a drenar
- Ancho de la base permeable

b) Método del caudal constante: Este método se basa en la suposición de que existe un caudal uniforme de filtración y que el sistema de drenaje debe diseñarse para drenar esta agua. Su mayor defecto es la dificultad de poder determinar la cantidad de agua que entra y sale a la estructura del pavimento, una solución real es la de evaluar todas las fuentes de agua que se mueven dentro del pavimento tales como:

- Caudal total de entrada.
- Caudal de infiltración.
- Caudal de entrada por efecto de la gravedad.
- Caudal por derretimiento de hielo.
- Caudal de salida por flujo vertical.

Además, es necesario conocer las granulometrías y permeabilidades de los materiales que se tengan en el proyecto. Las bases que son permeables son excelentes para permitir la evacuación rápida del agua de una estructura de pavimento. Estas bases pueden estar construidas con materiales estabilizados o no, ya que en una buena base drenante, el agua libre no debe de permanecer más de dos horas después de finalizada la lluvia.

Al efectuar la construcción de una carretera, es necesario prever un buen sistema de colectores longitudinales, (cunetas), que tengan el diámetro requerido y relación directa con el aporte de agua de la estructura del pavimento, y evitar en lo posible que el agua a drenar no escurra sobre los taludes.

Un buen análisis del sistema de drenajes que se adecue a las condiciones del pavimento, aumenta la vida útil del mismo disminuyendo en gran parte la posibilidad de daños producidos por el agua.

III.11 GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL AASHTO 93 PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

III.11.1 Factores a considerar en el cálculo de pavimentos por el método AASHTO 93.

A. Factores a considerar en el cálculo de la AASHTO 93 tradicional: El diseño de la estructura del pavimento es establecer espesores y rigideces de los materiales para mantener la vía bajo un cierto nivel de deterioro y confort. En un diseño de vía siempre es necesario estudiar todos los factores de diseño de la vía (figura III.49.), pues de estos dependen si una vía será de confort, que es esencial para el usuario.

Es muy importante saber cuáles son las etapas de diseño de pavimentos, ya que esto hará en lo posible una secuencia correcta y eficaz de diseño:

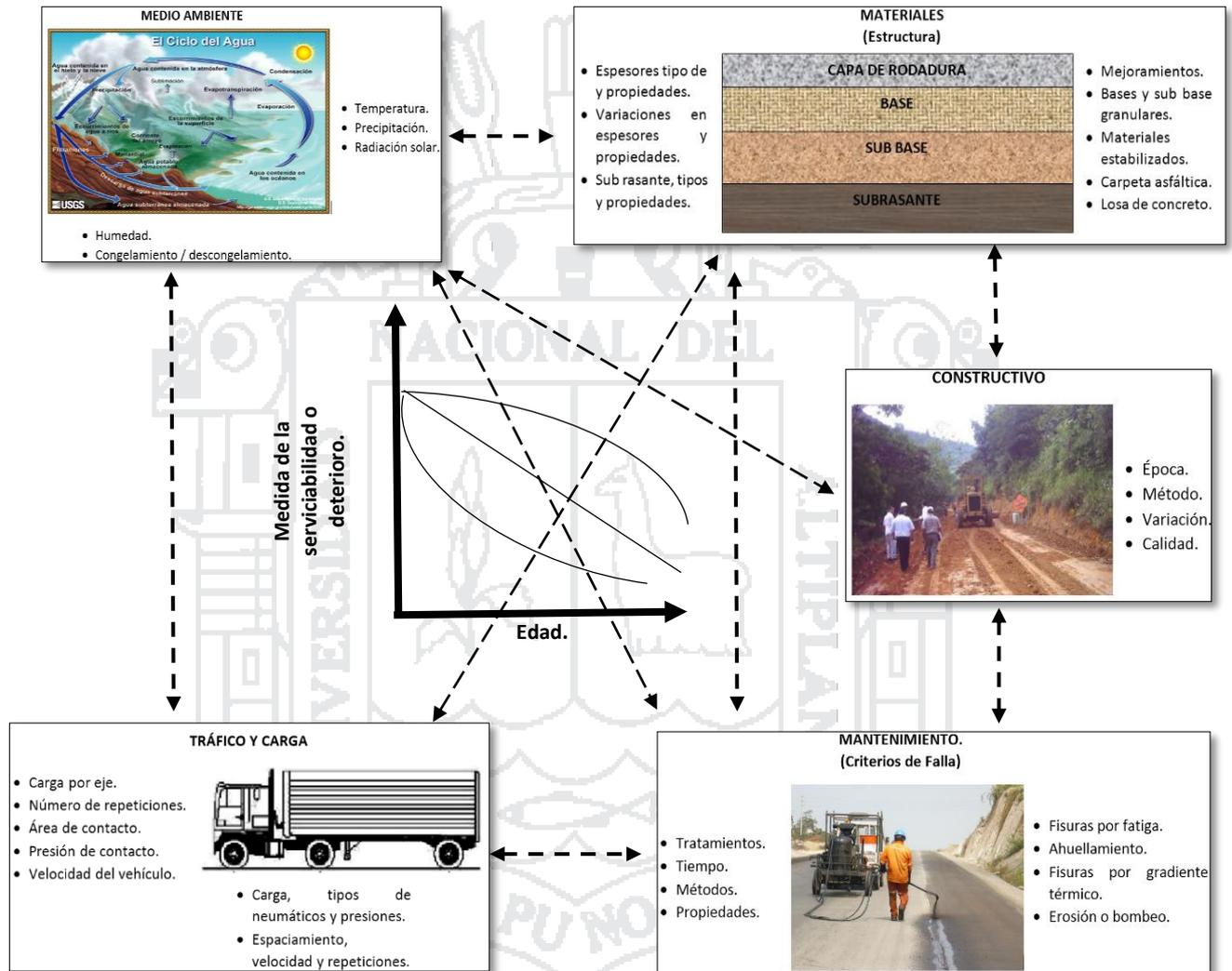
- Estudio de la subrasante.
- Definición del tipo de superficie de rodadura y los componentes estructurales.
- Selección de los materiales.
- Estudio de tráfico.
- Sectorización del tramo.
- Diseño de los espesores de cada capa.
- Análisis del ciclo de vida (incluido mantenimiento y tipo de ejecución).
- Determinación del tipo de pavimento y de los espesores finales.

B. Factores a considerar en el cálculo de la AASHTO 93 con aplicación de geomalla biaxial: En el diseño de la estructura del pavimento con aplicación de geomalla biaxial es establecer espesores y rigideces de los materiales para mantener la vía bajo un cierto nivel de deterioro y confort. Y por supuesto buscar la economía en la construcción.

Es muy importante saber cuáles son las etapas de diseño de pavimentos (claro está que debemos considerar los factores de del AASHTO 93), ya que esto harán en lo posible una secuencia correcta y eficaz de diseño:

- Estudio de la subrasante.
- Definición del tipo de superficie de rodadura y los componentes estructurales.
- Selección de los materiales.

- Estudio de tráfico.
- Sectorización del tramo.
- Diseño de los espesores de cada capa.
- Coeficiente de relación de la geomalla biaxial (LCR vs CBR)
- Análisis del ciclo de vida (incluido mantenimiento y tipo de ejecución).
- Determinación del tipo de pavimento y de los espesores finales.



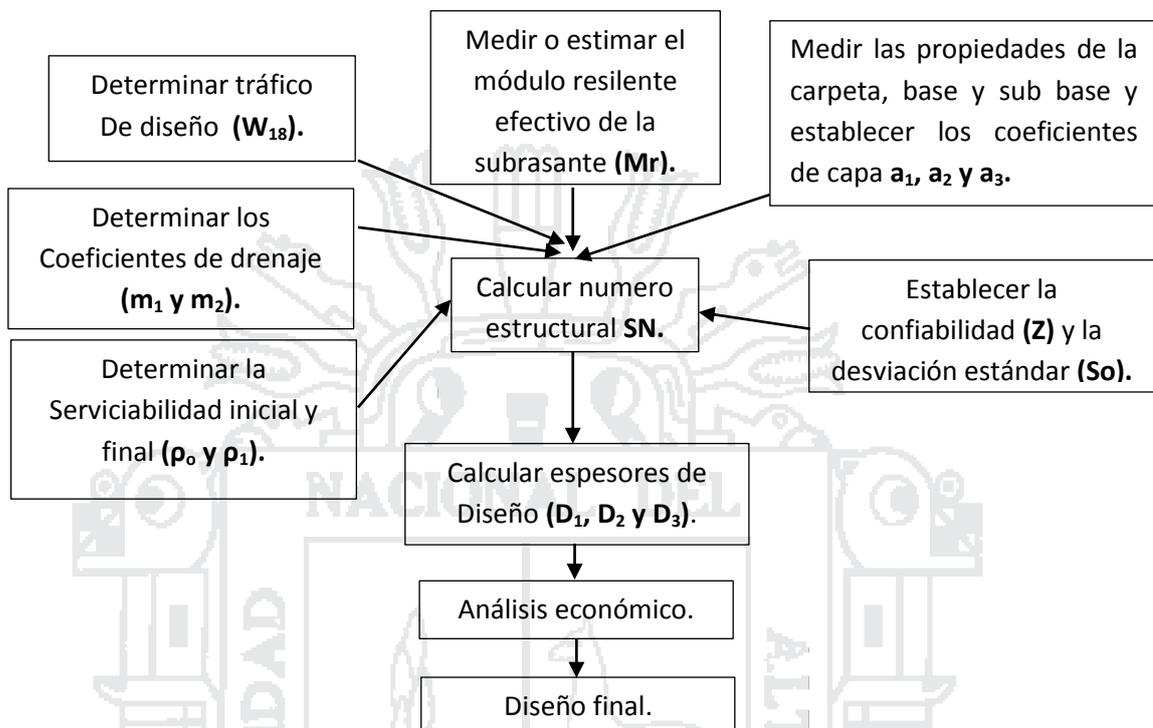
Fuente: (MENENDEZ ACURIO, Diciembre 2009).

FIGURA III.49: Factores de diseño de pavimentos.

III.11.2 Diagrama de diseño de AASHTO 93 tradicional.

El método de diseño de la American Association of State Highway, and Transportation Officials (AASHTO 93) toma en cuenta que las ecuaciones originales fue desarrollado bajo determinados escenarios climáticos y con un conjunto específico de materiales de pavimento y suelos de subrasante. Para

ello necesitamos la secuencia de diseño (figura III.50.), el cual nos haga desarrollar con la menor cantidad de errores posible.



Fuente: (M.Sc. Ing. MENENDEZ ACURIO, Diciembre 2009)

FIGURA III.50: Diagrama de diseño de pavimento, según AASHTO 93.

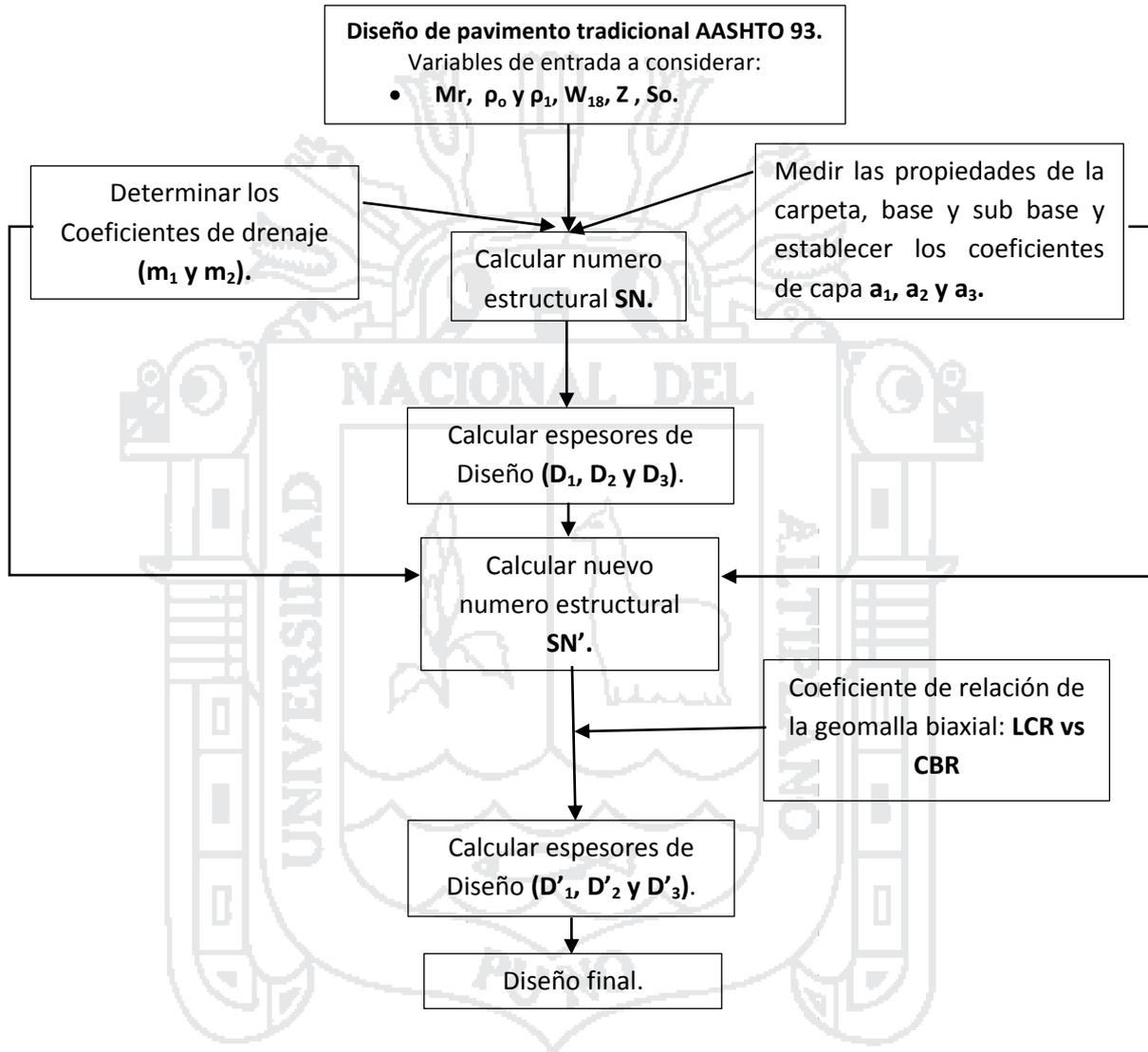
Procedimiento de Diseño:

- Calcular el tráfico para el periodo de diseño (W_{18}).
- Determinar la confiabilidad R y la desviación estándar total S_o .
- Establecer el módulo de resiliencia efectivo de la subrasante M_r .
- Determinar la pérdida de serviciabilidad de diseño.
- Obtener el numero estructural SN (Abaco o formula).
- Establecer los espesores que satisfagan SN .

III.11.3 Diagrama de diseño de AASHTO 93 con aplicación de geomalla biaxial.

En el método diseño AASHTO 93 se tomara muy en cuenta en las ecuaciones al calcular el número estructural (SN); pues ahí interviene las geomallas biaxiales, para poder modificar el SN originales, para generar un nuevo valor, considerando esencialmente los coeficientes de drenaje (m_1 y m_2), coeficientes

de capa (a_1 , a_2 y a_3) y los espesores de diseño (D_1 , D_2 y D_3) para poder calcular nuevos espesores de diseños (D'_1 , D'_2 y D'_3). Para ello seguimos el diagrama de diseño (figura III.51.), el cual nos haga desarrollar con la menor cantidad de errores posible.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA III.51: Diagrama de diseño de pavimento con aplicación de geomallas biaxial, según AASHTO 93.

III.11.4 Diseño de la AASHTO 93 tradicional para pavimentos flexibles.

Para la definición de los espesores de intervención por medio del método de la guía de AASHTO 93 se debe, en primera, instancia, definir ciertas variables de entrada.

a. Procedimiento de diseño.

El método AASHTO 93 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinada capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad. Con la ecuación de diseño empírica usada en AASHTO 93 (ecuación III.3) se busca el número estructural requerido por el proyecto:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10} SN + 1 - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07 \quad (III.3)$$

Donde:

- SN : número estructural requerido por la sección de carretera
- W_{18} : número de ejes equivalentes de 80 kN (18,000 lb), en el período de diseño.
- Z_R : desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R, de diseño)
- S_0 : error estándar por efecto del tráfico y comportamiento
- ΔPSI : variación del índice de serviciabilidad.
- M_R : módulo resiliente de la subrasante medido en psi

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

$$SN = a_1 D_1 \times a_2 D_2 m_2 \times a_3 D_3 m_3 \quad (III.4)$$

Donde:

- a_i : coeficiente de la capa i (1/pulg.)
- D_i : espesor de la capa i (pulg.)
- m_i :coeficiente de drenaje de la capa i (adimensional)

Los subíndices 1,2 y 3 (ecuación III.4) se refieren a las capas de carpeta asfáltica, base y sub base (si se aplica) respectivamente. Los coeficientes de capa dependen del módulo resiliente del suelo (MR), se determinan empleando los conceptos esfuerzo-deformación de un sistema multicapa.

b. Cálculo del número estructural requerido.

El diseño de la carretera depende del tráfico esperado durante la vida de servicio y la confiabilidad en el comportamiento. Luego de caracterizar el suelo de la subrasante y seleccionar los valores de confiabilidad (R), para el error estándar S_o y ESAL estimado, se puede determinar el valor del número estructural, SN, la ecuación (III.3). A continuación se detallan los parámetros de diseño y recomendaciones de AASHTO 93. (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005)

b.1 Período de Diseño

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

TABLA III.28: Periodos típicos de diseño.

Condiciones de Carreteras	Período de Análisis
Vías urbanas con alto volumen	30-50
Vías rurales con alto volumen	20-50
Pavimentadas con bajo volumen	12-25
Superficie granular con bajo volumen	10-20

Fuente: (MONTEJO FONSECA, 2002)

b.2 Tránsito

El diseño considera el número de ejes equivalentes (ESAL) para el período de análisis (W_{18}) en el carril de diseño. A partir de conteos vehiculares y conversión a ejes equivalentes, el diseñador debe afectar el ESAL en ambas direcciones por factores direccionales y de carril (si son más de dos), aplicando la siguiente ecuación:

$$W_{18} = DD \times DL \times w^{18} \quad (III.5)$$

Donde:

- DD: factor de distribución direccional.
- DL: factor de distribución por carril.
- w^{18} : tráfico total en ambas direcciones para el período de diseño.

El factor de distribución direccional DD generalmente es 0.5 (50%) para la mayoría de las carreteras; sin embargo, este puede variar de 0.3 a 0.7 dependiendo de la incidencia de tráfico en una dirección. Los factores de

distribución por carril, DL, recomendados por AASHTO 93 se muestran en la tabla III.29.

TABLA III.29: Factor de distribución por carril DL.

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

Fuente: (MONTEJO FONSECA, 2002)

b.3 Factor de confiabilidad, R

Es una medida que incorpora algún grado de certeza en el proceso de diseño para asegurar que los diferentes parámetros alcancen el período de análisis. La tabla III.30. Presenta los niveles recomendados de confiabilidad para diferentes clasificaciones funcionales.

TABLA III.30: Niveles sugeridos de confiabilidad, R

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectores	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

Fuente: (S. MINAYA & A. ORDÓÑEZ, 2005)

b.4 Desviación Estándar Normal (ZR)

La desviación estándar normal está en función de la confiabilidad del proyecto, R. En la tabla III.31 se muestran los valores de desviación estándar correspondiente a diferentes niveles de confiabilidad.

b.5 Efectos medioambientales

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

TABLA III.31: Desviación estándar, Z_R.

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

Fuente: (S. MINAYA & A. ORDÓÑEZ, 2005)

b.6 Pérdida de serviciabilidad

La serviciabilidad se define como la calidad de servicio del pavimento. La primera medida de la serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad Presente, PSI, que varía de 0 (carretera imposibles de transitar) a 5 (carretera perfecta). El PSI se obtiene midiendo la rugosidad y daño (agrietamiento, parchado y deformación permanente) en un tiempo en particular durante la vida de servicio del pavimento. La rugosidad es el factor dominante para estimar el PSI del pavimento. La guía AASHTO 93 usa la variación total del índice de Serviciabilidad (Δ PSI) (ecuación III.6) como criterio de diseño, que se define como:

$$\Delta\text{PSI} = p_o - p_t \quad (\text{III.6})$$

Donde:

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

b.7 Módulo resiliente efectivo del suelo:

Las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante se caracterizan en AASHTO 93 por el módulo resiliente, MR.

El módulo resiliente mide las propiedades elásticas reconociendo sus características no lineales. El módulo resiliente se correlaciona con el CBR, mediante la siguiente ecuación:

$$MR [\text{psi}] = 1500 \times \text{CBR} \quad (\text{III.7})$$

$$MR [\text{kPa}] = 10342 \times \text{CBR} \quad (\text{III.8})$$

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

c. Procedimiento de diseño.

El número estructural requerido se convierte a espesores de concreto asfáltico, base y sub base, por medio de coeficientes de capa y utilizando la ecuación III.3.

c.1 Coeficientes de capa a_i

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

- **Concreto asfáltico.-** La figura III.52 muestra la carta sugerida por AASHTO 93, para definir el coeficiente estructural de concreto asfáltico de gradación densa basado en su módulo elástico (EAC) a 68°F. Este módulo elástico es el Módulo Dinámico Complejo, E^* , obtenido de ensayos cíclicos, o se puede emplear el coeficiente estructural que se obtiene de la AASHTO 93 FOR DESIGN OF PAVIMENT STRUCTURES.

$$a_1 = 0.7304 - 0.1271 \times \ln(T^\circ\text{C aire}) \quad (\text{III.9.})$$

- **Base.-** La figura III.53 muestran la carta utilizada para definir el coeficiente estructural, a_2 , de base granular, tomando en cuenta cuatro diferentes ensayos de laboratorio.
- **Sub base granular.-** La figura III.54 muestra la carta que puede ser usada para calcular el coeficiente de capa, a_3 , para una subbase granular a partir cuatro diferentes ensayos de laboratorio, incluyendo el módulo resiliente de la sub base.

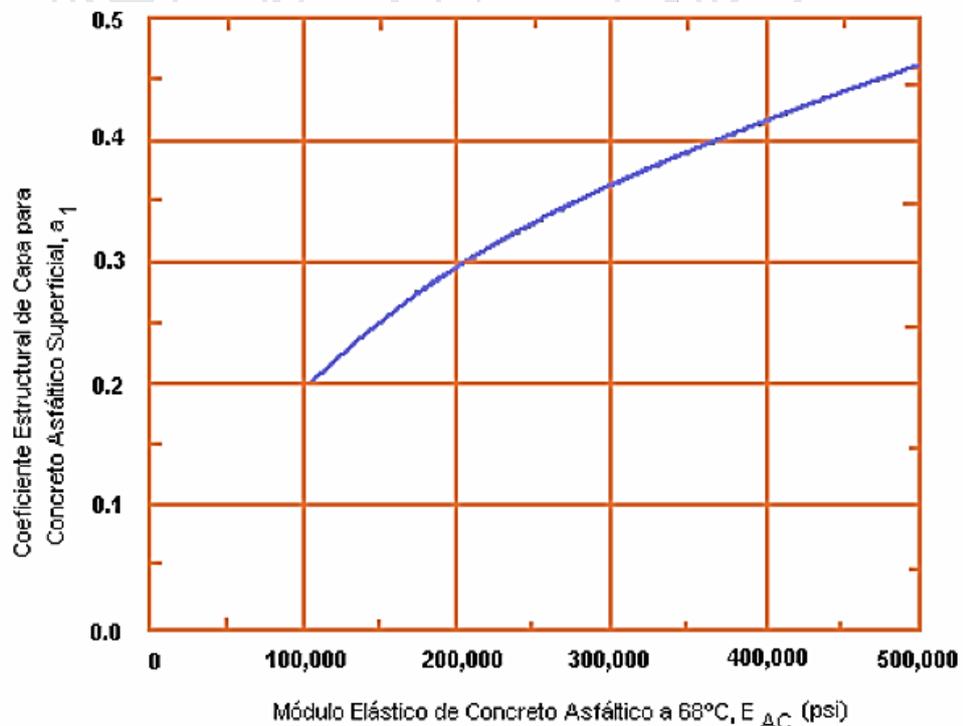
c.2 Coeficientes de drenaje

El método AASHTO 93 asume que la resistencia de la subrasante y base permanecerá constante durante la vida de servicio del pavimento. Para que esto sea cierto, la estructura de pavimento debe tener drenaje apropiado. La calidad de drenaje se incorpora al diseño, modificando los coeficientes de capa. El factor que modifica el coeficiente de capa se representa por m_i . El posible efecto del drenaje en el concreto asfáltico no se considera. La tabla III.32. Presenta las definiciones generales correspondientes a los diferentes niveles de drenaje.

TABLA III.32: Condiciones de drenaje.

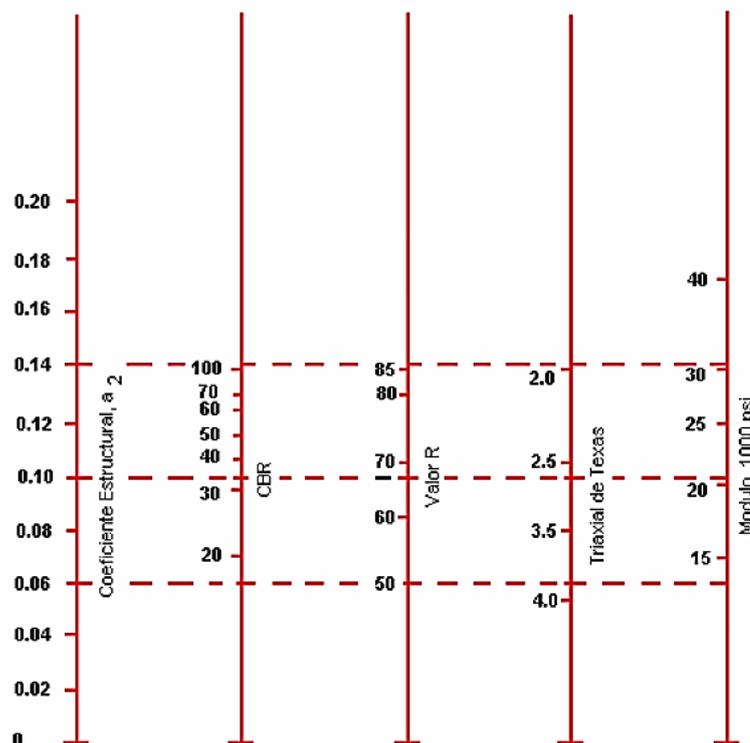
Calidad de drenaje	Retiro de agua dentro de :
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena.

Fuente: (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005)



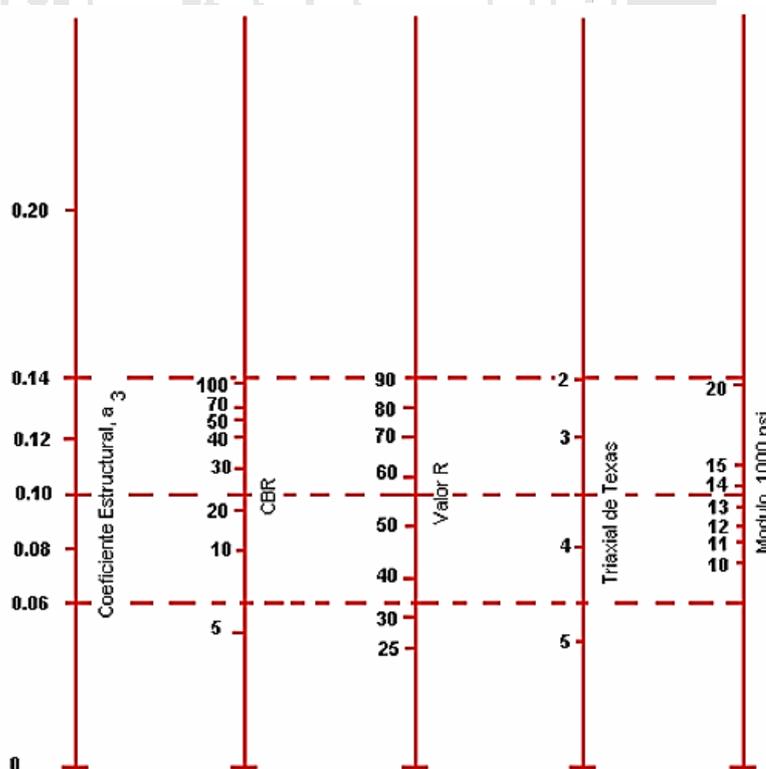
Fuente: (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005)

FIGURA III.52: Carta para calcular el coeficiente estructural de concreto asfáltico de gradación densa.



Fuente: (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005)

FIGURA III.53: Variación de coeficiente de capa de base granular (a_2) con la variación de los parámetros de resistencia.



Fuente: (S. MINAYA & A. ORDOÑEZ, 2005)

FIGURA III.54: Variación de coeficiente de capa de subbase granular (a_3) con la aplicación de los parámetros de resistencia.

La tabla III.33 muestra los coeficientes recomendados dependiendo de la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento podría estar expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

TABLA III.33: Coeficiente de drenaje recomendados, m_i .

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

Fuente: (S. MINAYA & A. ORDÓÑEZ, 2005)

III.11.5 Diseño de la AASHTO 93 para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas biaxiales.

1. **Cálculo del número estructural según metodología AASHTO 93 de la estructura inicial entregada por los diseñadores del proyecto.** La contribución estructural de una geomalla biaxial MacGrid 40 en un sistema de pavimento flexible puede cuantificarse con el incremento al esfuerzo del coeficiente de la capa de base de la vía. Por lo anterior, la ecuación tradicional de la AASHTO 93 ecuación (III.10.) para determinar el número estructural (SN) se modifica con un coeficiente de mejoramiento de capa (LCR, Layer Coefficient Ratio), ahora se convierte en ecuación III.11.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \dots (III.10)$$

$$SN = a_1D_1 + a_2LCRD_2m_2 + a_3D_3m_3\dots (III.11)$$

Donde el LCR tiene un valor superior a uno. Este valor es determinado basándose en los resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de la geomalla biaxial, como se describe en la ecuación III.12.

2. Cálculo de la estructura sustituyendo la base granular.

El SN_r (sección reforzada) y SN_u (sección no reforzada) fueron evaluados bajo condiciones de pavimentos iguales, por ejemplo igual profundidad de base, igual valor de CBR del suelo de desplante o terreno natural, igual profundidad de ahuellamiento, pero utilizando diferentes periodos de vida de servicio como se muestra en la figura III.55.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2 D_2} + 1 \dots\dots (III.12.)$$

3. Cálculo del nuevo espesor de la capa de subbase con refuerzo.

Basándose en la ecuación anterior se calcula el valor de LCR, el cual se obtuvo de ensayo realizado de la sección típica de la vía para la estructura sin refuerzo y refuerzo aplicando geomalla de 20 kN/m, 30 kN/m y 40 kN/m de resistencia a la tensión figura III.55. El valor del LCR oscila entre 1.25 y 1.85 dependiendo básicamente del valor del CBR del terreno natural y los ESALs para una profundidad de ahuellamiento de la carpeta asfáltica (rating) de 12.5 ms. La reducción en espesor de la base es evaluada con el uso de una geomalla biaxial con la ecuación (III.13.), asumiendo que no existe una capa de subbase.

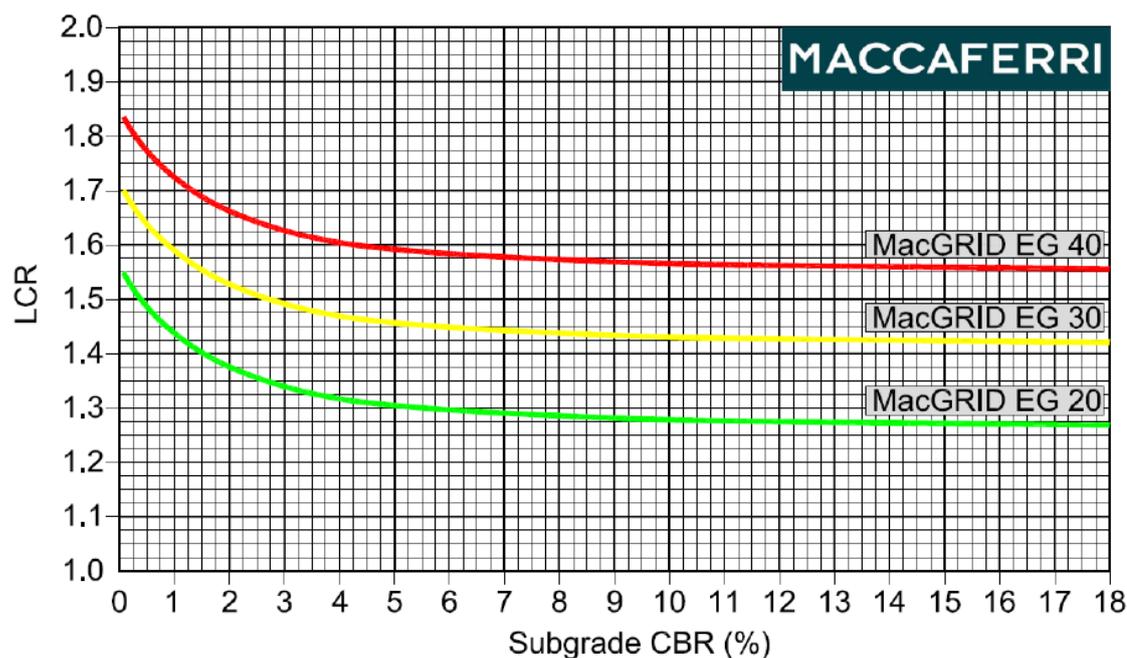
$$D_2 = \frac{SN_r - a_1 D_1}{LCR a_2 m_2} \dots\dots (III.13)$$

4. Cálculo del aporte estructural de la capa reforzada. Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación III.14:

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2 m_2}{a_1} \dots\dots (III.14)$$

$$D_2 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2 m_2}{a_1} + 1 \dots\dots (III.15)$$

Usando el gráfico de diseño figura III.55 es posible calcular el espesor de D_2 de la base en una vía reforzada en pavimentos flexibles. De acuerdo a los valores (D_1 , a_1 , D_2 , a_2 , m_2) de una sección no reforzada es posible determinar el SN (número estructural) para una sección reforzada considerando que el CBR de la subrasante es proporcional al valor de LCR dado la gráfica de diseño. Posteriormente utilizando la ecuación III.15 puede determinarse el espesor D_2 (Ahorro relativo en costo) y se hace un refuerzo de vía en pavimentos flexibles.



Fuente: (MACCAFERRI, REFERENCE MANUAL - MACREAD 2.0 AASHTO, 2012)

FIGURA III.55: LCR vs. CBR Para tres profundidades de ahuellamiento.

5. Verificación del aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla biaxial.

Para que la estructura sea constructivamente viable los espesores calculados, por lo general, son modificados para facilitar su proceso constructivo. Es por eso que se debe verificar que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura, por lo que el número estructural de las capas granulares con respecto al paso 4, debe ser en lo posible iguales.

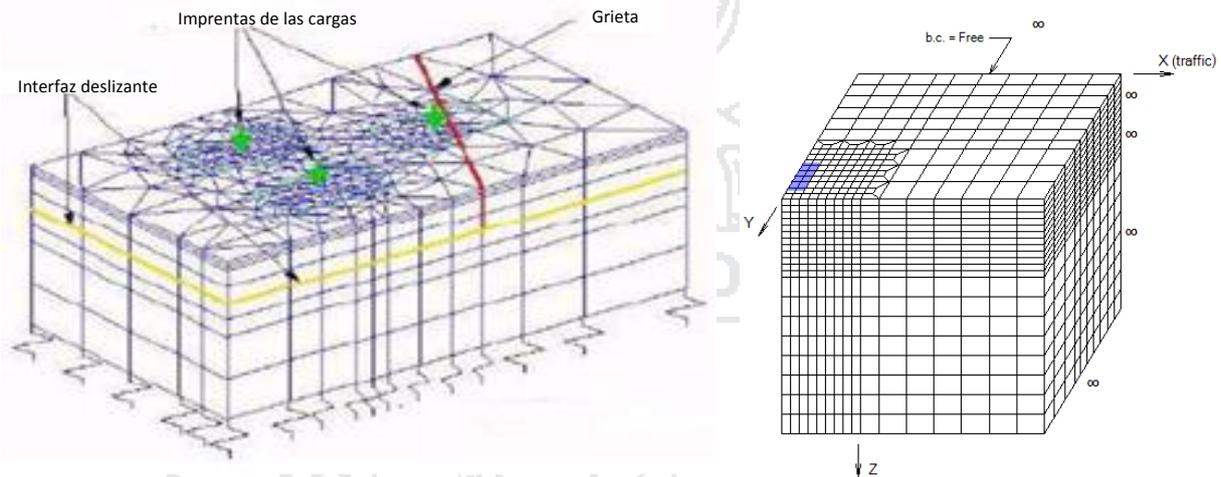
6. Análisis de disminución de espesor debido a la inclusión de geomalla biaxial.

La geomalla biaxial funcionan como material de refuerzo, en este caso su aporte a la estructura generó una reducción en los espesores de material granular. El ingeniero diseñador debe tener en cuenta todas las posibilidades de diseño que se puedan generar con la inclusión del refuerzo y escoger la más viable tanto económica como constructivamente posible, en el caso mostrado se redujeron los espesores de material granular. Para cualquiera de los casos de estudio, se deben realizar los cálculos teniendo en cuenta la experiencia del ingeniero, sin dejar a un lado el estudio y conocimiento de los materiales que se emplearán para la construcción de la estructura.

III.12 MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO CON ELEMENTOS FINITOS.

Fundamento teórico del modelo constitutivo

1. Discretizar el medio de interés: El medio de discretizar el pavimento flexible se divide en un número de elementos de formas geométricas simples, denominadas elementos finitos, con las cargas de las ruedas en la parte superior.



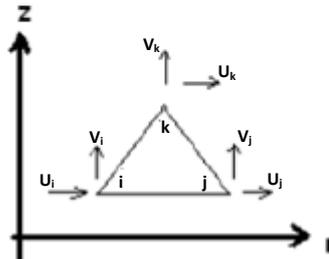
Fuente: (LIZÁRRAGA LÓPEZ, Octubre 2013)

FIGURA III.56: Discretización de capas por elementos finitos.

2. Determinar las características de cada elemento: A partir de los elementos y de sus funciones de interpolación, se desarrolla una expresión matricial (matriz elemental) para relacionar las fuerzas con los desplazamientos en las esquinas de cada elemento.

3. Determinar las características de cada elemento: Vectores de distribución de fuerzas.

$$\begin{bmatrix} H_i \\ H_j \\ H_k \\ V_i \\ V_j \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{12} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{13} & K_{23} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{14} & K_{24} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{15} & K_{25} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{16} & K_{26} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \\ U_k \\ V_i \\ V_j \\ V_k \end{bmatrix} = \mathbf{0}\{f\}[k]\{V_i\}$$



- **K11:** Es la fuerza horizontal en el nodo i causada por un desplazamiento virtual de 1 en el nodo.
- **K12:** Es la fuerza horizontal causada por un desplazamiento horizontal de 1 en el nodo j .

4. Ensamblar las ecuaciones elementales: Las matrices elementales se sustituyen para formar un conjunto de ecuaciones algebraicas que describen el problema global.

$$\{F\} = [k] * \{V\}$$

5. Incorporar condiciones de borde: Se incorporan condiciones de borde dentro de la matriz global (fondo y lados de la región de análisis escogida).

6. Resolver sistema de ecuaciones algebraicas: El conjunto de ecuaciones algebraicas es resuelto mediante un método matricial adecuado a través de un programa de cómputo que provee los desplazamientos en todos los nodos y determinado, a partir de ellos, los esfuerzos y deformaciones de los elementos así como sus direcciones en el plano.

7. Salida de resultados: Las salidas son las mismas mediante un modelo elástico multicapa:

- **Esfuerzo:** La intensidad de las fuerzas internamente distribuidas en diferentes puntos de la estructura del pavimento.
- **Deformación:** El desplazamiento unitario a causa del esfuerzo.
- **Deflexión:** cambio lineal en una dimensión.

Programas que se pueden utilizar:

- Multiphysics.
- Abaqus.
- EverStressFE

III.13 HIPÓTESIS Y VARIABLES.

III.13.1 Hipótesis.

III.13.1.1 Hipótesis General.

- La aplicación de los geosintéticos en la base y sub-base de una carretera mejora la calidad del material gracias a sus propiedades físico-mecánicas, por ende se optimiza el costo, el tiempo de construcción; lográndose buenos resultados largo del tiempo.

III.13.1.2 Hipótesis Específico.

- Los estudios y ensayos de laboratorio muestran la clasificación, aplicación y propiedades físicas-mecánicas de los diferentes geosintéticos para construcción de la base y subbase de una carretera.
- La construcción con el uso de geo-sintéticos de la base y subbase en carreteras demuestra la optimización en el costo y el tiempo de aplicación, que las alternativas de construcción tradicionales.
- La Evaluación muestra resultados positivos con el uso de los geosintéticos en la base y subbase, a lo largo del tiempo, teniendo respuestas bastante favorables en la construcción de carreteras.

III.13.2 Variables.

TABLA III.34: Variable independiente y dependiente.

VARIABLE	INDICADOR / SUB INDICADOR	MEDICIÓN
<p><u>Var. Independiente: (X)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físico-mecánicas de los materiales de la base y subbase. • Propiedades físico-mecánicas de los geosintéticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasión de los ángulos • CBR • Limite liquido • Índice de plasticidad • Partículas chatas y alargadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • % • % • % • % • %
	<ul style="list-style-type: none"> • Costillas (espesor, rigidez y forma) • Abertura (tamaño, forma y rigidez) • Unión (resistencia) • General (rigidez torsional y estabilidad de la apertura) • Tipo de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • mm, mg-cm y rectangular. • mm, rectangular y mg-cm. • kN/m • mg-cm y m-N/deg. • Polímero.
<p><u>Var. Dependiente: (Y)=f(X)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Espesores de pavimento. • Optimización de costo, tiempo y menor impacto ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Base • subbase 	<ul style="list-style-type: none"> • Cm o pulg. • Cm o pulg.
	<ul style="list-style-type: none"> • Costo • Tiempo • Impacto ambiental (explotación de canteras, menos consumo de agua) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevo soles (s/) • Días. (horas de trabajo). • m³ y litros

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV.

IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

El enfoque de la presente investigación es del tipo cuantitativo, ya que se trabajara con resultados de ensayos de laboratorio, por su puesto tomando en como base la investigación de los antecedentes de la investigación, el sustento de la base teórica y de la hipótesis.

IV.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

- La presente investigación es tipo aplicativo experimental.
- Es de nivel correlacionar.

IV.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente estudio está referido especialmente a pavimentos flexibles, este estudio se realiza para pavimentos flexibles por el método AASHTO 93.

Primeramente se realizó un estudio teórico geomallas biaxiales, posteriormente se comprobó en laboratorio que estos aumentan el CBR (ver Anexo 01) así mismo se estudió las características del material subbase (en el anexo 01 se muestran que el material están cumpliendo con la normativa del país).

Posteriormente se utiliza el método de la AASHTO 93 que se hace una modificación en el cálculo de numero estructural (SN) para su aplicación de geomallas biaxiales, los datos brindados para el desarrollo de la tesis son de la obra: "Mejoramiento de la carretera Arapa – Chupa (PU114) - Dv. Huancané, tramo I" (ver Anexo 04).

Finalmente se hace un estudio de costo, tiempo y los beneficios al calcular con este método.

IV.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

- **Población.**

El espesor de pavimento (subbase) que se presenta en la carretera Arapa – Chupa (PU114) - Dv. Huancané, tramo I. (metrado a explotar de la cantera para la subbase= 14,830.63m³)

Frecuencia de ensayo de CBR: 1 CBR por cada 2000 m³ (según la tabla) →

POBLACIÓN: 14,830.63m³ / 2000m³ = 8 CBR x altura de geomalla biaxial.

- **Muestra.**

Para población finita (menos de 100,000 elementos)

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * N - 1 + Z^2 * p * q} \dots \dots (IV.1)$$

Fuente: (BORJA SUÁREZ, 2012)

Donde:

- n = Tamaño de la muestra.
- p y q = Varianzas, en caso que sean desconocidas representan con 50.
- E²= representa el error admitido
- N= representa el tamaño de la población.
- Z²=Coeficiente de confiabilidad (Nivel de Significancia) que corresponde a una distribución normal según él % de confianza requerida.

Se ha seleccionado del espesor más relevante y representativo (subbase) de la carretera Arapa – Chupa (PU114) - Dv. Huancané, de manera sistemática. Luego se ha logrado hacer: 3 CBR de la subbase a diferentes alturas (3 CBR con geomalla biaxial a 2.5 cm de altura, 3 CBR con geomalla biaxial a 5 cm de altura, 3 CBR con geomalla biaxial a 7.5 cm de altura y 3 CBR con geomalla biaxial a 10 cm de altura) tal como se muestra al aplicar la ecuación IV.1:

Datos:

- p y q = 50.
- E = 50
- N = 8.
- Z = 1.96.

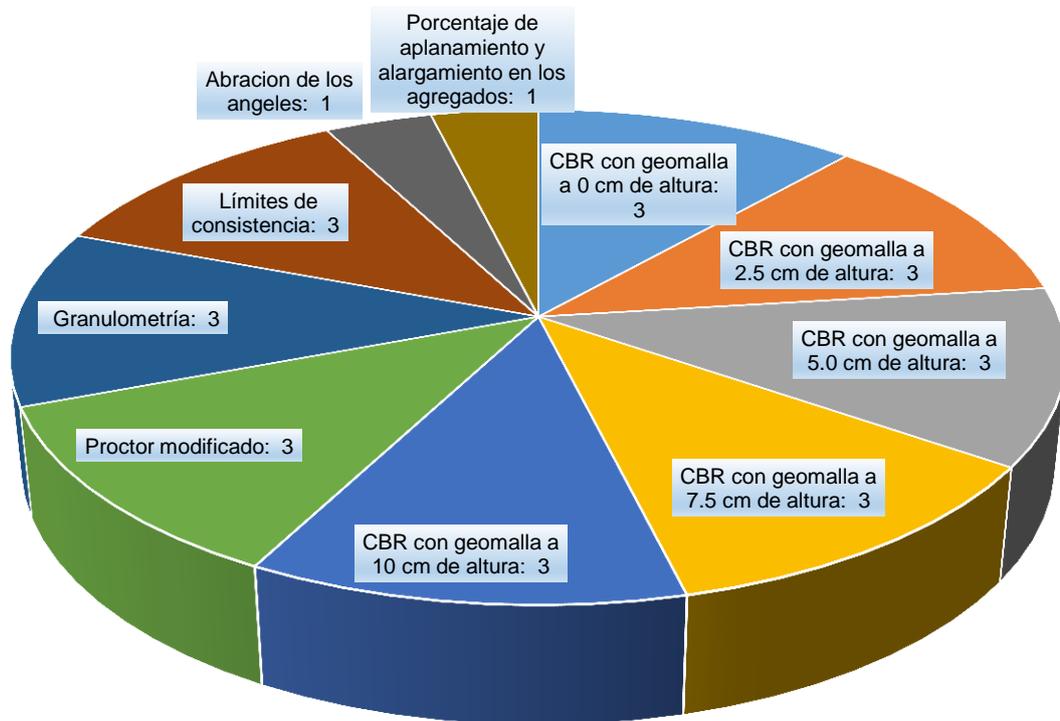
$$n = \frac{1.96^2 * 50 * 50 * 8}{50^2 * 8 - 1 + 1.96^2 * 50 * 50}$$

n = 3 CBR x altura de geomalla.

Para hacer los diferentes estudios físico–mecánicos con la aplicación de geosintéticos en la subbase (ver figura IV.1). Realizando los siguientes ensayos:

- 15 muestras para ensayos de CBR (las muestras de CBR, nos que sirvió para demostrar que el material subbase aplicado con geomallas biaxiales aumenta su CBR.) muestra que se estudió de la cantera Morocollo.
- 3 muestras para ensayos proctor modificado.
- 3 muestras para ensayos de granulometría.
- 3 muestras para ensayos de límites de consistencia.
- 1 muestras para ensayo de Abrasión de los ángeles.
- 1 muestras para ensayo de porcentaje de aplanamiento y alargamiento en los agregados

CANTIDAD DE MUESTRAS POR CADA TIPO DE ENSAYO:



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA IV.1: Cantidad de muestras por cada tipo de ensayo.

IV.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

- Plan de recolección de datos:

Se realizó el presente trabajo usando la técnica de la observación simple e indirecta, esto se refiere a la recolección de datos informáticos con un pleno análisis.

Se utilizó archivos procedentes del servicio web como libros, tesis, fotos, expedientes, etc.

- Plan de sistematización de resultados:

Se realizó usando la técnica de muestro sistemático, establecido por la estadística.

- Plan de análisis e interpretación de resultados:

Se utilizara laboratorio de mecánica de suelo, para poder obtener datos y posterior evaluación de la misma.

IV.5 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO.

Los datos utilizados en esta tesis son de diferentes documentos debidamente registrados.

El método de la observación simple e indirecta es realizado por autor para un estudio ya formulado, en este caso para las geomallas biaxiales, explicando y observando en laboratorio; pues la observación simple se hace en base a algunos criterios previamente establecidos.

El muestro sistemático realizado se hace en base a un criterio determinado por el autor, por ejemplo, se establece las muestras de CBR.

se utilizó equipo de Laboratorio de Mecánica De Suelos De la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, para ensayos que fueron realizados en el mes de Enero y Febrero de año 2016; en ese entonces el equipo de la prensa hidráulica y marco de carga son calibradas.

El material de geomallas biaxiales se obtuvieron de la empresa Maccaferri Sede Arequipa, en la cual se obtuvieron geomallas biaxiales solo lo necesario para el

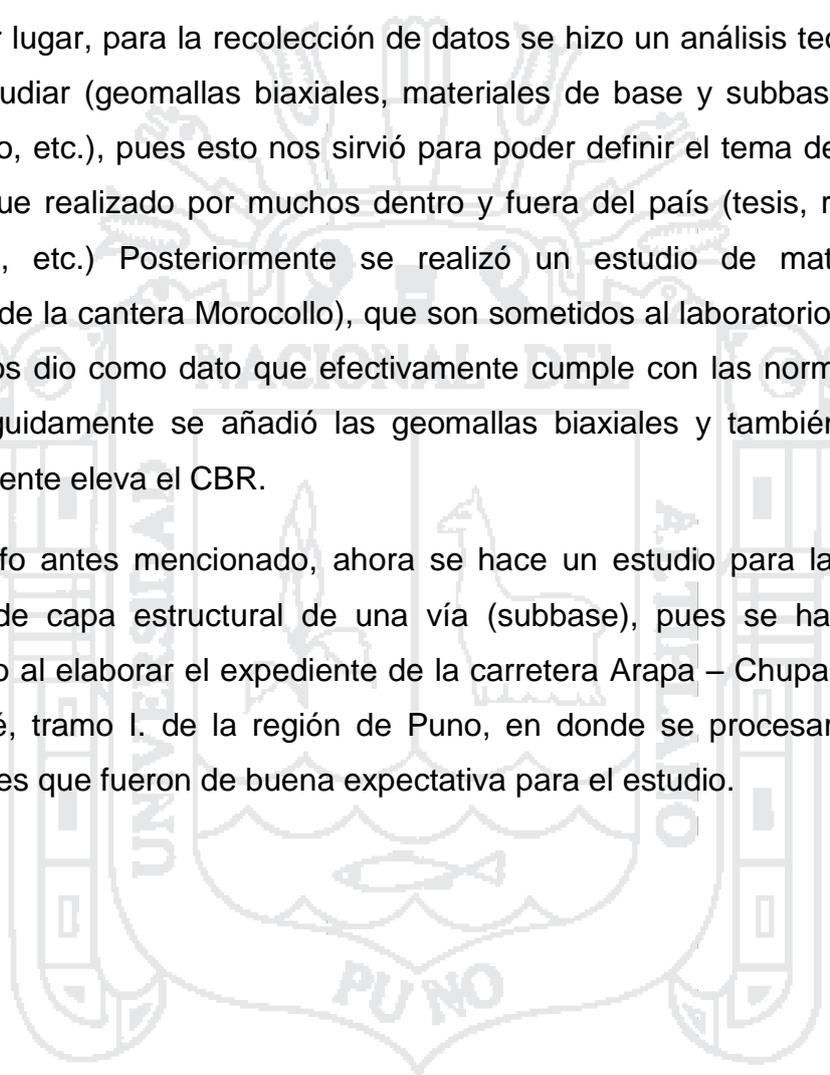
estudio; esta empresa es reconocida a nivel mundial, el cual están nominados con el ISO 9001, 14001; lo que garantiza la fabricación del material.

IV.6 PLAN DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

La recolección de datos, muestra la secuencia de la investigación.

En primer lugar, para la recolección de datos se hizo un análisis teórico de lo que se va estudiar (geomallas biaxiales, materiales de base y subbase, ensayos de laboratorio, etc.), pues esto nos sirvió para poder definir el tema de estudio. Este estudio, fue realizado por muchos dentro y fuera del país (tesis, revistas, libros, manuales, etc.) Posteriormente se realizó un estudio de material subbase (extraído de la cantera Morocollo), que son sometidos al laboratorio de Suelos, en la cual nos dio como dato que efectivamente cumple con las normas de nuestro país. Seguidamente se añadió las geomallas biaxiales y también nos dio que efectivamente eleva el CBR.

Del párrafo antes mencionado, ahora se hace un estudio para la reducción de espesor de capa estructural de una vía (subbase), pues se hace un estudio alternativo al elaborar el expediente de la carretera Arapa – Chupa (PU114) - Dv. Huancané, tramo I. de la región de Puno, en donde se procesaron datos muy importantes que fueron de buena expectativa para el estudio.



CAPÍTULO V.

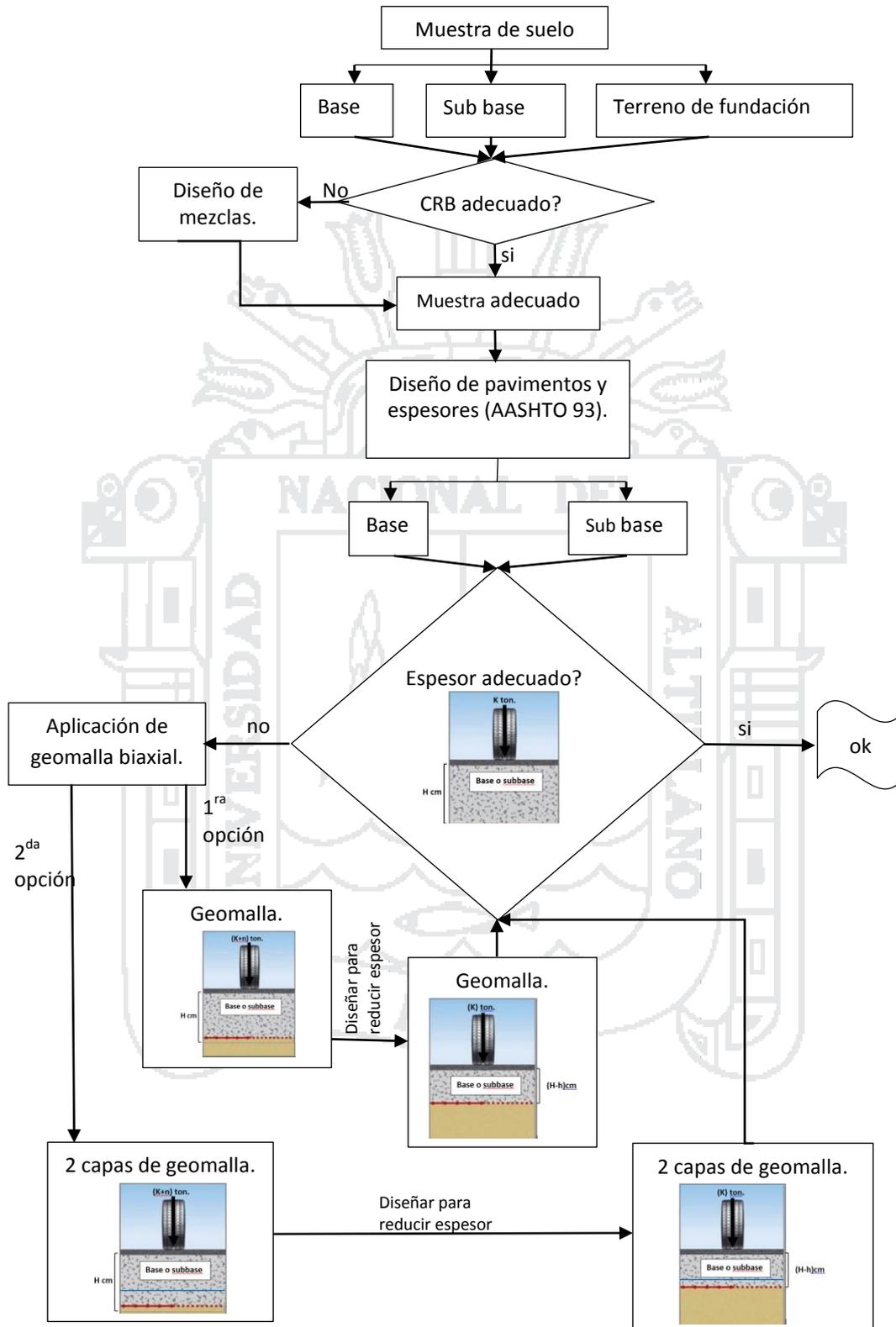
V. EXPOSICIÓN DE RESULTADOS.

A primera instancia, el método de diseño de basa según la figura V.1. A medida que se estudió el tema se hacen visibles cuando aplicar el tipo de geosintéticos a utilizar y en qué tipo de suelos emplear. Pues en nuestro estudio se tomó datos de la carretera Dv. Huancané - Chupa, las características del material a emplear en esta carretera son según los parámetros y normas de nuestro país.

Según estos datos de diseño, los espesores están dentro del rango de su trabajo estructural; pero se optimiza los materiales de construcción de la carretera, en la cual según su diseño, solo es necesario aplicar geomallas biaxiales para poder reducir el espesor de la subbase, si es necesario tendremos como segunda opción la aplicación de una capa más de geomalla biaxial (claro esta si amerita el caso).

Con la aplicación de la geomalla biaxial (ver figura V.1.), y con el cálculo del espesor del número estructural del pavimento (método de la AASHTO 93) se optimiza los materiales de subbase, si en el cálculo realizado, la subbase tiene un espesor mayor, se aplicara una segunda opción (incorporar una segunda geomalla al diseño). En caso que el diseño sea óptimo en el primer intento de aplicación de geosintéticos (geomalla biaxial), se harán un análisis de costos y tiempo, esto se debe hacer con mucho cuidado, ya que es el punto de estudio de esta tesis.

V.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO.



Fuente: Elaboración Propia.

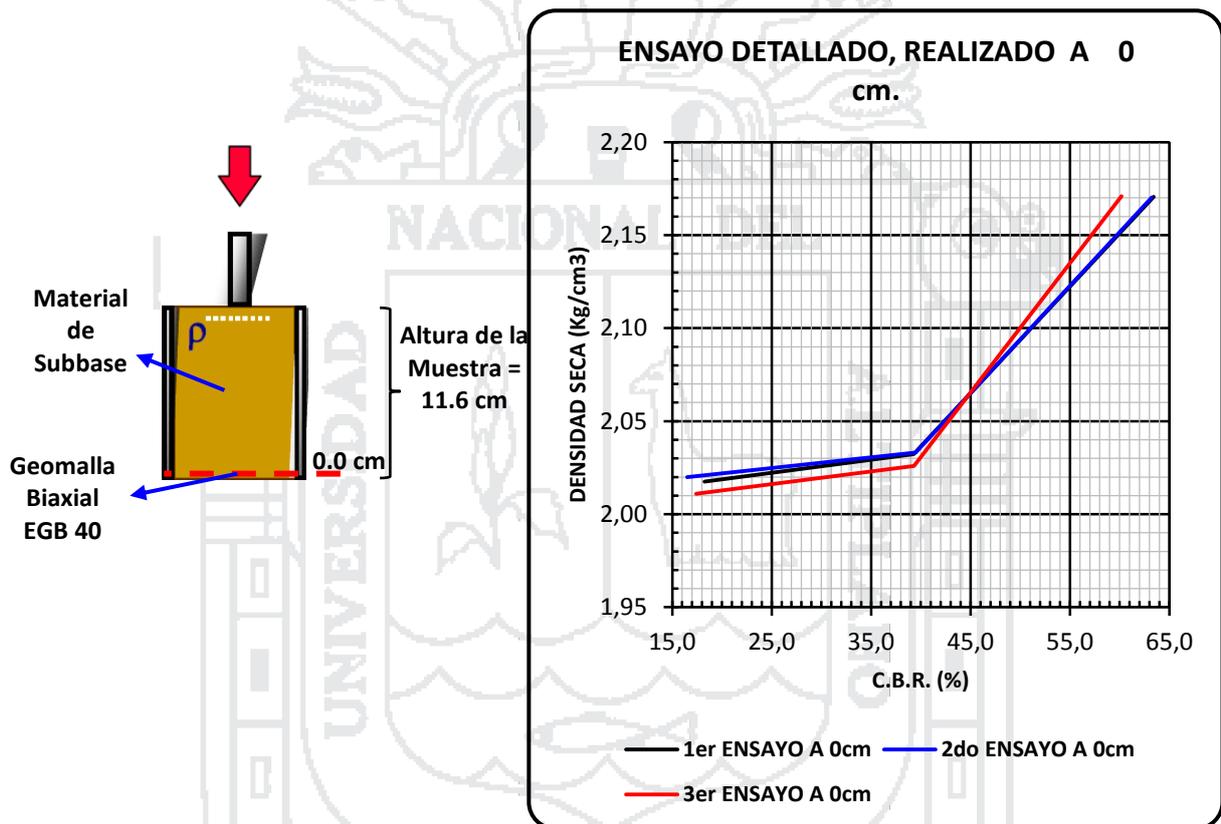
FIGURA V.1: Flujo de la metodología de diseño.

V.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.

V.2.1 Ensayo de CBR con aplicación de las geomallas biaxiales.

Los ensayos realizados en el laboratorio (tres ensayos por altura), son realizados con la geomalla biaxial Mac Grid EGB 40, y los resultados detallados muestran las siguientes tablas:

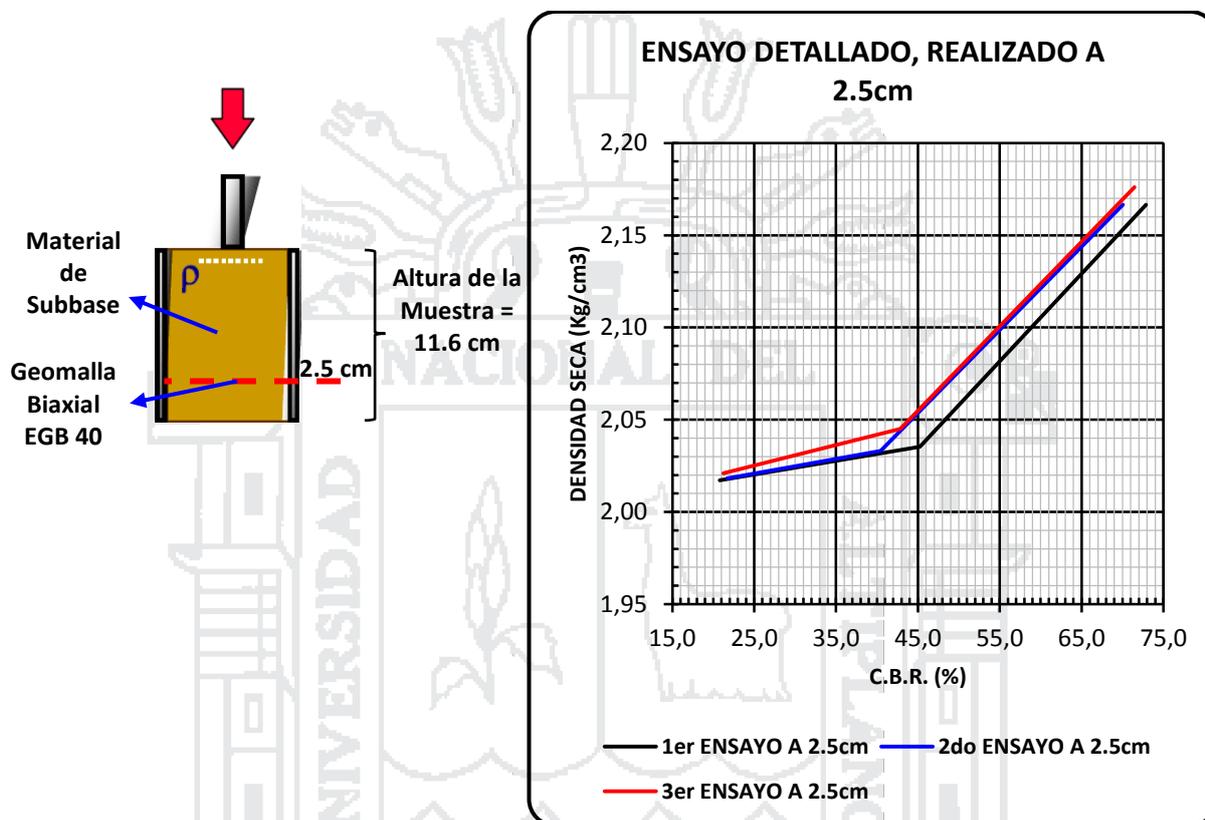
TABLA V.1: Ensayos de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 0 cm.



ENSAYO DETALLADO DE CBR A 0 cm.					
DENSIDAD	CBR %	N° DE ENSAYO	RESULTADO DE CBR		
2.02	18.26	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	39.27		100% MDS	63.44%	2.171
2.17	63.44		95% MDS	44.00%	2.062
2.02	16.50	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	39.47		100% MDS	63.22%	2.170
2.17	63.22		95% MDS	44.00%	2.062
2.01	17.40	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	39.30		100% MDS	60.20%	2.171
2.17	60.18		95% MDS	44.50%	2.063

Fuente: Elaboración Propia.

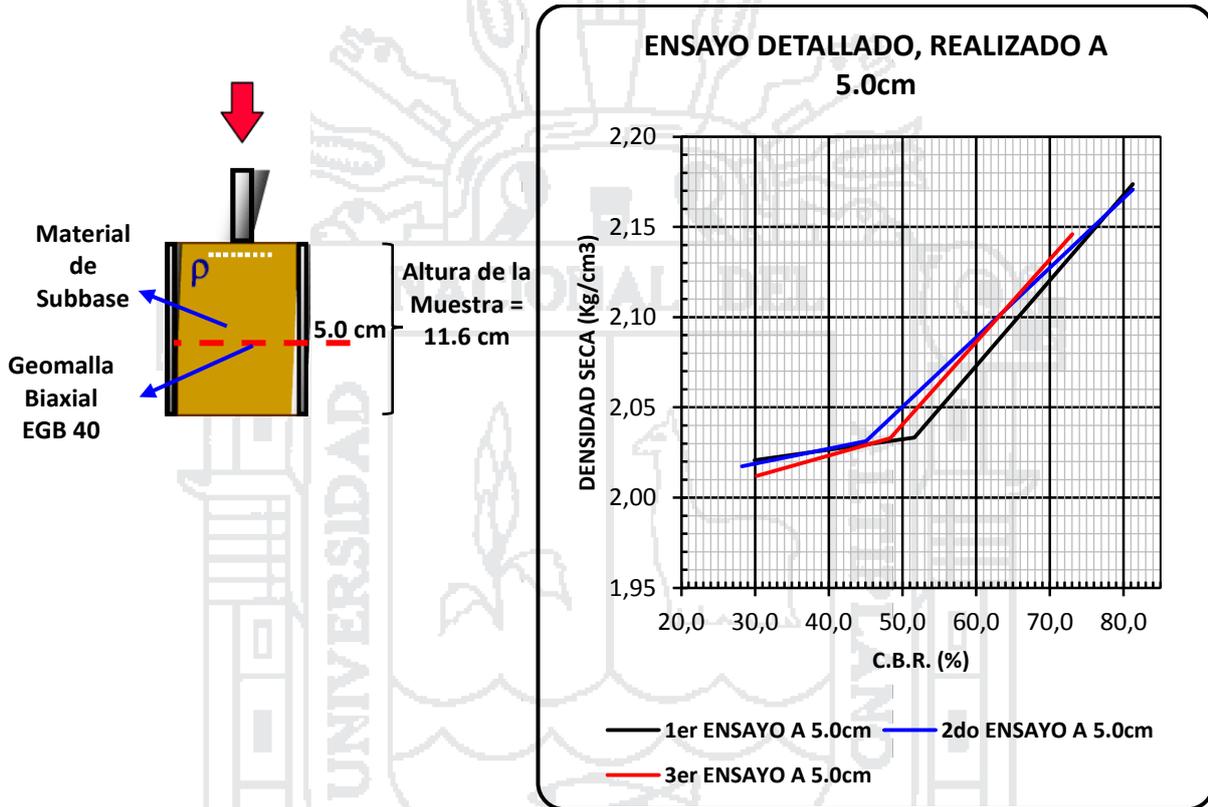
TABLA V.2: Ensayos de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 2.5 cm.



ENSAYO DETALLADO DE CBR A 2.5 cm					
DENSIDAD	CBR %	N° DE ENSAYO	RESULTADO DE CBR		
2.02	20.81	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.04	45.26		100% MDS	72.89%	2.167
2.17	72.89		95% MDS	51.00%	2.058
2.02	21.69	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	40.44		100% MDS	70.03%	2.167
2.17	70.03		95% MDS	46.00%	2.058
2.02	21.25	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.05	42.85		100% MDS	71.50%	2.176
2.18	71.46		95% MDS	47.00%	2.067

Fuente: Elaboración Propia.

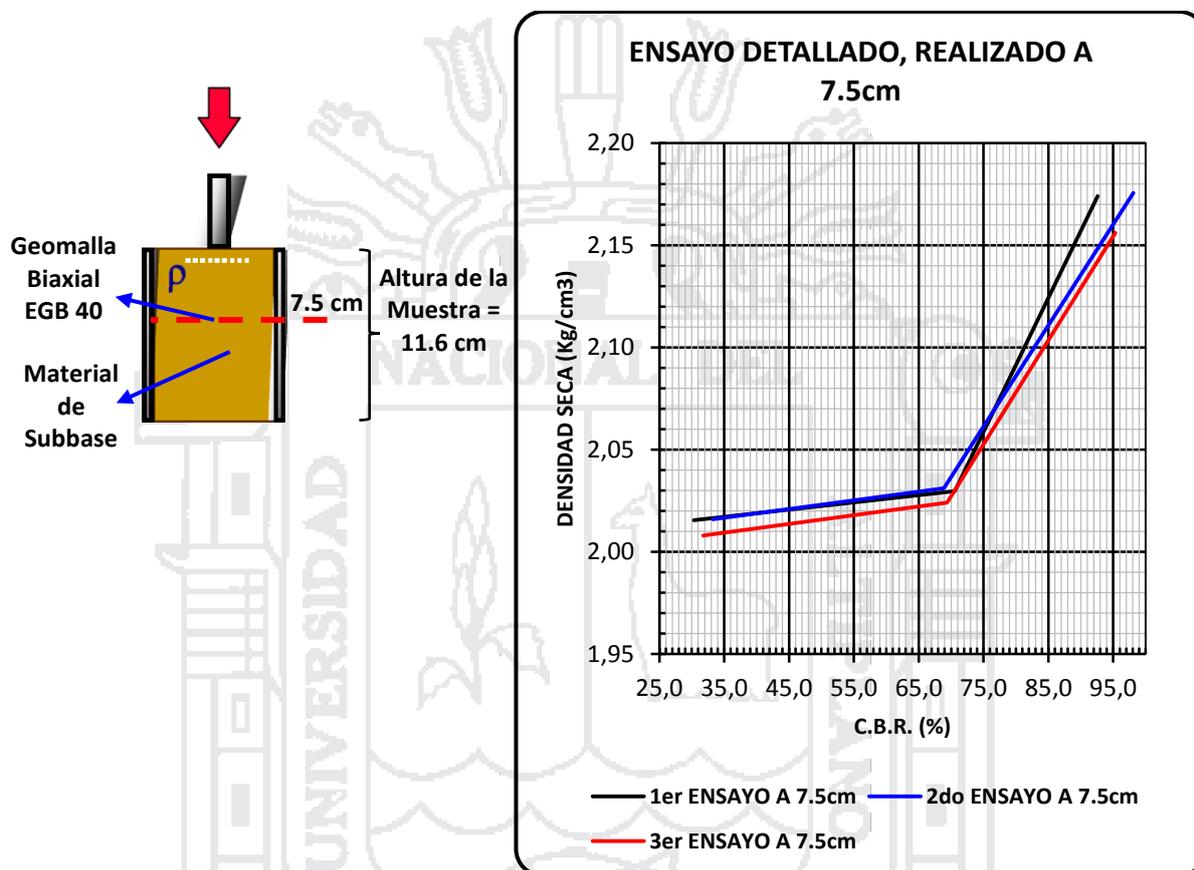
TABLA V.3: Ensayo de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 5.0 cm



ENSAYO DETALLADO DE CBR A 5.0 cm					
DENSIDAD	CBR %	N° DE ENSAYO	RESULTADO DE CBR		
2.02	29.92	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	51.64		100% MDS	81.25%	2.174
2.17	81.25		95% MDS	58.50%	2.065
2.02	28.24	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	45.09		100% MDS	81.27%	2.171
2.17	81.27		95% MDS	53.00%	2.062
2.01	30.21	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	48.37		100% MDS	73.00%	2.146
2.15	73.05		95% MDS	50.50%	2.039

Fuente: Elaboración Propia.

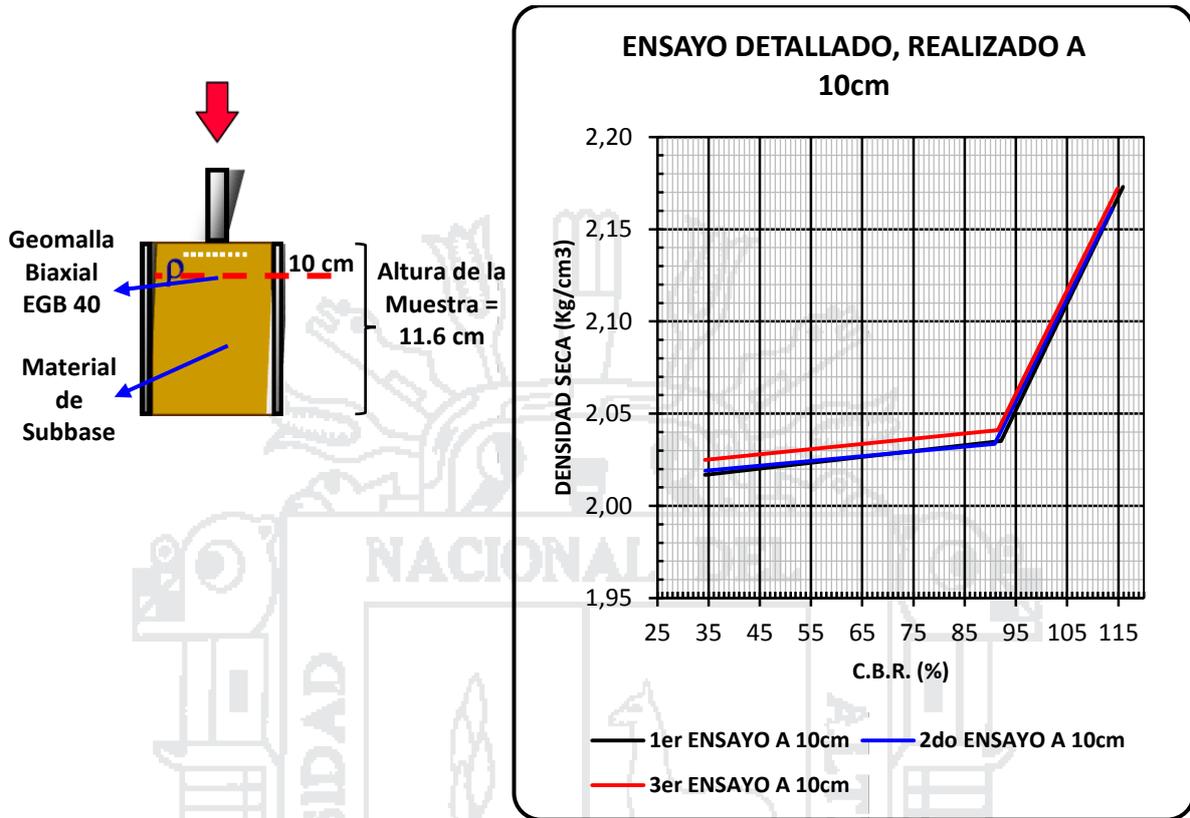
TABLA V.4: Ensayo de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 7.5 cm



ENSAYO DETALLADO DE CBR A 7.5 cm					
DENSIDAD	CBR %	N° DE ENSAYO	RESULTADO DE CBR		
2.02	30.32	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	70.57		100% MDS	92.62%	2.174
2.17	92.62		95% MDS	75.50%	2.065
2.02	33.26	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.03	68.90		100% MDS	98.13%	2.176
2.18	98.13		95% MDS	76.00%	2.067
2.01	31.79	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
2.02	69.39		100% MDS	95.30%	2.156
2.16	95.35		95% MDS	72.50%	2.048

Fuente: Elaboración Propia.

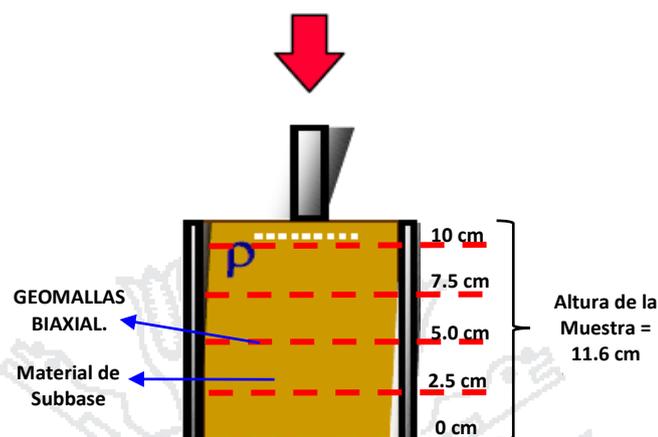
TABLA V.5: Ensayo de CBR en material subbase con aplicación de geomalla biaxial EGB40 a una altura de 10 cm



ENSAYO DETALLADO DE CBR A 10.0 cm					
DENSIDAD	CBR %	N° DE ENSAYO	RESULTADO DE CBR		
2.02	34.30	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm³):
2.04	92.13		100% MDS	115.92%	2.173
2.17	115.92		95% MDS	96.50%	2.064
2.02	34.38	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm³):
2.03	90.84		100% MDS	113.79%	2.161
2.16	113.79		95% MDS	95.50%	2.053
2.03	34.34	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm³):
2.04	91.49		100% MDS	114.90%	2.172
2.17	114.86		95% MDS	95.00%	2.063

Fuente: Elaboración Propia.

En las tablas anteriores, se muestra el comportamiento de las geomallas biaxiales a distintas alturas, notándose que a mayor altura (10cm), la geomalla trabaja mucho mejor, también debemos notar que a una altura de 2.5cm el CBR aumenta, y esto nos garantiza que en cualquier altura mayor de 2.5cm que sea aplica siempre aumentara el CBR.



Fuente: *Elaboración Propia.*

FIGURA V.2: Profundidades de ensayo de CBR con aplicación de geomalla biaxial.

El análisis de las geomallas biaxiales se realiza mediante ensayos de laboratorio (ver anexo 03). Ahora tenemos que tener en cuenta que para estar seguros de aplicar la geomalla biaxial a una capa de pavimento flexible, esta debe funcionar estructuralmente.

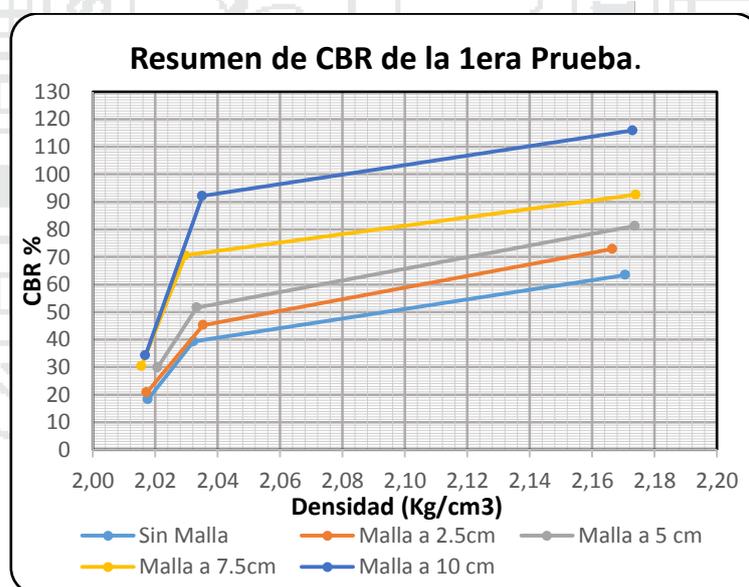
Para comprobar el funcionamiento, se hizo la aplicación de geomalla biaxiales a diferentes alturas en la prueba de CBR (figura de V.2.). Se logró estudiar el material de la subbase y se comprobó que este material está dentro de los parámetros que establece la normativa en nuestro país (con este resultado se puede decir que la característica físico-mecánicas del material de subbase son buenas), luego se procede a hacer el CBR con geomalla biaxial, primero a una altura cero, después otro CBR a una altura de 2.5 cm, otro a 5.0 cm, 7.5 cm y 10 cm (ver Anexo 01). Este ensayo se hace tres veces para tener certeza en lo realizado. El resumen los resultados del primer ensayo de CBR son registrados en la tabla V.6 y del segundo ensayo en la tabla V.7, y del tercer ensayo en la tabla V.8 en donde se puede apreciar ensayos a diferentes alturas, también se puede apreciar el resultado de cada altura, el resultado se interpreta que la penetración del pistón a una altura de una pulgada registran un CBR al 100% una MDS (máxima densidad seca). Como puede apreciar en las tablas antes mencionadas el CBR a una pulgada de penetración se va elevando a medida que va aumentando la geomalla biaxial, es decir en una altura cero el CBR es de 63.44% y en una altura de 10 cm el CBR es de 115% (tabla V.6), este último

resultado se debe a que la geomalla está cerca de la superficie y al estar ahí son los primeros en trabajar (absorben y distribuyen la fuerza aplicada). En la figura V.2, se observa la gráfica de todos los ensayos.

TABLA V.6: Resumen del primer ensayo de CBR con aplicación de geomallas biaxiales.

RESUMEN DEL PRIMER ENSAYO DE CBR					
DENSIDAD	CBR %	ALTURA	RESULTADO DE CBR		
2.02	18.26	0 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	39.27		100% MDS	63.44%	2.171
2.17	63.44		95% MDS	44.00%	2.062
2.02	20.81	2.5cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.04	45.26		100% MDS	72.89%	2.167
2.17	72.89		95% MDS	51.00%	2.058
2.02	29.92	5cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	51.64		100% MDS	81.25%	2.174
2.17	81.25		95% MDS	58.50%	2.065
2.02	30.32	7.5 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	70.57		100% MDS	92.62%	2.174
2.17	92.62		95% MDS	75.50%	2.065
2.02	34.30	10 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.04	92.13		100% MDS	115.92%	2.173
2.17	115.92		95% MDS	96.50%	2.064

Fuente: Elaboración Propia



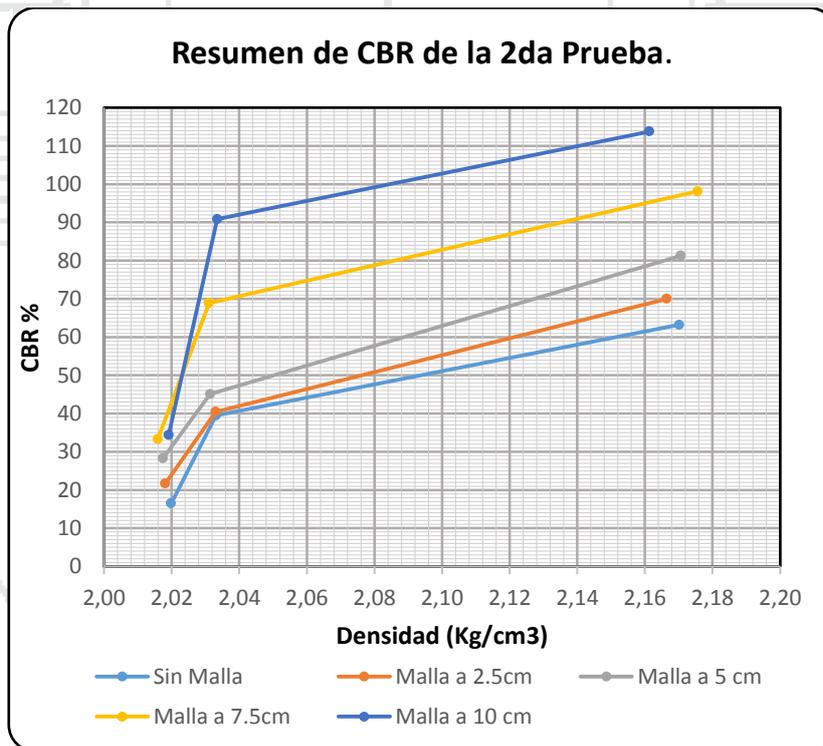
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA V.3: Resumen del primer ensayo de CBR con aplicación de geomallas.

TABLA V.7: Resumen del segundo ensayo de CBR con aplicación de geomallas.

RESUMEN DEL SEGUNDO ENSAYO DE CBR					
DENSIDAD	CBR %	ALTURA	RESULTADO DE CBR		
2.02	16.50	0 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	39.47		100% MDS	63.22%	2.170
2.17	63.22		95% MDS	44.00%	2.062
2.02	21.69	2.5cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	40.44		100% MDS	70.03%	2.167
2.17	70.03		95% MDS	46.00%	2.058
2.02	28.24	5cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	45.09		100% MDS	81.27%	2.171
2.17	81.27		95% MDS	53.00%	2.062
2.02	33.26	7.5 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	68.90		100% MDS	98.13%	2.176
2.18	98.13		95% MDS	76.00%	2.067
2.02	34.38	10 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	90.84		100% MDS	113.79%	2.161
2.16	113.79		95% MDS	95.50%	2.053

Fuente: Elaboración Propia



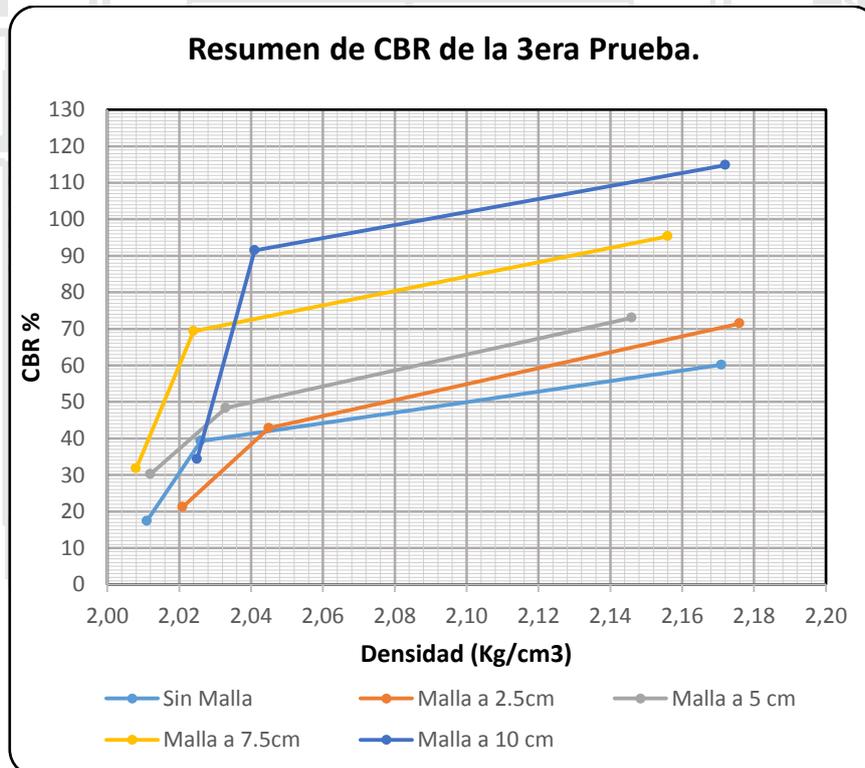
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA V.4: Resumen del segundo ensayo CBR con aplicación de geomallas.

TABLA V.8: Resumen del tercer ensayo de CBR con aplicación de geomallas.

RESUMEN DEL TERCER ENSAYO DE CBR					
DENSIDAD	CBR %	ALTURA	RESULTADO DE CBR		
2.01	17.40	0 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	39.30		100% MDS	60.20%	2.171
2.17	60.18		95% MDS	44.50%	2.063
2.02	21.25	2.5cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.05	42.85		100% MDS	71.50%	2.176
2.18	71.46		95% MDS	47.00%	2.067
2.01	30.21	5cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.03	48.37		100% MDS	73.00%	2.146
2.15	73.05		95% MDS	50.50%	2.039
2.01	31.79	7.5 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.02	69.39		100% MDS	95.30%	2.156
2.16	95.35		95% MDS	72.50%	2.048
2.03	34.34	10 cm	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm ³):
2.04	91.49		100% MDS	114.90%	2.172
2.17	114.86		95% MDS	95.00%	2.063

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA V.5: Resumen del tercer ensayo de CBR con aplicación de geomallas.

Se puede apreciar en la figura V.3, figura V.4. y figura V.5. Que, a medida que se va incrementando la altura de las geomallas biaxiales la gráfica de CBR va aumentado. Las tablas (tabla V.6, tabla V.7 y tabla V.8) y las figuras antes mencionadas muestran que efectivamente el resultado aumenta cuando es aplicado la geomalla biaxial, lo que nos indica que con toda seguridad que es

apto para el diseño de pavimentos flexibles, (sin importar en que altura resulte en el diseño de pavimentos, siempre aumenta su CRB).

V.2.2 Ensayos para determinar las propiedades física-mecánicas de material subbase.

Cuando se hizo el estudio del material de la Subbase y fueron sometido a diferentes ensayos en laboratorio de Mecánica de Suelos (para más detalle ver anexo 01), mostrando las características siguientes (ver tabla V.9)

TABLA V.9: Características fisico-mecánicas de la Subbase.

Ensayo	Norma MTC	Ensayos de laboratorio de la subbase							
		1er ensayo.		2do ensayo.		3er ensayo.		Resultado final	
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	29.99%		--		--		29.99%	
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	19.15%		--		--		19.15%	
Granulometría por tamizado.	MTC E 204	% de Piedra:	66.86%	% de Piedra:	63.36%	% de Piedra:	64.19%	% de Piedra:	64.80%
		% de Finos:	33.14%	% de Finos:	36.64%	% de Finos:	35.81%	% de Finos:	35.197%
		Clasificación (AASHTO):	A-1-a(0)	Clasificación (AASHTO):	A-1-a(0)	Clasificación (AASHTO):	A-1-a(0)	Clasificación (AASHTO):	A-1-a(0)
		Clasificación (SUCS):		Clasificación (SUCS):		Clasificación (SUCS):		Clasificación (SUCS):	GW - GM
Limite Líquido.	MTC E 110	20.5%		20.0%		20.70%		20.4%	
Limite Plástico		16.95%		16.32%		17.01%		16.76%	
Proctor modificado (método "C")		Densidad Máxima (gr/cm3) :	2.149	Densidad Máxima (gr/cm3) :	2.152	Densidad Máxima (gr/cm3) :	2.155	Densidad Máxima (gr/cm3) :	2.16
		Humedad Óptima (%):	8.30	Humedad Óptima (%):	7.65	Humedad Óptima (%):	7.60	Humedad Óptima (%):	7.86
CBR	MTC E 132	100% MDS	63.4%	100% MDS	63.2%	100% MDS	60.2%	100% MDS	62.27%
		95% MDS	44.0%	95% MDS	44.0 %	95% MDS	44.6 %	95% MDS	44.2%

Fuente: Elaboración propia.

Estos ensayos son los más necesarios para poder determinar las características y clasificación de suelos de la subbase, como se observa, solo se hace el ensayo para la subbase mas no para base; por que esta capa teóricamente no debe ser menor de 15 cm (el diseño de pavimento a estudiar tiene el espesor mencionado) debido a su función estructural, es por tal motivo que ya no se hace el estudio en laboratorio para nuestro caso.

V.3 APLICACIONES DE GEOSINTETICOS EN VÍAS.

V.3.1 Aplicación práctica del diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93 tradicional:

El ejemplo a aplicar es en el DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO. CARRETERA ARAPA – CHUPA (PU114) – DV HUANCANÉ (EMP PE 34H), TRAMO I, para ver a detalle ver el anexo 04. Pero le mostraremos una tabla resumen (tabla V.10) del espesor y de los coeficientes de diseño.

TABLA V.10: Espesores obtenidos de la carretera Arapa – Dv. Huancané. Tramo I

N°	CAPAS	CBR	Espesor "D" (cm) calculado	Espesor "D" (cm) Aplicado.	Coefficiente de capa "a _i "	Coefficiente de drenaje "m _i "
1	Carpeta asfáltica	--	5.08	5.00	0.44	--
2	Base granular	--	15.24	15.00	0.134	1.00
3	Sub base granular	--	17.78	20.00	0.12	1.10
4	Sub rasante	10%	--	--	--	--

Fuente: Extracto de la memoria de cálculo de pavimento de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

V.3.2 Aplicación práctica del diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93, con inclusión de geomalla biaxial:

TABLA V.11: Resultados obtenidos en el cálculo de pavimentos con aplicación de geomalla biaxial.

Capa	Espesor de Pavimento con Geomalla biaxial (cm.)	Disminución de espesor (%)
Carpeta asfáltica	5.00	0
Capa de base	15.00	0
Capa de subbase	5.00	75

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla V.11 se muestra los resultados de cálculo de espesores de pavimento, así mismo se observa que disminuye un 75%. Para una mejor explicación, detallaremos el proceso de cálculo.

Para la construcción de la **CARRETERA ARAPA – CHUPA (PU114) – DV HUANCANÉ (EMP PE 34H), TRAMO I**, que son 33+660 km de carretera, se plantea elaborar el diseño estructural con aplicación de geomalla biaxial para una reducción de espesores de base, sub base, según sea el caso; para lo

cual conserva las características de los materiales aplicados en base, sub base y subrasante. También son proporcionados los datos necesarios que fueron necesarios para el diseño de la carretera. (Ver tabla V.12.)

TABLA V.12: Espesores obtenidos y sin redondear de la carretera Arapa – Dv. Huancané. Tramo I.

N°	CAPAS	CBR	Espesor “D” calculado (cm)	Espesor “D” aplicado (cm)	Espesor “D” aplicado (Pulg)	Coefficiente de capa “a _i ”	Coefficiente de drenaje “m _i ”
1	Carpeta asfáltica	--	5.08	5.00	2.0	0.44	--
2	Base granular	--	15.24	15.00	6.0	0.134	1.00
3	Sub base granular	--	17.78	20.00	6.4	0.12	1.10
4	Sub rasante	10%	--	--	--	--	--
Numero estructural “SN”					2.53		
Periodo de diseño.					Una Sola Etapa: 20 años		

Fuente: Extracto de la memoria de cálculo de pavimento de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES REFORZADOS CON GEOMALLAS BIAXIALES.

- Primero se procede a calcular el número estructural según metodología AASHTO 93 de la estructura. Utilizando la ecuación del número estructural y con los valores de coeficientes ya obtenidos, se obtiene el número estructural de la estructura original o sin refuerzo. Los espesores de cada capa deben manejarse en pulgadas. Para nuestro caso.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

$$SN = 0.44 \times 2.00 + 0.134 \times 6.00 \times 1.00 + 0.12 \times 6.40 \times 1.10$$

$$SN = 2.53$$

- Segundo, se calcula la estructura sustituyendo la base granular. Con el número estructural inicial, se realiza una sustitución de la base granular por subbase granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial. Este nuevo espesor se denomina D'_3 .

$$SN = 2.53$$

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D'_3 m_3$$

$$2.53 = 0.44 \times 2.00 + 0.12 \times D'_3 \times 1.10$$

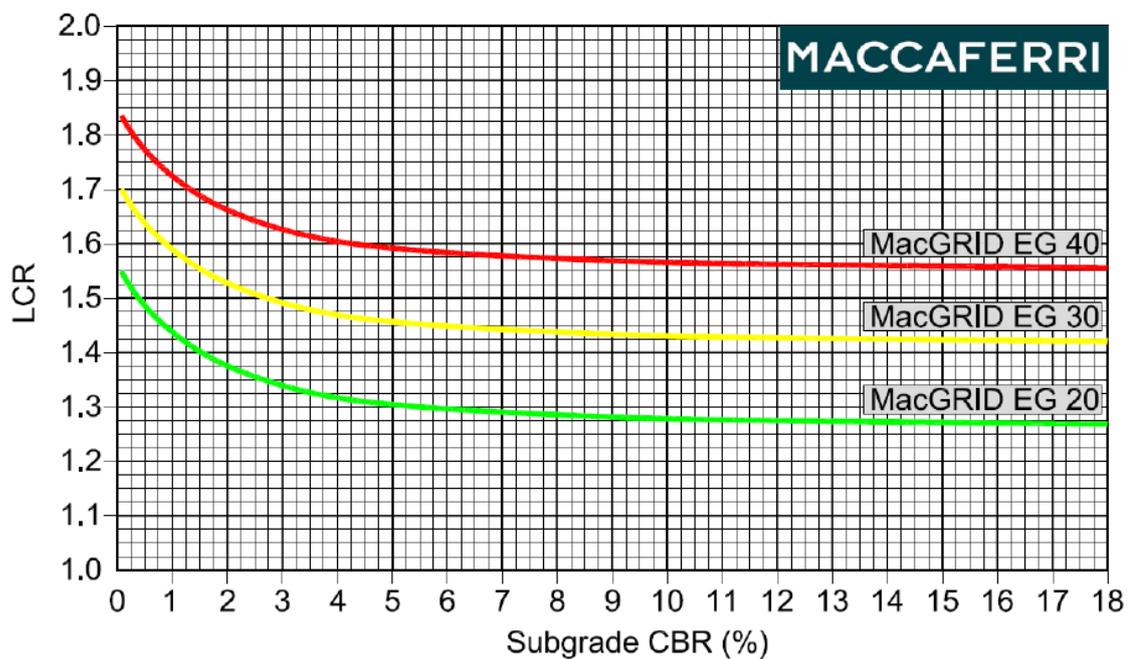
$$D'_3 = \frac{2.53 - 0.44 \times 2.00}{0.12 \times 1.10}$$

$$D'_3 = 12.49 \text{ Pulg.}$$

$$D'_3 = 12.49 \text{ pulg} \approx 32.00 \text{ cm}$$

- Tercero, se calcula de nuevo el espesor de la capa de subbase con refuerzo. Empleando una geomalla MacGRID EG de 40 KN/m, en este caso aportado por la geomalla biaxial para una subrasante con CBR = 10%, se obtiene de la figura V.6, un valor de LCR o coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura de:

$$LCR = 1.57$$



Fuente: (MACCAFERRI, REFERENCE MANUAL - MACREAD 2.0 AASHTO, 2012).

FIGURA V.6: Coeficiente de relación de Maccaferri EG Geogrids: LCR vs. CBR de la Subrasante.

Para incluir el aporte de la geomalla dentro de la estructura de pavimento y obtener una disminución de espesor, se debe mantener constante a través de los cálculos realizados el valor inicial del número estructural.

$$SN_r = SN$$

$$SN_r = 2.53$$

- Cuarto, se realiza el cálculo del nuevo espesor de la capa granular con el refuerzo incluido como parte integral de la estructura según la ecuación del Número Estructural pero utilizando el coeficiente LCR.

$$SN_r = a_1 D_1 + a_3 LRC D_3 m_3$$

$$D_{3r} = \frac{SN_r - a_1 D_1}{a_3 LRC m_3}$$

$$D_{3r} = \frac{2.53 - 0.44 \times 2.00}{0.12 \times 1.57 \times 1.10}$$

$$D_{3r} = 7.96 \text{ Pulg} \approx 20.2 \text{ cm}$$

- Quinto, cálculo del aporte estructural de la capa. Una vez hallado el nuevo espesor de la capa granular, por la utilización de la geomalla biaxial, se calcula el número estructural de la misma.

$$SN_{GR} = a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$SN_{GR} = 0.12 \times 7.96 \times 1.10 = 1.05$$

- Sexto, Como la estructura seguirá manteniendo la misma conformación de materiales de base y subbase, se deben calcular los nuevos espesores de dichas capas en función del número estructural de la capa de subbase obtenido en el paso anterior y con sus coeficientes de capa respectivos.

$$SN_{GR} = a_2 \times D_{2r} \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$1.05 = 0.134 \times D_{2r} \times 1.00 + 0.12 \times D_{3r} \times 1.10$$

Debido a que se tienen dos incógnitas y una sola ecuación, se debe realizar un proceso de iteración para obtener unos espesores de capa razonables para la estructura. Para el espesor de la base granular no se recomienda que este valor se encuentre por debajo de los 15 cm o 6 pulgadas. Para la solución del problema, se deja constante el espesor de

la base granular, que para este caso se emplea el espesor mínimo recomendado de 15 cm y se despeja de la ecuación el espesor de la subbase granular.

Para nuestro caso, escogeremos un espesor de base asumido $D_{2r} = 15$ cm (6 pulg.).

$$SN_{GR} = a_2 \times D_{2r} \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$D_{2r} = 6 \text{ Pulg} = 15.00 \text{ cm}$$

$$D_{3r} = 1.90 \text{ Pulg} \approx 4.83 \text{ cm}$$

- Séptimo, a continuación se verifica el aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla biaxial. Para que la estructura sea constructivamente viable, los espesores calculados por lo general son modificados para facilitar su proceso constructivo. Es por eso que se debe verificar que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura, por lo que el número estructural de las capas granulares con respecto al número del aporte estructural de la capa reforzada, debe ser en lo posible iguales.

$$0.134 \times 6.00 \times 1.00 + 0.12 \times 1.90 \times 1.10 = 1.05 \text{ y } 1.05 \text{ OK!!!}$$

TABLA V.13: Espesores obtenidos debido a la inclusión de la geomalla biaxial.

Capa	Espesor calculado "D" con Geomalla (cm.)	Espesor "D" a aplicar con Geomalla (cm.)
Carpeta asfáltica	5.08	5.0
Capa de base	15.24	15.00
Capa de subbase	4.8	5.0

Fuente: *Elaboración propia.*

Como se observa en la tabla V.13, los datos calculados están sin redondear, esto generalmente no se aplica en obra; pero en la columna siguiente de la misma tabla se muestra los datos para el proceso constructivo en obra.

Observamos que la disminución de capa subbase, el cual tiene la misma capacidad de funcional y estructural que el fue diseñado sin geomalla biaxial; pero observamos que la base no disminuye. Esta capa base se mantiene debido a las recomendaciones, experiencias de muchos

ingenieros que estudiaron el tema, mencionan que esta capa no deber ser menor de 15cm, por el mismo hecho de que cumple una función importante.

V.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Las especificaciones técnicas comprenden los requisitos, condiciones y normas técnicas que deben cumplir los contratistas durante la ejecución de las obras, y al mismo tiempo permitir a los supervisores controlar la calidad y correcta ejecución de las mismas.

La especificación deberá estar basada en las propiedades específicas requeridas para diseño e instalación. En las especificaciones se detallan valores de las propiedades que deben poseer los geosintéticos en aplicaciones particulares, por lo tanto previo a la aceptación del material y para comprobar que este cumple con la especificación deberán realizarse los siguientes ensayos (para ver a detalle ver anexo 03):

- Relación peso/área. ASTM D - 5261- 92
- Espesor nominal. ASTM D - 5199-92.
- Resistencia a la tensión y al alargamiento. ASTM D - 4632-91.
- Resistencia al desgarre trapezoidal. ASTM D - 4533-91.
- Tamaño de abertura aparente. ASTM D - 4751-95.
- Resistencia al punzonamiento. ASTM D - 4833-96.
- Resistencia al estallido. ASTM - 3786-87.
- Determinación del coeficiente de permeabilidad. ASTM D - 4491-96.

Además de ello, todas las especificaciones deben incluir (DÍAZ GONZÁLEZ, ESCOBAR VELÁSQUEZ, & OLIVO MARTÍNEZ, Octubre 2009):

- **Requerimientos generales:** Incluye los tipos de geotextiles, materiales poliméricos aceptables, y comentarios relacionados a la estabilidad del material. Fabricantes de geosintéticos y representantes son buenas fuentes de información sobre estas características. Otros elementos que podrían especificarse en esta sección son instrucciones tanto de almacenamiento y manejo del producto para protegerlo de los rayos ultravioleta, polvo, fango o cualquier otro elemento que pueda afectar el desempeño/funcionamiento.

- **Propiedades físicas, índices y de desempeño/funcionamiento específicas de los geosintéticos:** Deberá estar listado como es requerido por el diseño. Las propiedades deberán ser dadas en los términos de mínimos o máximos, VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo) con el método requerido de ensayo. El valor promedio es simplemente el mas pequeño (o mas grande) valor promedio anticipado que debería ser obtenido por cualquier rollo ensayado. Este valor promedio de las propiedades deberá exceder el mínimo (o ser mas pequeño que el máximo) valor especificado para aquella propiedad particular basada en la prueba. Ordinariamente es posible obtener una certificación de VMPR del fabricante.
Si los ensayos de desempeño han sido conducidos por parte del diseñador, un listado de productos aprobados puede ser entregado. Las listas aprobadas pueden ser elaboradas basadas en la experiencia con condiciones de aplicación recurrente. Una vez aprobada la lista será establecida, nuevos geosintéticos pueden ser añadidos si éstos han sido aprobados. Muestras del fabricante deben ser periódicamente obtenidas y deben ser examinados de la misma forma que los especímenes originales para verificar si el proceso de fabricación ha cambiado desde que el producto fue aprobado.
- **Requerimientos de costuras y traslapes:** La fuerza especificada en las costuras deberá ser igual a la fuerza requerida del geosintético, perpendicular a la dirección de la costura usando el mismo procedimiento de ensayo. Para diseños donde ensayos de gran ancho son usados (por ejemplo refuerzo de terraplenes en suelos blandos), la fuerza requerida en la costura es un valor de diseño calculado. Por lo tanto, la fuerza en la costura no será especificada como un porcentaje de la fuerza del geosintético.
Las geomallas, georedes y geoceldas pueden ser conectadas por sujetadores (grapas) mecánicos, aunque la conexión pueda ser estructural o una ayuda de construcción (cuando la fuerza en la dirección perpendicular a lo largo de la costura no es requerida por el diseño). Las geomembranas son térmicamente unidas y especificadas en términos de la fuerza de la costura.
- **Procedimientos de colocación:** Deberán darse en detalle con la especificación y los planos de construcción. Estos procedimientos deberán incluir pendientes y requerimientos de limpieza del terreno, especificaciones de agregados, espesor de capas de agregados y requerimientos de equipo.

Detalles de procedimientos de colocación son presentados en cada ejemplo de aplicación.

- **Procedimientos de reparación:** Deberán ser detallados los procedimientos de reparación para secciones dañadas de geosintéticos. Tales reparaciones deberán incluir traslapes, costuras cosidas, costuras fundidas o reemplazos. Para reparaciones por traslape, el geosintético deberá extenderse la longitud mínima de traslape requerida de todos los bordes de la rotura (así por ejemplo si se requiere un traslape mínimo de 0.30 m, el parche deberá extenderse al menos 0.30 m de todos los bordes de la rotura).
- **Criterios de aceptación y rechazo:** Los criterios de aceptación y rechazo para materiales geosintéticos deberán ser colocados en la especificación de manera clara y concisa. Es de gran importancia que todas la instalaciones sean observadas por un representante del diseñador quien es conocedor y consciente de los procedimientos de colocación y requerimientos de diseño. Los requerimientos de muestreos y ensayos solicitados durante la construcción también deberán ser especificados.

V.5 ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.

Refuerzo de estructuras de pavimento con geomallas.

- **Materiales:** Las propiedades requeridas de la geomalla para refuerzo deben estar en función de la gradación del material granular, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante y de las cargas impuestas durante la ejecución de los trabajos, permitiendo en todo momento el libre pasó del agua. Esta especificación no es apropiada para el refuerzo de terraplenes donde las condiciones de esfuerzos puedan causar fallas globales de la fundación o de estabilidad.
 - a) **Geomalla biaxial coextruída:** Se utilizarán Geomallas biaxiales de Polipropileno del tipo coextruído, las cuales deberán presentar como mínimo las siguientes propiedades mecánicas y físicas.
 - b) **Geotextil no tejido a nivel de subrasante:** Cuando la geomalla biaxial de refuerzo se instala a nivel de subrasante es necesario complementarla con un

geotextil no tejido, el cual cumple la función de separación a este nivel, para evitar la contaminación de las capas granulares con el suelo de subrasante.

c) Material granular: El material granular debe cumplir con las especificaciones y características para subbase granular y base granular en el caso de que esté proyectando la conformación de estructura para vía, o con características de material seleccionado para la conformación de terraplenes.

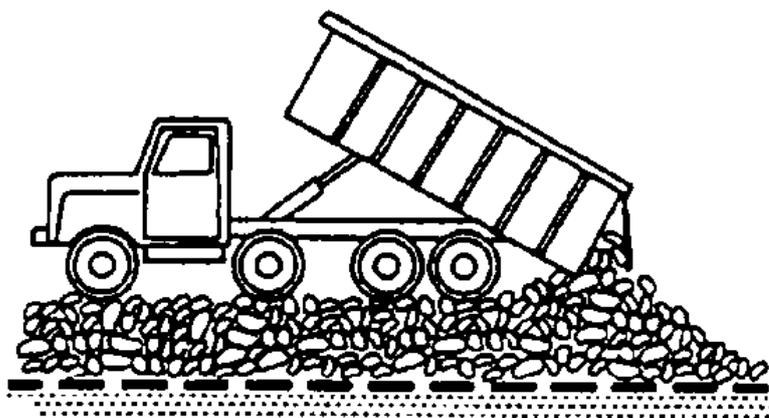
d) Subrasante: Para considerar que la función de refuerzo se dé por parte de la geomalla biaxial, el suelo de subrasante deberá presentar un CBR menor o igual a 10% ($CBR \leq 10\%$) y estar en condición de no saturación.

- **Equipo:** Se deberá disponer de los equipos necesarios para colocar la geomalla y el geotextil correctamente y el requerido para explotar, triturar, procesar, cargar, transportar, colocar y compactar el material granular.
- **Procedimiento constructivo:** Las geomallas extruidas deberán ser provistas en rollos embalados en bolsas de polietileno. Dicho embalaje no deberá ser removido hasta el momento de la instalación. Los rollos de geomalla deberán ser almacenados en ambientes cubiertos, limpios y secos, en pilas no superiores a 3.0 metros de altura, y encima de ellos no deberá ser colocada ninguna sobrecarga. Debido a su peso, los rollos podrán necesitar de izaje mecánico para su traslado; en este caso se deberá realizar el movimiento con sumo cuidado, previniendo daños en el material.

Las geomallas extruidas deberán ser instaladas de acuerdo con las especificaciones del proyecto y los planos respectivos, en los cuales se deberá señalar el sentido de la instalación.

La geomalla deberá ser desenrollada por partes y en la dirección de instalación como se indica en los planos. La parte libre de la geomalla deberá ser fijada por estacas o pesos en la posición exacta prevista en el diseño. Se desenrolla entonces cuidadosamente la parte restante asegurándose que no se formen ondulaciones (no se deberá lanzar el relleno sobre la geomalla con ondulaciones). Cuando el material esté totalmente desenrollado, el final del rollo deberá ser estirado y fijado por estacas o pesos. Las geomallas adyacentes necesitan de traslapes laterales. El traslape deberá de ser como mínimo de 60cm.

Se deberá evitar en todo momento el contacto directo de los equipos mecánicos con las geomallas, se debe de mantener un mínimo de 15cm de cobertura entre los neumáticos o las orugas y las geomallas (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014).

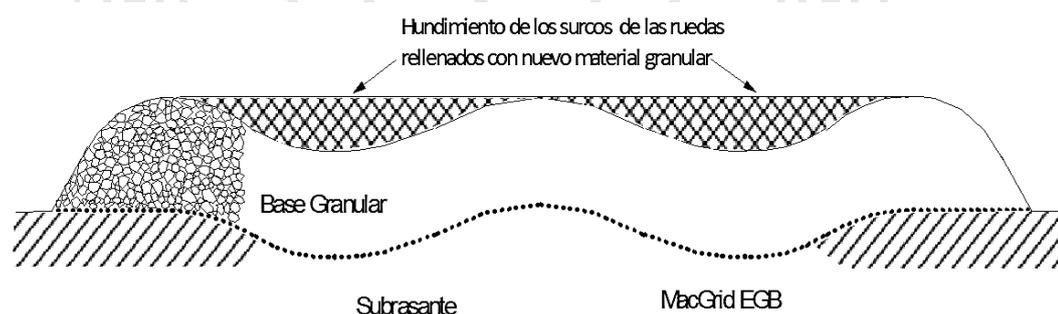


Fuente: (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014)

FIGURA V.7: Forma correcta de construcción.

Verificar que las propiedades del relleno satisfagan las especificaciones del proyecto y el drenaje sea adecuado en todas las etapas de la construcción.

No trate de remover los hundimientos de los surcos de las ruedas, al contrario rellénelos con más material y compacte para regularizar la superficie antes de aplicar las capas asfálticas. Tal comportamiento mantendrá el estado de pretensado del refuerzo (vea figura).



Fuente: (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014)

FIGURA V.8: Comportamiento del refuerzo de geomalla.

- **Medidas:** La geomalla deberá ser medida en metros cuadrados (m^2) contabilizados de las secciones indicadas en los planos y/o de las indicadas por escrito por la Supervisión.

V.6 CONTROL DE CALIDAD.

Se deberá realizar de acuerdo y en concordancia al control en campo, siendo las siguientes exigencias mínimas:

- Verificar que el terreno se prepare adecuadamente y que se cumplan las dimensiones de la rasante de diseño señaladas en los planos o las ordenadas por él supervisor, antes de autorizar la colocación de la geomalla.
- Verificar que el material de relleno cumpla las especificaciones del diseño durante el período de ejecución de la obra.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado, en cuanto a la preparación del terreno, la colocación de la geomalla y la colocación de la capa de relleno.
- Verificar la correcta colocación de las grapas utilizadas para fijar la geomalla en el terreno, y que esto se haga dentro de los intervalos establecidos.

Para asegurar la calidad de la materia prima, los procesos del fabricante y el producto final, se deberá exigir que el proveedor, así como el fabricante del producto a instalarse, posean la Certificación ISO 9001:2000

Los materiales despachados a obra serán acompañados por un Certificado de Calidad original del fabricante (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014).

V.7 EVALUACIÓN TEÓRICA A BASE DE EXPERIENCIAS SOBRE EL PERIODO DE VIDA ÚTIL DE LA GEOMALLA A LO LARGO DEL TIEMPO.

V.7.1 REVISTA ESPECIALIZADA DE PERUVIAS

Por: Daniel Robles Vives PERUVIAS Prensa

V.7.1.1 Geomallas, alternativa adecuada para reforzar suelos

La red de carreteras nacionales son pieza fundamental para promover el desarrollo sostenido de la ciudad del país; es por ello que se hace de vital importancia que estas vías se mantengan en óptima condicione y adecuado estado de conservación, a fin de permitir una circulación fluida y comfortable

por dicha vía; asimismo, será necesario garantizar una adecuada conservación del asfalto, puesto que esto permite un aumento significativo de la eficiencia en los transportes y un ahorro considerable, a largo plazo, en el mantenimiento de dicha carretera.

Según algunos especialistas del sector, en el Perú la mayoría de los pavimentos existentes ya cumplieron su periodo de vida o se han deteriorado, esto debido a diversos factores tales como el incremento de tráfico, deficiencias en los procesos constructivos, diseños inadecuados, mala calidad y dosificación de materiales; deficiente mantenimiento y falta de conservación. Las geomallas, son materiales geosintéticos destinados al refuerzo y conservación de la red de carreteras a nivel nacional; su aplicación en carreteras tiene impactos positivos puesto que gracias a ellos se logra reducir volúmenes de movimiento de tierras, incrementar la vida útil de los pavimentos, reducir el impacto de la emisión de carbono en las actividades de construcción realizadas con esta tecnología; además, que permite lograr un ahorro económico en el mantenimiento de la vía.

La colocación de la malla de refuerzo consigue una mayor distribución de las fuerzas que soporta la superficie de rodadura; es así que logra disminuir el deterioro de la superficie, además de las labores y costos de mantenimiento a largo plazo. El Ing. Romel King Bazán, especialista de Maccaferri, precisa que actualmente las carreteras del país están expuestas a problemas y fallas funcionales y estructurales, generadas por esfuerzos de tensión; lo cual genera que nuestro pavimento se deteriore muy pronto, por lo que el uso de geomallas es de vital importancia. Además de ello, la Ing. Gabriela Monje Roldán, especialista de Cidelsa, comenta para garantizar la seguridad de una vía, no solo basta utilizar adecuadamente las geomallas, sino también integrar un sistema que permita tener óptimo resultado. Por su parte, el Ing. Nelson Gonçalves, ingeniero proyectista de Quinimar, también comenta que el uso de geomallas de refuerzo aumentan la durabilidad de las carreteras, retrasando la aparición de fisuración reflexiva, de antiguos pavimentos asfálticos y también retrasa la aparición de roderas en la vía. “Las geomallas

retrasan la aparición de fisuración, originaria de las juntas de las placas de hormigón de antiguos pavimentos rígidos”, agrega.

La inclusión de las geomallas en un proyecto, no es un costo sino un ahorro en recursos a largo plazo; “Si la geomalla puede reducir estos volúmenes de materiales excavados y de reemplazo, acortando los tiempos de trabajo, no sería un costo sino un ahorro de recursos”, puntualiza; por su parte, El Ing. Nelson Gonçalves, especialista de Quinimar, menciona que el costo de la implementación de geomallas es diminuto y las ventajas en términos de control de fisuración y aumento de la vida útil de la carretera son muy significativas.

Algunas alternativas:

- 
- Maccaferri ofrece :la MacGrid WG (geomalla uniaxial), una geomalla tejida producida a partir de hilos de poliéster de alta tenacidad, MacGrid EGB (geomalla biaxial), una geomalla extruida de polipropileno, Macgrid AR (Fibra de Vidrio), una geomalla especialmente desarrollada para el refuerzo de estructuras de pavimentos.
 - Cidelsa nos ofrece: geomallas en Polipropileno, Polietileno, Poliester, y Fibra de Vidrio con diferentes tipos de recubrimientos según su empleo, PVC, Copolímeros y Bitumen.
 - Quinimar, fabrica y comercializa: geomallas de fibra de vidrio con revestimiento de bitumen oxidado del tipo QuiniRoad 120B son la solución ideal para los problemas habituales de las carreteras.

Como vemos, existen una gran variedad de este tipo de geomallas; además, es importante mencionar que nuestro país necesita vías buenas y seguras; hoy en día, la aplicación de las geomallas en refuerzo de vías y repavimentación en el Perú aún es limitada, por ello sería conveniente que se dicten normas que promuevan el empleo de las geomallas en vías .

V.7.2 GEOSOLUCIONES ANDEX

V.7.2.1 La vida útil de los geosintéticos

El desarrollo de los Geosintéticos se ha basado en la experiencia de haber usado fibras naturales (paja o lana) para estabilizar o reforzar los suelos en la antigüedad, y muchos restos arqueológicos aún los muestran, pese a su natural su deterioro.

Los Geosintéticos son químicamente inertes por lo cual sufren un deterioro muy pequeño debido a la acción química y biológica. Esto combinado con que pueden llegar a tener altas resistencias a la tensión y a la degradación por los rayos ultra violeta hace que los geosintéticos posean tiempo de vida útil de hasta más de 30 años.

V.7.3 SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CARRETERAS SPECTRA “GEOMALLAS DE TENSAR”

V.7.3.1 Sistema spectra: disminución de los costos de construcción y de la necesidad de mantenimiento a largo plazo.

a. Diseño de pavimento económico.

El sistema Spectra con geomalla de Tensar está avalado por años de investigación en laboratorio, pruebas a escala real y experiencia práctica en el área. Varios estudios e instalaciones a nivel mundial demuestran que la capa base estabilizada mecánicamente del sistema Spectra proporciona un mayor soporte al pavimento y una mejor distribución de la carga. Estas características implican dos grandes ventajas para los diseñadores de pavimento:

- **Costos iniciales más bajos:** Según estudios a escala real, se puede lograr una reducción significativa en el espesor de los componentes del pavimento con el sistema de mejoramiento de carreteras Spectra:

- Reducción de la capa de asfalto: entre 15 y 30%
- Reducción de la capa de agregado: entre 25 y 50%
- El ahorro se refleja en la menor utilización de materia prima y en los costos de acarreo y colocación.

• **Disminución de los costos de ciclo de vida:** Gracias a las propiedades excepcionales de las geomallas TriAx, el sistema Spectra proporciona a los ingenieros, contratistas y propietarios una estructura de pavimento cuya vida útil puede llegar a extenderse hasta un 500%. Esto implica un menor mantenimiento e intervalos de rehabilitación más largos, con lo cual disminuyen los costos de ciclo de vida con respecto a los sistemas convencionales. Estas mejoras en el rendimiento fueron comprobadas por el monitoreo de pavimento a escala real construido sobre una serie de subrasantes (según los valores CBR) y con distintos espesores de asfalto.

V.7.3.2 El sistema spectra prolonga la vida de una carretera mediante la introducción de una capa mecánicamente estabilizada dentro de la estructura pavimentada.

a. Soluciones en pavimento: características de la geomalla TriAx de Tensar

Los sistemas con pavimento flexible a menudo presentan fallas antes de lo esperado debido al desplazamiento lateral progresivo y al debilitamiento de la capa base de agregado. Esto provocará ahuellamiento y fatiga del asfalto, que finalmente producirá grietas en la superficie del pavimento. El sistema Spectra con la geomalla TriAx de Tensar ofrece una capa estabilizada mecánicamente dentro de la base de agregado o de la subbase granular, con lo que se mantiene la capacidad estructural y se mejora el desempeño a largo plazo del sistema de pavimento.

- **Reducción del espesor de los componentes :** Según investigaciones y pruebas a escala real, la geomalla TriAx puede reducir el espesor de la base o de la subbase de agregado hasta un 50%.
- **Mayor duración del pavimento:** A la hora de cuantificar la extensión de la vida útil del pavimento a través del menor ahuellamiento de la superficie, es necesario tener en cuenta una medición relativa del deterioro del pavimento. La Asociación Estadounidense de Funcionarios de Autopistas Estatales y Transporte (AASHTO) define ese parámetro como el índice tráfico-beneficio (TBR).

Se trata del índice de ciclos hasta rotura en una sección de pavimento reforzada con geomalla, con relación a una sección no reforzada de igual espesor. De acuerdo con pruebas a escala real independientes realizadas por una serie de entidades de investigación, el índice TBR puede variar de manera significativa según el espesor del pavimento, el soporte de la subrasante y el tipo de refuerzo de geomalla utilizado.

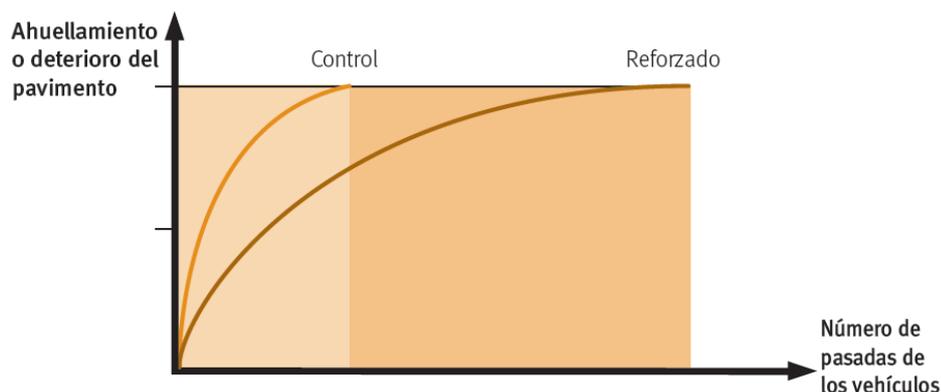


FIGURA V.9: Extensión de la vida útil del pavimento mediante el sistema Spectra.

La AASHTO proporciona más información sobre cómo cuantificar las ventajas que implica la utilización del refuerzo con geomallas en las estructuras pavimentadas. En ese documento, se indica que los datos de la sección de prueba son necesarios para cuantificar los beneficios en cuanto al rendimiento (según valores TBR) que se atribuyen a un determinado tipo de geomalla. Se han llevado a cabo pruebas exhaustivas a escala real, tanto en laboratorios como prácticas, sobre el uso de las geomallas de Tensar en la construcción de pavimento en los últimos 25 años. Por todo eso, un diseñador de pavimento puede estar seguro de la precisión de la cuantificación de los beneficios atribuidos a las geomallas de Tensar en cuanto al rendimiento.

- **Una mayor solidez del agregado a largo plazo implica un menor mantenimiento del asfalto :** En las estructuras de pavimento convencionales, en las que la capa de agregado libre (capa base) suele sufrir “ablandamiento por tensión” al verse sometida a carga constantes, esta capa comienza a quebrarse, con lo cual disminuye su rigidez. Bajo estas circunstancias, el nivel de soporte a la/s capa/s de pavimento

superior/es también disminuye y, en general, provoca un esfuerzo y una tensión lateral adicionales en la base del asfalto.

Se ha demostrado a partir de la implementación de secciones de prueba reforzadas con geomalla a escala real que la geomalla TriAx de Tensar no sólo aumenta la rigidez de la capa de agregado, sino que también esa mayor rigidez se mantiene a lo largo de toda la duración prevista de la estructura de pavimento. Este concepto suele describirse como la “generación de esfuerzo residual dentro de la estructura de pavimento”. Desde el punto de vista del propietario, esto da como resultado una mayor duración del pavimento y un costo de mantenimiento inferior.

V.7.3.3 EL SISTEMA SPECTRA DISMINUYE LA CANTIDAD DE INTERVALOS DE REHABILITACIÓN, CON LO CUAL DISMINUYEN LOS COSTOS GENERALES DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO.

a. Beneficios económicos durante el ciclo de vida útil de una estructura con geomallas TriAx de Tensar.

El sistema Spectra con la geomalla TriAx de Tensar disminuye significativamente el costos durante la colocación y a largo plazo. Mediante el análisis de costo de ciclo de vida (Life cycle cost analysis, LCCA) es posible cuantificar el valor actual de los costos futuros asociados con el mantenimiento y la rehabilitación de las estructuras de ingeniería civil. Para simplificar, el LCCA muestra que si se gasta un poco más al principio, se podrán percibir beneficios económicos importantes a largo plazo.

El LCCA puede aplicarse al empleo de refuerzos con geomallas en estructuras de pavimento flexible. El cálculo de los beneficios económicos durante el ciclo de vida de la estructura realiza con base en una extensión a largo plazo de la vida útil del pavimento, con lo cual disminuye el total de intervalos de mantenimiento y rehabilitación. El análisis del sistema Spectra incluye el costo de la geomalla TriAx de Tensar, así como también los costos de componentes del pavimento, en comparación con el valor actual de costos (present worth of costs, PWOC) de los intervalos habituales de

mantenimiento (por ejemplo, sellado de fisuras, relleno de grietas) y de rehabilitación (sobrecarpeta de asfalto).

b. Evaluación de beneficios económicos durante la vida útil del pavimento

Se construye un camino rural de bajo volumen para soportar 500.000 cargas de eje simple equivalentes (ESAL) durante 20 años. Los datos sobre costos anteriores muestran que una típica sección de pavimento exige mantenimiento cada 3 años y rehabilitación cada 6 años.

El valor CBR promedio de soporte de la subrasante equivale a 4. Se toman como datos referidos a la rigidez de la capa del pavimento, los costos de los componentes y el espesor mínimo establecido. A continuación figuran los costos según los intervalos de mantenimiento y rehabilitación establecidos por el municipio que se utilizan para efectuar un análisis de costo de ciclo de vida:

- Mantenimiento (sellado de la superficie): 115.000 USD
- Rehabilitación (sobrecarpeta estructural y sellado superficial): 155.000 USD
- Descuento: 4%
- Duración prevista: 20 años.

Determinar el valor actual de costo (PWOC) de una sección de pavimento no reforzada con respecto a un sistema Spectra reforzado con geomalla TriAx de Tensar.

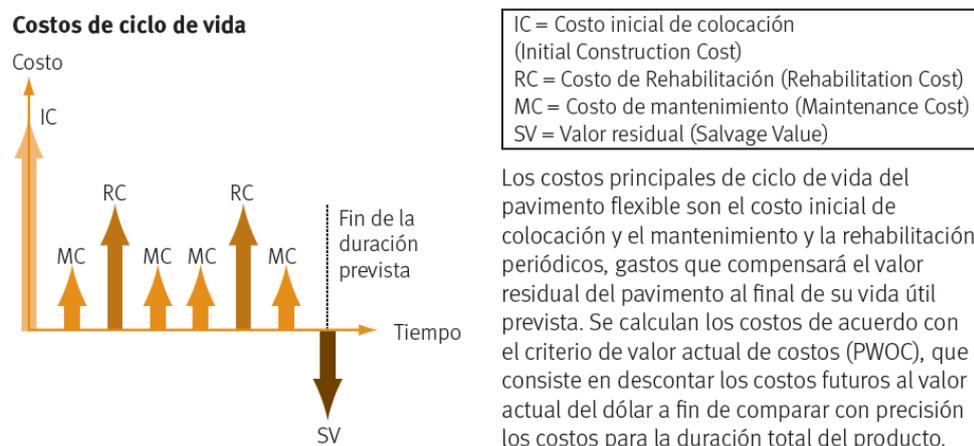


FIGURA V.10: costos de ciclo de vida

Solución:

Paso 1: Establecer alternativas de diseño y los costos de construcción iniciales A continuación se muestran los distintos espesores de la sección de pavimento no reforzada según el método de diseño de la AASHTO del año 1993 y el sistema Spectra reforzado con la geomalla TriAx de Tensar: tabla V.14

TABLA V.14: costos de construcción iniciales

	Sin refuerzo	Sistema Spectra
Asfalto	101,6 mm (4")	101,6 mm (4")
Base de agregado:	8 mm (8")	8 mm (8")
ESAL estipuladas:	425.000 USD	1.829.000 USD
Costo inicial:	533.000 USD	597.000 USD

Paso 2: Definir los años de actividad y los costos por intervalo En la tabla V.15 están expresados los costos correspondientes según intervalos de mantenimiento y rehabilitación con base en el daño acumulado (agrietamiento y ahuellamiento) pronosticado en las dos alternativas de pavimento:

TABLA V.15: Años de actividad y costos por intervalo.

Años de actividad y costos por intervalo						
Año	No reforzado			Reforzado con Geomalla TriAx® de Tensar®		
	Cargas ESAL	Mantenimiento	Rehabilitación	Cargas ESAL	Mantenimiento	Rehabilitación
3	60.000 USD	115.000 USD		60.000 USD		
6	120.000 USD	115.000 USD	155.000 USD	120.000 USD		
9	180.000 USD	115.000 USD		180.000 USD	115.000 USD	
12	240.000 USD	115.000 USD	155.000 USD	240.000 USD		
15	300.000 USD	115.000 USD		300.000 USD		
18	360.000 USD	115.000 USD	155.000 USD	360.000 USD	115.000 USD	155.000 USD
	Subtotales	690.000 USD	465.000 USD	Subtotales	230.000 USD	155.000 USD
	Total	1.155.000 USD		Total	385.000 USD	

Paso 3: Calcular los costos de ciclo de vida A partir del descuento (4%), el valor actual de costo (PWOC) se calcula para todas las instancias de mantenimiento y rehabilitación que figuran en la Tabla V.16 (se supone que

el valor residual es igual en las dos alternativas en el año 20; por lo tanto, el efecto sobre el cálculo general insignificante).

$$\text{Factor de descuento} = 1 / (1 + r)^n$$

donde:

r = tasa de descuento (%), expresada en números decimales (p. ej., 4% = 0,04)

n = cantidad de años en el futuro en los que se deberá pagar un costo

TABLA V.16: Costos de ciclo de vida.

Costos de ciclo de vida							
Año	Descuento Factor	No reforzado			Reforzado con Geomalla TriAx® de Tensar®		
		Costo inicial	Mantenimiento	Rehabilitación	Costo inicial	Mantenimiento	Rehabilitación
0	1,0000	533.000 USD			597.000 USD		
3	0,8890		102.234,58 USD				
6	0,7903		90.886,17 USD	122.498,75 USD			
9	0,7026		80.797,47 USD		80.797,47 USD		
12	0,6246		71.828,66 USD	96.812,54 USD			
15	0,5553		63.855,42 USD				
18	0,4936		56.767,23 USD	76.512,36 USD		56.767,23 USD	76.512,36 USD
	Subtotales	533.000 USD	466.369,54 USD	295.823,65 USD	597.000 USD	137.564,71 USD	76.512,36 USD
	PWOC Total			1.295.193,19 USD			811.077,07 USD

- Costo adicional 12%
- Ahorro en costo de ciclo de vida (LCC) 37%

Paso 4: Analizar los resultados

Pese a que el sistema Spectra con geomalla TriAx de Tensar implica un costo inicial 12% más alto para el propietario en el momento de la colocación, durante el ciclo de vida de la estructura **se ahorra 37%** en comparación con una sección de pavimento no reforzada. De acuerdo con las necesidades del usuario final, el sistema Spectra puede significar una solución valiosa en estructuras de pavimento flexible para economizar tanto en el momento como en el futuro.

V.8 DISEÑO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Para la prueba de hipótesis lo primero debemos establecer las hipótesis específicas posteriormente se debe elaborar condiciones de prueba, estas condiciones para nuestro caso serán preguntas puntuales (ver tabla V.17) por ende las respuestas será de manera puntual con un “sí” o con un “no”.

Al desarrollar la tesis nos manifestaran resultados positivos y/o negativos, a partir del cual deberos responder las preguntas, ya sean positivamente en donde se tomara como decisión aceptar la hipótesis, en caso que las respuestas sean negativas se toma la decisión de rechazar la hipótesis.

TABLA V.17: Elaboración de la prueba de hipótesis específica.

HIPÓTESIS ESPECIFICA	CONDICIÓN DE PRUEBA	TOMA DE DECISIÓN
<ul style="list-style-type: none"> Los estudios y ensayos de laboratorio muestran la clasificación, aplicación y propiedades físicas-mecánicas de los diferentes geosintéticos para construcción de la base y subbase de una carretera. 	<ul style="list-style-type: none"> ¿Los estudios realizados en la base a la teoría muestran de manera clara las propiedades, aplicación, clasificación? ¿Los ensayos realizados en laboratorio muestran las propiedades física-mecánicas? 	Se acepta o rechaza la hipótesis
<ul style="list-style-type: none"> La construcción con el uso de geosintéticos de la base y subbase en carreteras demuestra la optimización en el costo y el tiempo de aplicación, que las alternativas de construcción tradicionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ¿El geosintético aplicado en la construcción de la base y/o subbase optimiza el costo respecto a su costo inicial? ¿El tiempo de aplicación del geosintético en la construcción de la base y/o subbase optimiza el tiempo de construcción (base y subbase) programado en obra? 	Se acepta o rechaza la hipótesis
<ul style="list-style-type: none"> La Evaluación muestra resultados positivos con el uso de los geosintéticos en la base y subbase, a lo largo del tiempo, teniendo respuestas bastante favorables en la construcción de carreteras. 	<ul style="list-style-type: none"> ¿En la evaluación realizada, al usar los geosintéticos en base y/o subbase muestran resultados positivos? ¿Las respuestas obtenidas en el tiempo al usar el geosintético en base y/o subbase son favorables en la construcción de carreteras? 	Se acepta o rechaza la hipótesis

Fuente: *Elaboración propia.*

CAPÍTULO VI.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

VI.1 ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS CARACTERÍSTICAS LOS GEOSINTETICOS (GEOMALLA BIAxIAL).

El tipo de geosintético a estudiar y aplicar en la presente tesis es la **Geomalla Mac Grid EGB 40**, por que tiene las características idóneas para la aplicación en el diseño de pavimento de la subbase granular y mas no de base granular por que esta tiene un espesor ya mínimo establecido (15cm) el cual la teoría y las experiencias de los investigadores nos indica que no deber ser menor de lo mencionado. Por ellos se hace el ensayo únicamente en la subbase granular, he aquí detallamos el análisis:

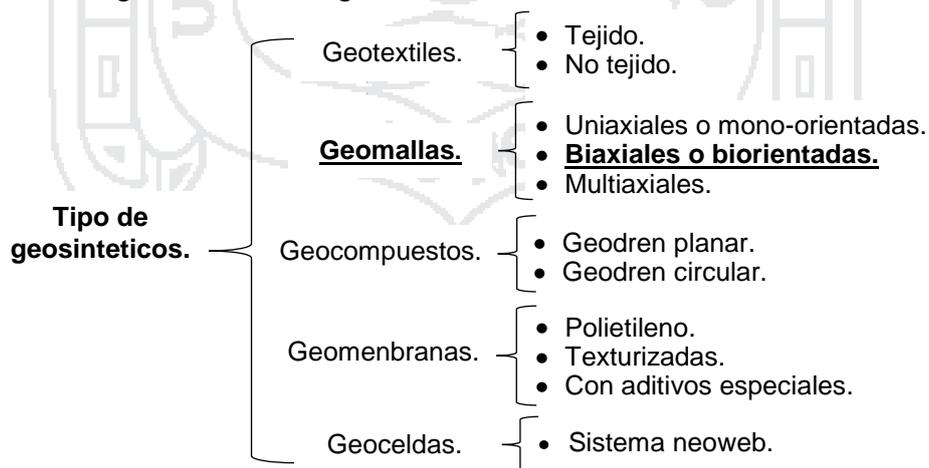
VI.1.1 Selección de la geomalla biaxial.

En la literatura existe una gran cantidad de bibliografía sobre el uso, las experiencias, las ventajas y las desventajas de los materiales geosintéticos en proyectos geotécnicos a nivel internacional por las empresas (Koerner, PAVCO, Tensar, DaSilva, FAO, Duram, Maccaferri, entre otros). En la región sur de nuestro País una de las sedes productoras de geosinteticos más cercanas a la Ciudad de Puno es la empresa de Maccaferri sede Arequipa, en tal sentido la geomalla biaxial a estudiar se adquirirá de la ciudad de Arequipa.

El criterio de decisión de los usuarios, sugiriendo que el grado de competencia óptimo entre esto dos materiales se encuentra su aplicación en terrenos cuya capacidad portante se encuentre en un rango de CBR 0% al 3% considerado

mejoramiento alto, CBR del 3% al 5% considerado mejoramiento medio, y CBR 5% al 18% considerado mejoramiento bajo (ver figura V.6), el **CBR de estudio se encuentra con 10%**, (ver tabla IV.12). La elección del geosintético que proporcione mejores condiciones de trabajo debe ser el resultado de comparar la funcionalidad, material y el precio de cada producto para las condiciones particulares de un proyecto. EL capítulo III específicamente “III.5.2 Clasificación de los geosintéticos” se observar que las geomallas cumplen funciones similares a los demás tipos de geosintéticos. Pero para poder hacer la elección correcta para un pavimento (base y subbase), debemos saber que la estructura de un pavimento (base y subbase), tiene que mejorar su capacidad portante.

- Funcionalidad:** lo que buscamos es básicamente que los esfuerzos se transmitan a lo largo de la estructura a reforzar, que los esfuerzos verticales generados por el tráfico, sean disipadas en varias direcciones (**los únicos que cumplen son las geomallas**), por lo que el diseño de la geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal (**los únicos que cumplen son las geomallas biaxiales y geomallas multiaxiales**). Este tipo de refuerzo se ha definido como refuerzo de base, como efecto de restricción lateral o de refuerzo de confinamiento, debido a la unión que se genera en la interacción del suelo granular con la geomalla.



- Material:** La mayoría de los geosintéticos se compone principalmente de polímeros (estas a su vez se componen de monómeros), en menor medida por aditivos. El aumento de peso molecular provoca un aumento en la

resistencia a la tracción, al impacto y al calor, conduciendo a una reducción de la deformabilidad del material y de los efectos de fluidez.

- **El polipropileno es muy resistente y puede ser utilizado en ambientes extremos, como los rellenos sanitarios.** (lo se necesita un material que se aplicara en terreno granular, ver tabla VI.1)
- Los poliésteres presentan elevado módulo de elasticidad y baja susceptibilidad a la fluencia. Pero, son susceptibles a la hidrólisis en ambientes con pH alto.
- Las poliamidas son también susceptibles a la hidrólisis, y cuando están sumergidas, pueden tener la resistencia a la tracción reducida hasta un 30%.

TABLA VI.1: Selección del tipo de material de la geomalla biaxial.

POLÍMERO.	TIPO DE GEOSINTÉTICO.	VENTAJA.
Poliétileno (PE).	Geotextiles. Geomenbranas. Geocompuestos. Geomallas.	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad química nula en soluciones acidas y básicas. • Bajo costo.
Polipropileno (PP).		
Poliéster (PET).	Geomallas. Geotextiles. Geocompuestos.	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado modulo elástico. • Baja deformabilidad bajo carga constante. • Costo relativamente bajo.
Cloruro de polivinilo (PVC).	Geomembranas. Geocompuestos.	
Poliamida (PA).	Geotextiles. Geocompuestos. Geomallas.	<ul style="list-style-type: none"> • Modulo elástico elevado. • Resistencia a la abrasión alta.

Fuente: extracción de (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014)

- **Precio:** En la mayoría de los geosintéticos el precio es de acuerdo a la ventaja constructiva, al tipo de material y a la función que tiene; pero el precio geomallas según las características necesitamos (geomalla biaxial de polipropileno) en el mercado en general se encuentran de la siguiente manera: geomallas uniaxiales (precio bajo), **geomallas biaxiales (precio regular)** y geomallas multiaxiales (precio alto). Y a su vez, la empresa Maccaferri tiene tres tipos de geomalla biaxial a estudiar (ver tabla VI.2 y anexo 02). Para la elección de uno de ellos, se toma en consideración las mejores características de los tres (**geomalla Mac Grid EGB 40**) y así poder llegar a una máxima reducción de capas en el diseño de pavimentos en un terreno de capacidad portante de CBR del 10%:

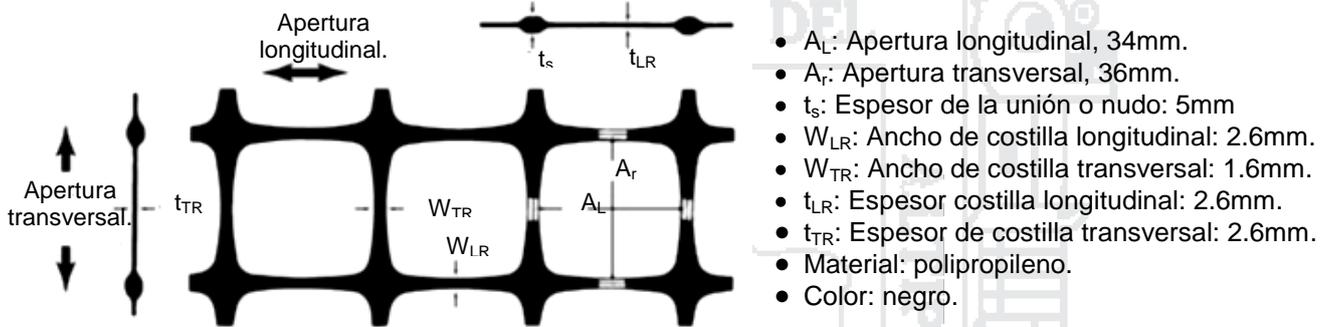
TABLA VI.2: Tipos de geomalla biaxial.

TIPOS DE GEOMALLAS BIAXIALES DE MACCAFERRI.	PROPIEDADES MECÁNICAS	COSTO
Geomalla Mac Grid EGB 20	Regular.	Bajo
Geomalla Mac Grid EGB 30	Bueno.	Regular
Geomalla Mac Grid EGB 40	Muy bueno.	alto

Fuente: extracción de (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014)

VI.1.2 Propiedades física-mecánicas de la geomalla MAC GRID EGB 40

En la figura VI.1 se muestra una sección de la geomalla biaxial MacGrid EGB 40 (el cual es aplicado en este estudio), en donde se muestran características físicas; para ver otros tipos de geomalla biaxial ver el Anexo 02, sección de características técnicas de la geomalla biaxial.



Fuente: (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014)

FIGURA VI.1: Características físicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB40.

TABLA VI.3: Propiedades de la geomalla biaxial que afectan en su comportamiento.

Costillas	Espesor	Mientras más gruesa sea, es mejor.
	Rigidez	Mientras más rígida sea, es mejor.
	Forma	La forma rectangular es mejor.
Apertura	Tamaño	Depende del relleno, se debe asegurar la trabazón.
	Forma	Circular o Cuadrada es mejor.
	Rigidez	Una mayor rigidez es mejor.
Unión	Resistencia	Alta comparada con las costillas (>90%)
General	Rigidez Torsional	Mientras más alta sea, es mejor.
	Estabilidad de la abertura	Cuando es más alta es mejor.

Fuente: (ORREGO CABANILLAS, Junio 2014)

En la tabla VI.3 se presentan los resultados y experiencias obtenidos en las investigaciones desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – USACOE en el año 1992.

Las propiedades mecánicas de esta geomalla biaxial se muestran en la tabla VI.4, para ver de otras mallas ver el anexo 02.

TABLA VI.4: Propiedades mecánicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB 40.

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNID.	ENSAYO	EGB 40
Resistencia longitudinal a la tracción.	kN/m	ASTM D 6637	40
Resistencia transversal a la tracción.	kN/m	ASTM D 6637	40
Resistencia longitudinal al 2% de deformación.	kN/m	ASTM D 6637	14
Resistencia transversal al 5% de deformación.	kN/m	ASTM D 6637	14
Resistencia longitudinal al 2% de deformación.	kN/m	ASTM D 6637	28
Resistencia transversal al 5% de deformación.	kN/m	ASTM D 6637	28
Eficiencia de las juntas.	%	GRI GG2	93
Rigidez flexural.	mg-cm	ASTM D 1388	10,000,000
Estabilidad de aperturas.	m-N/deg	COE Method	2.10

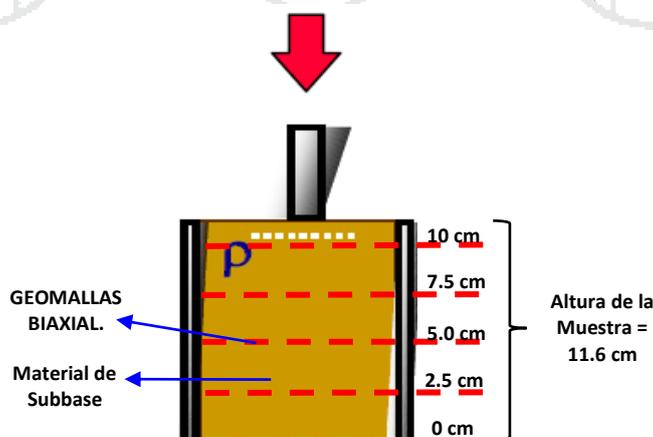
Fuente: (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014).

VI.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS DE LABORATORIO CON APLICACIÓN DE GEOSINTETICOS

VI.2.1 Resumen de ensayos de CBR con geomallas biaxial MAC GRID EGB 40.

El análisis de las geomallas biaxiales se realiza mediante ensayos de laboratorio (ver anexo 01). Se hizo la aplicación de geomalla biaxiales a diferentes alturas en la prueba de CBR (figura de VI.2.).

Se logró estudiar el material de subbase y se comprobó que este material está dentro de los parámetros que establece la normativa en nuestro país (ver tabla VI.6) con este resultado se puede decir que la característica físico-mecánicas del material de subbase son buenas, luego se procede a hacer el CBR con geomalla biaxial, primero a una altura cero, después otro CBR a una altura de 2.5cm, otro a 5.0 cm, 7.5cm y 10cm (capítulo V, específicamente el ítem V.2 y para ver los ensayos ver Anexo 01). Este ensayo se hace tres veces para tener certeza en lo realizado.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA VI.2: Profundidades de ensayo de CBR con aplicación de geomalla biaxial.

TABLA VI.5: Resumen de ensayos de CBR con aplicación de geomallas biaxiales.

RESUMEN DEL ENSAYO DE CBR COM APLICACIÓN DE GEOMALLA BIAxIAL							
ALTURA	DENSIDAD	CBR %	ENSAYO	RESULTADO DE CBR			RESULTADO PROMEDIO DE CBR AL 100%
0 cm	2.02	18.26	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	62.29%
	2.03	39.27		100% MDS	63.44%	2.171	
	2.17	63.44		95% MDS	44.00%	2.062	
	2.02	16.50	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.03	39.47		100% MDS	63.22%	2.170	
	2.17	63.22		95% MDS	44.00%	2.062	
	2.01	17.40	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.03	39.30		100% MDS	60.20%	2.171	
	2.17	60.18		95% MDS	44.50%	2.063	
2.5cm	2.02	20.81	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	71.47%
	2.04	45.26		100% MDS	72.89%	2.167	
	2.17	72.89		95% MDS	51.00%	2.058	
	2.02	21.69	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.03	40.44		100% MDS	70.03%	2.167	
	2.17	70.03		95% MDS	46.00%	2.058	
	2.02	21.25	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.05	42.85		100% MDS	71.50%	2.176	
	2.18	71.46		95% MDS	47.00%	2.067	
5cm	2.02	29.92	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	78.51
	2.03	51.64		100% MDS	81.25%	2.174	
	2.17	81.25		95% MDS	58.50%	2.065	
	2.02	28.24	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.03	45.09		100% MDS	81.27%	2.171	
	2.17	81.27		95% MDS	53.00%	2.062	
	2.01	30.21	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.03	48.37		100% MDS	73.00%	2.146	
	2.15	73.05		95% MDS	50.50%	2.039	
7.5 cm	2.02	30.32	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	95.35%
	2.03	70.57		100% MDS	92.62%	2.174	
	2.17	92.62		95% MDS	75.50%	2.065	
	2.02	33.26	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.03	68.90		100% MDS	98.13%	2.176	
	2.18	98.13		95% MDS	76.00%	2.067	
	2.01	31.79	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.02	69.39		100% MDS	95.30%	2.156	
	2.16	95.35		95% MDS	72.50%	2.048	
10 cm	2.02	34.30	1er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	114.87%
	2.04	92.13		100% MDS	115.92%	2.173	
	2.17	115.92		95% MDS	96.50%	2.064	
	2.02	34.38	2do ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.03	90.84		100% MDS	113.79%	2.161	
	2.16	113.79		95% MDS	95.50%	2.053	
	2.03	34.34	3er ENSAYO	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):	
	2.04	91.49		100% MDS	114.90%	2.172	
	2.17	114.86		95% MDS	95.00%	2.063	

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados del primer, segundo y tercer ensayo de CBR son registrados en la tabla VI.5, en el resultado se interpreta que la penetración del pistón a una altura de una pulgada registran un CBR al 100% una MDS (máxima densidad seca). Como se puede apreciar en la tabla antes mencionada, el CBR a una pulgada de penetración se va elevando a medida que va aumentando la

geomalla biaxial, por ejemplo en una altura cero el CBR es de 63.44% y en una altura de 10cm el CBR es de 115% (ver tabla VI.5), este último resultado se debe a que la geomalla está cerca de la superficie y al estar ahí son los primeros en trabajar (absorben y distribuyen la fuerza aplicada). En la figura VI.2, se observa la figura de todos los ensayos.

VI.2.2 Resumen de las propiedades física-mecánicas de material subbase.

Cuando se hizo el estudio del material de la Subbase y fueron sometido a diferentes ensayos en laboratorio de Mecánica de Suelos, este material cumplió con las normativas de nuestro país, lo que indica la valides del material subbase y así cumpliendo las características física-mecánicas (ver tabla VI.6)

TABLA VI.6: Características fisico-mecanicas de la Subbase.

Ensayo	Norma MTC	Ensayos de laboratorio de la subbase			Requerimientos de la norma peruana.		¿Cumple con la norma?
		1er ensayo	2do ensayo.	3er ensayo.	Resultado o final	≥ 3000 m.s.n.m.	
Abrasión	MTC E 207	29.99%	--	--	29.99%	50% máx.	Si
CBR	MTC E 132	63.4%	63.2%	60.2%	62.27%	40% min.	Si
Limite Líquido.	MTC E 110	20.5%	20.0%	20.70%	20.4%	25% máx.	Si
Índice de plasticidad.	MTC E 111	3.55%	3.68%	3.69%	3.64%	4% máx.	Si
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	19.15%	--	--	19.15%	20% máx.	Si

Fuente: Elaboración propia.

VI.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOMALLAS Y SIN GEOMALLAS.

Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla biaxial.

TABLA VI.7: Resumen del análisis final de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla biaxial. Carretera Arapa – Dv. Huancané. Tramo I

Capa	Espesor de Pavimento Tradicional (cm.)	Espesor de Pavimento con Geomalla (cm.)	Espesor ahorrado (%)
Carpeta asfáltica	5.0	5.0	0
Capa de base	15.0	15.00	0
Capa de subbase	20.0	5.0	75.00

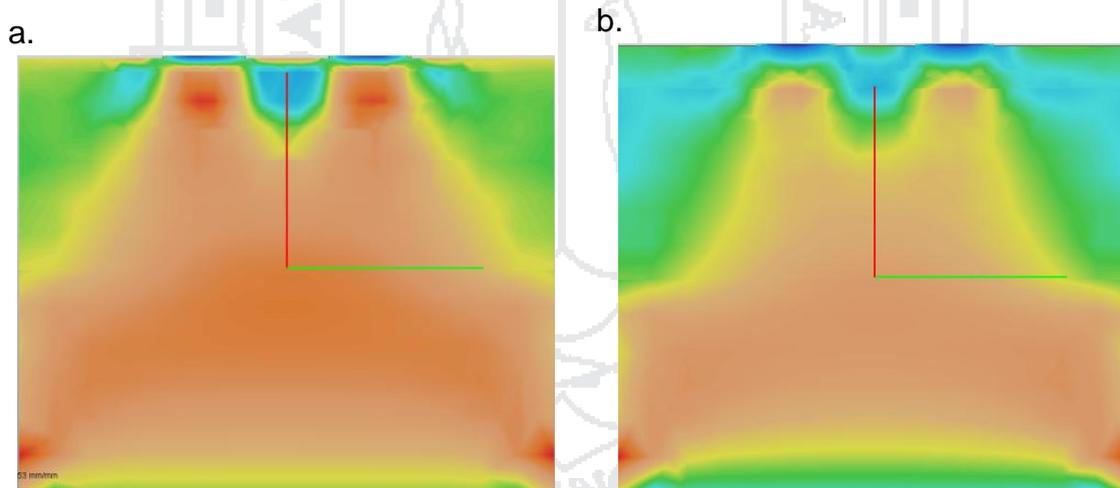
Fuente: Elaboración propia.

Espesor de la estructura reducido, Subbase: 15 cm lo que equivale a un 75% de ahorro en espesor. Según el ejemplo, las geomallas biaxiales funcionan como material de refuerzo, en este caso su aporte es a la estructura, que genera una reducción de espesor de material granular subbase (ver tabla VI.7).

El ingeniero proyectista o diseñador debe tener en cuenta todas las posibilidades de diseño que se puedan generar con la inclusión del refuerzo y escoger la más viable tanto económica como constructivamente posible, en el caso mostrado se redujo la capa subbase. Para cualquiera caso de estudio, se deben realizar los cálculos teniendo en cuenta la experiencia del ingeniero, sin dejar a un lado el estudio y conocimiento de los materiales que se emplearan para la construcción de la estructura.

VI.4 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO CON ELEMENTOS FINITOS.

El programa a utilizar es Abaqus, este programa trabaja mediante elementos finitos. El uso de programas computacionales para analizar estructuras de pavimentos flexibles nos dan la libertad de modelar diferentes condiciones de pavimentos y tomar una foto de condiciones de esfuerzo-deformación unitaria al momento de aplicar la carga.



Fuente: *Elaboración propia.*

FIGURA VI.3: Bulbo de presiones del pavimento. (a) pavimento sin geomalla; (b) pavimento con geomalla.

Con el programa Abaqus, nuestro objetivo es mostrar el bulbo de presiones como se observa en la figura VI.3, el cual se observan dos figuras. La figura (a), es un pavimento de sin geomalla, en donde se puede observar (de color naranja) que la fuerza aplicada por el peso del vehículo al pavimento diseñado (AASHTO 93, sin uso de geomalla) hace que las capas (base y subbase) trabajen más, así llegando el esfuerzo a mayor profundidad; lo que esto indica es que debemos tener capas (base, subbase y subrasante) más gruesas para que puedan desaparecer los

esfuerzos y así no cause daño al pavimento. La figura (b), es un pavimento con aplicación de geomallas, el pavimento mostrado es un diseño con el método AASHTO 93 con aplicación de geomallas, pues lo que indica color naranja es los esfuerzos son absorbidos por la geomalla y distribuidos en menor espesor de la capa subbase; entonces lo que indica es que un pavimento con espesores menores y aplicado con geomalla, trabaja de igual manera que un pavimento sin geomallas.

VI.5 ANÁLISIS DE DISEÑOS TRADICIONALES Y LA PROPUESTA EN FUNCIÓN DE COSTOS Y TIEMPO

VI.5.1 Análisis de costos de la subbase granular tradicional (e=20cm) y subbase aplicado con geomalla biaxial (e=5 cm).

En la tabla VI.8 encontramos un cuadro resumen del análisis realizado de la capa subbase granular, además de ello encontramos en el cuadro una fila de metrados el cual se encuentra anexada (ver anexo 5). Estos metrados son referente a la subbase granular tradicional de e=20cm.” Sin geomalla biaxial”

TABLA VI.8: Resumen del análisis de costo de la subbase granular debido a la inclusión de la geomalla biaxial (e=5cm) y sin geomalla (e=20cm).

Capa	Subbase de espesor de 20cm “Sin geomalla”.			Subbase de espesor de 5cm “Con geomalla biaxial”.		
CAPA DE SUBBASE	Vol. de material subbase granular (m3)	Trans. de material subbase para D<= 1km (m3k)	Trans. de material subbase para D>1km (m3k)	Vol. de material subbase granular (m3)	Trans. de material subbase para D<= 1km (m3k)	Trans. de material subbase para D>1km (m3k)
Metrado	60,955.98	76,194.98	1,747,962.30	14,830.64	18,538.30	425,454.24
Precio unitario (s/.)	26.13	3.78	0.66	135.62	3.78	0.66
Parcial (s/)	1,592,779.76	288,017.02	1,153,655.12	2,011,331.40	70,074.78	280,799.79
Total (s/)	3,034,451.90			2,362,205.97		
Ahorro (s/)	672,245.93					
Ahorro (%)	22.15 %					

Fuente: Elaboración propia.

Aremos un análisis detallado del costo de la subbase sin geomalla biaxial (e=20.0 cm) y un análisis detallado del costo de la subbase con geomalla biaxial (e=5.0 cm).

VI.5.1.1 Costo de la subbase sin geomalla biaxial (e=20cm).

A continuación procedemos al cálculo del costo influyente a la subbase de la carretera de 33+660 km tabla VI.9, puesto que es lo único que se reduce.

TABLA VI.9: Costo de la capa subbase (e=20cm) de toda la carretera Dv. Huancané – Chupa.

CAPA	LONGITUD (Km)	VOLUMEN DE MATERIAL (m3)	COSTO DE MATERIAL (s/. /m3)	COSTO DE TOTAL POR CAPA (s/)
CAPA DE SUBBASE	33+660	60,955.98	26.13	1,592,779.76
TOTAL				S/. 1,592,779.76

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

El análisis de costo unitario de material subbase, es de acuerdo al análisis de la obra, referente a la tabla VI.10., en donde notamos que tiene dos subpartidas (agua para obra y material granular para subbase) que son motivo de análisis.

TABLA VI.10: Análisis de costo unitario de la partida subbase (e=20cm) de la carretera Dv. Huancané – Chupa

partida		SUB BASE GRANULAR				
rendimiento	M3/día	MO:388.0	EQ: 388.0	Costo unitario directo por: m3		26.13
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra						
	Operario.	Hh	1.00	0.0206	19.18	0.40
	Oficial.	Hh	1.00	0.0206	15.90	0.33
	Peón.	Hh	6.00	0.1237	14.30	1.77
						2.50
Equipos						
	Herramientas manuales.	%MO		5.000	2.50	0.13
	Rodillo liso vibratorio autopropulsado 70-100 HP 7-9 ton.	Hm	1.00	0.0206	144.07	2.97
	Motoniveladora.	Hm	1.00	0.0206	186.44	3.84
						6.94
Subpartidas						
	Agua para obra.	M3		0.1000	11.46	1.15
	Material granular para subbase.	M3		1.2000	12.95	15.54
						16.69

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

En la tabla VI.11, se muestra la subpartida “agua para la obra”, el cual tiene un costo unitario directo de 11.46 soles

TABLA VI.11: Análisis de costo unitario de la subpartida agua para la obra de la carretera Dv. Huancané – Chupa

subpartida		AGUA PARA LA OBRA				
rendimiento	M3/día	MO:76.00	EQ: 76.00	Costo unitario directo por: m3		11.46
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra						
	Peón.	Hh	0.500	0.0526	14.30	0.75
						0.75
Equipos						
	Camión cisterna 4x2 (agua) 122 HP 2,000 gl	Hm	1.00	0.1053	101.69	10.71
						10.71

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

La subpartida de “material granular para subbase” (tabla VI.12), tiene mas subpartidas: carguío de material granular (tabla VI.13), zarandeo (tabla VI.14.) y extracción de cantera y apilamiento de material subbase (tabla VI.15).en donde nos muestra claramente los costos por m³.

TABLA VI.12: Análisis de costo unitario de la subpartida material granular para subbase de la carretera Dv. Huancané – Chupa

Subpartida MATERIAL GRANULAR PARA SUB BASE						
rendimiento	M3/día	MO:0.00	EQ: 0.00	Costo unitario directo por: m3		12.95
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio s/	Parcial s/
Subpartidas						
	Carguío – material granular.	M3		1.000	2.67	2.67
	Zarandeo.	M3		1.000	4.45	4.45
	Extracción de cantera y apilamiento de material para subbase.	M3		1.000	5.83	5.83
						12.95

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

En las siguientes tablas, se mostraran el análisis de subpartidas de la subpartida “material granular para subbase”

TABLA VI.13: Análisis de costo unitario de la subpartida carguío – material granular de la carretera Dv. Huancané – Chupa

Subpartida CARGUIO – MATERIAL GRANULAR						
rendimiento	M3/día	MO:560.0	EQ: 560.0	Costo unitario directo por: m3		2.67
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra						
	Peón.	Hh	0.500	0.0071	15.90	0.11
						0.11
Equipos						
	Cargador sobre llantas 200-250 HP 4-4.1 yd3.	Hm	1.00	0.0143	178.92	2.56
						2.56

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

TABLA VI.14: Análisis de costo unitario de la subpartida zarandeo de la carretera Dv. Huancané – Chupa

Subpartida ZARANDEO						
rendimiento	M3/día	MO:360.0	EQ: 360.0	Costo unitario directo por: m3		4.45
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra						
	Oficial.	Hh	0.100	0.0022	15.90	0.03
	Peón.	Hh	1.000	0.0222	14.30	0.32
						0.35
Equipos						
	Herramientas manuales.	%MO		5.000	0.35	0.02
	Zaranda vibratoria 4"x6"14" motor eléctrico 15 HP	Hm	1.00	0.0222	52.42	1.16
	Cargador sobre llantas 100-115 HP 2-2.25 yd3.	Hm	1.00	0.0222	131.36	2.92
						4.10

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

Uno de los puntos de análisis es la subpartida de “extracción de cantera y apilamiento de material para subbase” (tabla VI.15), donde se muestra claramente el costo por m³ es de 5.83 soles, dentro ellos se encuentra el costo de material de cantera que va ser explotada (con un costo de 0.6 soles por m³).

Si hacemos un análisis muy particular sobre este punto (material de cantera), notemos que la conformación de la capa subbase necesitaremos 60,955.98 m³ (sin esponjamiento) y con esponjamiento (60,955.98 m³ x 1.25) 76,194.98 m³, lo cual implicaría el volumen explotado de la cantera. Esta explotación de cantera tendría un costo de (76,194.98 m³ x 0.6 soles por m³) 45,716.98 soles

El costo obtenido por la cantera ya está incluido en el costo de la “subbase granular”, puesto que esta partida está compuesto de subpartidas.

TABLA VI.15: Análisis de costo unitario de la subpartida extracción de cantera y apilamiento de material para subbase de la carretera Dv. Huancané – Chupa

Subpartida	EXTRACCIÓN DE CANTERA Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA SUBBASE.					
rendimiento	M3/día	MO:460.0	EQ: 460.0	Costo unitario directo por: m3		5.83
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra.						
	Operario.	Hh	0.200	0.0035	15.90	0.06
	Oficial.	Hh	0.200	0.0035	19.18	0.07
	Peón.	Hh	2.000	0.0348	14.30	0.50
						0.62
Materiales.						
	Material de cantera.	M3		1.000	0.60	0.60
						0.60
Equipos.						
	Herramientas manuales	%MO		5.000	0.63	0.03
	Tractor de orugas de 190-240 HP.	hm	1.000	0.0174	262.71	4.57
						4.60

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

Ahora analizaremos el costo de transporte del material para toda la conformación de la capa subbase granular. (Tabla VI.16). Además encontramos la columna de metrados, estos metrados se encuentran en el anexo 05.

TABLA VI.16: Costo de transporte de material granular para la subbase de e=20cm para las distancias de <= 1km y para distancias > 1km.

TRANSPORTE	METRADO DE MATERIAL (m3k)	COSTO DE MATERIAL (s/./m3)	COSTO DE TOTAL POR CAPA (s/)
D<= 1KM	76,194.98	3.78	288,017.02
D> 1KM	1,747,962.30	0.66	1,153,655.12
TOTAL			S/. 1,441,672.14

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

El análisis de costo unitario de transporte de material subbase para $D \leq 1\text{km}$ (tabla V.17.) y $D > 1\text{km}$ (tabla VI.18.), es de acuerdo al análisis de la obra.

TABLA VI.17: Análisis de costo unitario de la partida transporte de material subbase para $D \leq 1\text{km}$ de la carretera Dv. Huancañé – Chupa

partida		02.05.05 TRANSPORTE DE MATERIAL SUBBASE PARA $D \leq 1\text{KM}$.				
rendimiento	M3k/día	MO:510.0	EQ: 510.0	Costo unitario directo por: m3k		3.78
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra						
	Oficial.	Hh	0.500	0.0078	15.90	0.12
						0.12
Equipos						
	Camión volquete de 15m3.	hm	1.00	0.0157	144.07	2.26
	Cargador sobre llantas 200-250 HP 4-4.1 yd3	Hm	1.00	0.0078	178.92	1.40
						3.66

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancañé - Chupa.

TABLA VI.18: Análisis de costo unitario de la partida transporte de material subbase para $D > 1\text{km}$ de la carretera Dv. Huancañé – Chupa

partida		02.05.06 TRANSPORTE DE MATERIAL SUBBASE PARA $D > 1\text{KM}$.				
rendimiento	M3k/día	MO:1796.0	EQ: 1796.0	Costo unitario directo por: m3k		0.66
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra						
	Oficial.	Hh	0.200	0.0009	15.90	0.01
						0.01
Equipos						
	Camión volquete de 15m3.	hm	1.00	0.0045	144.07	0.65
						0.65

Fuente: Extracto del expediente de la carretera Desv. Huancañé - Chupa.

Al analizar los metrados y rendimientos ($\text{m}^3\text{-km/día}$) de transporte notamos que la distancia media de transporte (D.M.T) es 23.94km, el cual se tiene que mantener al realizar los nuevos cálculos referentes al nuevo volumen de la cantera la Punta. (Ver anexo 05)

VI.5.1.2 Costo de la subbase utilizando geomalla biaxial (e=5cm).

A continuación hacemos el cálculo del costo utilizando la geomalla biaxial, con un espesor de subbase de e=5cm, de toda la carretera.(ver tabla VI.19.)

TABLA VI.19: Costo de la subbase de e=5cm aplicando la geomalla biaxial a la carretera Dv. Huancañé – Chupa.

CAPA	LONGITUD (Km)	VOLUMEN DE MATERIAL (m3)	COSTO DE MATERIAL (s/. /m3)	COSTO DE TOTAL POR CAPA (s/)
CAPA DE SUBBASE	33+660	14,830.64	135.62	2,011,331.40
TOTAL				S/. 2,011,331.40

Fuente: Elaboración propia.

Notaremos que costo unitario del material del subbase granular ($e=5.0\text{cm}$) es de 135.62 soles. Este monto incluye el costo de agua para obra, el costo de material granular subbase y el costo de la geomalla biaxial (ver tabla VI.20), es decir al análisis de la partida de “subbase granular” (ver tabla VI.10) se le incluye como una subpartida de geomalla biaxial.

Notaremos que en la partida de geomalla biaxial (ver tabla VI.20.) el costo de la geomalla biaxial es de 6.73 soles, y que es necesario la cantidad de 16.27 m^2 de geomalla biaxial (ver figura VI.5), aquí les explicamos el origen del metrado de 16.27m^2 :



Fuente: Expediente de la carretera Desv. Huancané - Chupa.

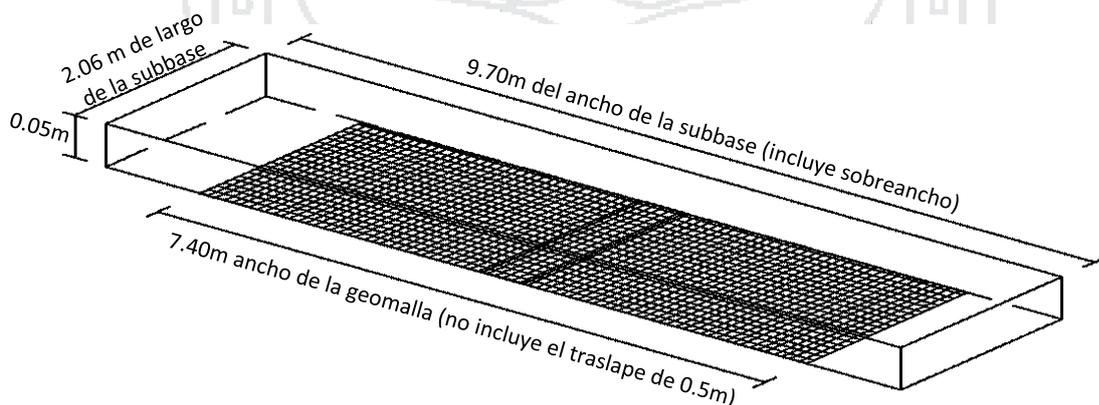
FIGURA VI.4: Corte de la sección típica del pavimento de la carretera DV. Huancané – Chupa

Si :

- 1m^3 de material subbase = $2.06\text{ m} \times 9.70\text{m} \times 0.05\text{m}$.
- Las dimensiones de un lote de geomalla biaxial son: $50\text{m} \times 3.95\text{m}$

Entonces:

- 1m^3 de material de subbase ($e=5\text{cm}$) llega a cubrir $(2.06\text{m} \times 9.70\text{m}) 19.98\text{ m}^2$ de la sección de la vía.
- El área necesaria de geomalla por 1m^3 es: $7.40\text{m} \times 2.06\text{m} = 15.24\text{ m}^2$
- Ahora, la área necesaria de geomalla biaxial (incluido el traslape) por 1m^3 es: $7.90\text{m} \times 2.06\text{m} = 16.27\text{m}^2$.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA VI.5: Sección típica de 1m^3 de material subbase ($e=0.05\text{m}$) de la carretera Dv. Huancané - Chupa.

TABLA VI.20: costo unitario de la base granular (e=5cm) con incorporación de geomalla biaxial

partida		SUB BASE GRANULAR				
rendimiento	M3/día	MO:388.0	EQ: 388.0	Costo unitario directo por: m3		135.62
código	Descripción recurso	Unidad	cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
Mano de obra						
	Operario.	Hh	1.00	0.0206	19.18	0.40
	Oficial.	Hh	1.00	0.0206	15.90	0.33
	Peón.	Hh	6.00	0.1237	14.30	1.77
						2.50
Equipos						
	Herramientas manuales.	%MO		5.000	2.50	0.13
	Rodillo liso vibratorio autopropulsado 70-100 HP 7-9 ton.	Hm	1.00	0.0206	144.07	2.97
	Motoniveladora.	Hm	1.00	0.0206	186.44	3.84
						6.94
Subpartidas						
	Agua para obra.	M3		0.1000	11.46	1.15
	Material granular para subbase.	M3		1.2000	12.95	15.54
	Geomalla Biaxial Extruida EGB 40S	M2		16.27	6.73	109.49
						126.18

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del costo de 6.73 soles se observa en la tabla VI.21; en la misma tabla observamos que el costo de la geomalla biaxial tiene un precio de 5.90 soles, este precio se analiza en la tabla VI.22, donde se muestra que ya está incluido el costo flete de la geomalla, la geomalla se adquirirá de la ciudad de Arequipa en una cantidad de $7.90m \times 33+660 km = 265,914.0m^2$. Es decir sería necesario (un lote tiene $197.5 m^2$):

$$(265914.0 m^2)/(197.5 m^2) = 1346.4 \text{ lotes de geomalla biaxial.}$$

TABLA VI.21: Análisis de costos unitarios de geomalla biaxial.

ITEM		Geomalla Biaxial Extruida EGB 40S				
		REND/día	UNIDAD	TOTAL (s/ UNIDAD)		
		1,000.00	m ²	6.73		
1.- MANO DE OBRA						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
	Operario	hh	1.00	0.008	19.18	0.15
	Oficial	hh	1.00	0.008	15.90	0.13
	Peón	hh	2.00	0.016	14.30	0.23
Sub Total =						0.51
2.- MATERIALES						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
	Geomalla Biaxial Extruida EGB 40S	m ²		1.05	5.90	6.20
Sub Total =						6.20
3.- EQUIPOS						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
	Herramientas	%		3%	0.51	0.02
Sub Total =						0.02

Fuente: (MACCAFERRI, MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO, 2014).

TABLA VI.22: Calculo de flete de la geomalla biaxial.

CALCULO DE DISTANCIAS Y FLETES.

TRANSPORTE NORMAL

ORIGEN	DESTINO	D.V. kmv	S/. X TM	FRV	S/. X TM	INDICE 32 dic-05	INDICE 32 may-14	REAJUSTE	SUB TOTAL
Arequipa	Juliaca	394.250	65.110	1.000	65.110	371.500	468.300	1.261	82.08

CALCULO DE FLETES A LA OBRA:

Calculando el flete de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 049-2002-MTC

ORIGEN	DESTINO	REGIÓN	ALTITUD PROMEDIO	TIPO CARRETERA	DISTANCIA KM	F.C.	DV
JULIACA	C.G.OBRA	SIERRA	> 2500	Asfaltada	64.50	1.400	90.30

FACTOR DE CORRECCIÓN

REGIÓN	TIPO DE CARRETERA		
	ASFALTADO	AFIRMADO	TROCHA
Costa 0 - 1000 msnm Gradiente de 0 - 3%	1.00	1.58	2.15
Intermedia y Selva: 1000 - 2500 msnm. 3 - 5%	1.20	2.10	2.90
Sierra: > 2,500 msnm. Gradiente 5 - 7%	1.40	2.80	3.90

TIPO TRANSPORTE	CARGA ÚTIL (Ton)	D.V. kmv	S/. X TM	S/. X TM	INDICE 32 dic-05	INDICE 32 may-14	REAJUSTE	SUB TOTAL
Normal	30	90.30	660.44	22.015	371.500	468.300	1.261	27.75

CALCULO DE FLETES A OBRA:

TRANSPORTE NORMAL

ORIGEN - DESTINO	FLETE A JULIACA	FLETE JULIACA - OBRA	FLETE XTM	FLETE X KG
AREQUIPA - OBRA	82.08	27.75	109.83	0.109

COTIZACIÓN DE MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UND	PESO (kg / u)	PROCEDENCIA	PRECIO S/.	COSTOS MACCAFERRI S/	OTROS S/
Geomalla biaxial MAC EGB 40S	m2	1.02	AREQUIPA	5.68	5.68	--

CALCULO DE COSTO DE MATERIAL:

Arequipa a Obra: (s/. /kg): 0.109

DESCRIPCIÓN	UND	PESO (kg / u)	ORIGEN	PRECIO BASE SIN I.G.V. (S/)	FLETE	ALM.MAN. 2.00%	VIÁTICOS MAT. PELIG. 30.00%	PRECIO S/
Geomalla biaxial MAC EGB 40S	m2	1.02	AREQUIPA	5.68	0.109	0.1136		5.90

Fuente: Elaboración propia.

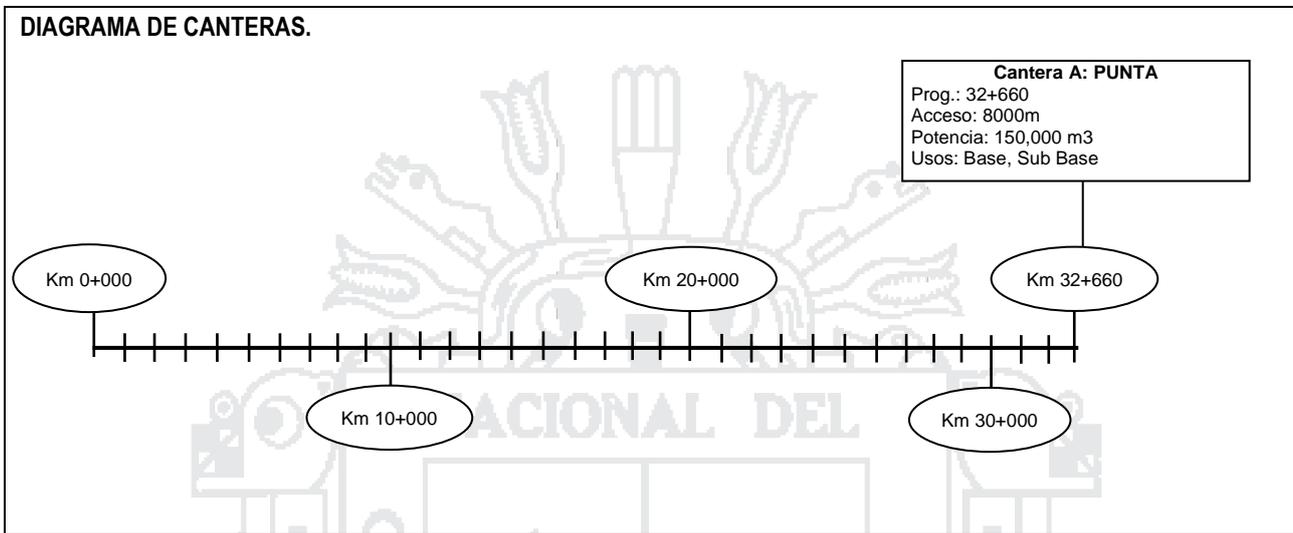
En la tabla VI.23, se muestra la hoja de metrados para el material de subbase granular de e=0.05m, además se muestra la los metrados de para transporte de material de subbase D<= 1.00 km y para el transporte de material subbase para D>1.00 km.

Se muestra que la distancia media de transporte (D.M.T) es la misma que para el metrado de subbase con e= 20.0 cm, lo que indica que el centro de gravedad es la misma por kilómetro, además de esto es necesario para poder hallar los momentos por kilómetro.

TABLA VI.23: Hoja de metrados de la subbase e=5cm

HOJA DE METRADOS
02.05.05 TRANSPORTE DE MATERIAL SUB BASE PARA D <= 1.00 KM
02.05.06 TRANSPORTE DE MATERIAL SUB BASE PARA D > 1.00 KM
SUB BASE (e = 0.05 m.)

CANTERAS : "A" La Punta	Prog 32+760 , , acceso= 8000.00 m	MEZCLA: la Punta (100%)
-------------------------	-----------------------------------	-------------------------



PROGRESIVA		LONG.	VOL. METRADO	VOL SUEL	CANTERA A	C.G.	CG - CANT. A	MOMENT. A	TOTAL	OBSERVACIONES
KM	KM	(m)	M3	M3	M3	KM	KM	M3 KM	M3 KM	
0+000	1+000	1,000.00	432.09	540.11	540.11	0+500	40.260	21,744.93	21,744.93	CANTERA A: LA PUNTA
1+000	2+000	1,000.00	438.52	548.15	548.15	1+500	39.260	21,520.37	21,520.37	CANTERA A: LA PUNTA
2+000	3+000	1,000.00	440.07	550.09	550.09	2+500	38.260	21,046.35	21,046.35	CANTERA A: LA PUNTA
3+000	4+000	1,000.00	455.69	569.61	569.61	3+500	37.260	21,223.76	21,223.76	CANTERA A: LA PUNTA
4+000	5+000	1,000.00	435.94	544.93	544.93	4+500	36.260	19,758.98	19,758.98	CANTERA A: LA PUNTA
5+000	6+000	1,000.00	437.23	546.54	546.54	5+500	35.260	19,270.91	19,270.91	CANTERA A: LA PUNTA
6+000	7+000	1,000.00	437.18	546.48	546.48	6+500	34.260	18,722.23	18,722.23	CANTERA A: LA PUNTA
7+000	8+000	1,000.00	439.89	549.86	549.86	7+500	33.260	18,288.43	18,288.43	CANTERA A: LA PUNTA
8+000	9+000	1,000.00	452.32	565.40	565.40	8+500	32.260	18,239.80	18,239.80	CANTERA A: LA PUNTA
9+000	10+000	1,000.00	435.55	544.44	544.44	9+500	31.260	17,019.12	17,019.12	CANTERA A: LA PUNTA
10+000	11+000	1,000.00	434.74	543.43	543.43	10+500	30.260	16,444.04	16,444.04	CANTERA A: LA PUNTA
11+000	12+000	1,000.00	438.10	547.63	547.63	11+500	29.260	16,023.51	16,023.51	CANTERA A: LA PUNTA
12+000	13+000	1,000.00	440.76	550.95	550.95	12+500	28.260	15,569.85	15,569.85	CANTERA A: LA PUNTA
13+000	14+000	1,000.00	435.23	544.04	544.04	13+500	27.260	14,830.46	14,830.46	CANTERA A: LA PUNTA
14+000	15+000	1,000.00	433.38	541.73	541.73	14+500	26.260	14,225.70	14,225.70	CANTERA A: LA PUNTA
15+000	16+000	1,000.00	447.15	558.94	558.94	15+500	25.260	14,118.76	14,118.76	CANTERA A: LA PUNTA
16+000	17+000	1,000.00	442.14	552.68	552.68	16+500	24.260	13,407.90	13,407.90	CANTERA A: LA PUNTA
17+000	18+000	1,000.00	439.06	548.83	548.83	17+500	23.260	12,765.67	12,765.67	CANTERA A: LA PUNTA
18+000	19+000	1,000.00	435.31	544.14	544.14	18+500	22.260	12,112.50	12,112.50	CANTERA A: LA PUNTA
19+000	20+000	1,000.00	437.59	546.99	546.99	19+500	21.260	11,628.95	11,628.95	CANTERA A: LA PUNTA
20+000	21+000	1,000.00	431.86	539.83	539.83	20+500	20.260	10,936.85	10,936.85	CANTERA A: LA PUNTA
21+000	22+000	1,000.00	441.82	552.28	552.28	21+500	19.260	10,636.82	10,636.82	CANTERA A: LA PUNTA
22+000	23+000	1,000.00	466.87	583.59	583.59	22+500	18.260	10,656.31	10,656.31	CANTERA A: LA PUNTA
23+000	24+000	1,000.00	456.86	571.08	571.08	23+500	17.260	9,856.75	9,856.75	CANTERA A: LA PUNTA
24+000	25+000	1,000.00	452.11	565.14	565.14	24+500	16.260	9,189.14	9,189.14	CANTERA A: LA PUNTA
25+000	26+000	1,000.00	446.21	557.76	557.76	25+500	15.260	8,511.46	8,511.46	CANTERA A: LA PUNTA
26+000	27+000	1,000.00	439.01	548.76	548.76	26+500	14.260	7,825.35	7,825.35	CANTERA A: LA PUNTA
27+000	28+000	1,000.00	441.30	551.63	551.63	27+500	13.260	7,314.55	7,314.55	CANTERA A: LA PUNTA
28+000	29+000	1,000.00	448.29	560.36	560.36	28+500	12.260	6,870.04	6,870.04	CANTERA A: LA PUNTA
29+000	30+000	1,000.00	432.71	540.89	540.89	29+500	11.260	6,090.39	6,090.39	CANTERA A: LA PUNTA
30+000	31+000	1,000.00	433.39	541.74	541.74	30+500	10.260	5,558.23	5,558.23	CANTERA A: LA PUNTA
31+000	32+000	1,000.00	436.55	545.69	545.69	31+500	9.260	5,053.07	5,053.07	CANTERA A: LA PUNTA
32+000	32+760	760.00	325.22	406.53	406.53	32+380	8.380	3,406.71	3,406.71	CANTERA A: LA PUNTA
32+760	33+660	900.00	390.50	488.13	488.13	33+210	8.450	4,124.66	4,124.66	CANTERA A: LA PUNTA
		33,660.00	14,830.64	18,538.30	18,538.30				443,992.54	

RESUMEN			
Partida	02.05.05	D<= 1 Km.	18,538.30
Partida	02.05.06	D> 1 Km.	425,454.24
		D.M.T. (Km) =	23.95

Fuente: Elaboración propia

Ahora analizaremos el costo de transporte del material subbase granular para $e=0.05m$.(ver tabla VI.24.)

TABLA VI.24: Costo de transporte de subbase ($e=0.05m$) para distancias $\leq 1km$ y para distancias $> 1km$. de acuerdo a la influencia de la geomalla biaxial.

TRANSPORTE	METRADO DE MATERIAL (m3k)	COSTO DE MATERIAL (s/. /m3)	COSTO DE TOTAL POR CAPA (s/)
D \leq 1KM	18,538.30	3.78	70,074.78
D $>$ 1KM	425,454.24	0.66	280,799.79
		TOTAL	S/. 350,874.57

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la tabla VI.24 se hace de acuerdo hoja de metrados (tabla VI.23); pero se mantiene el costo unitario del material, (ver análisis de estos precios ver la tabla VI.17 y tabla VI.18).

Si retomamos el análisis de material de cantera, notamos ahora que para la conformación de la capa subbase necesitaremos $14,830.64 m^3$ (sin esponjamiento) y con esponjamiento ($14,830.64 m^3 \times 1.25$) $18,538.30 m^3$, lo cual implicaría el volumen explotado de la cantera. Esta explotación de cantera tendría un costo de ($18,538.30 m^3 \times 0.6$ soles por m^3) $11,122.98$ soles .El costo obtenido por la cantera ya esta incluido en el costo de la “subbase granular”; pero hacemos un análisis para ver en cuanto es el ahorro (ver tabla VI.25.) y observar que se reduce el impacto ambiental en un 75.7 %.

TABLA VI.25: Reducción del impacto ambiental.

	explotación de cantera cuando la subbase es de $e=0.20m$	explotación de cantera cuando la subbase es de $e=0.05m$	Ahorro
Material esponjado (m^3)	76,194.98	18,538.30	$57,656.68 m^3$ (75.7 %)
Costo= s/ 0.6	45,716.98	11,122.98	s/ 34,594.00 (75.7 %)

Fuente: Elaboración propia.

VI.5.2 Análisis de tiempo de ejecución de la subbase granular tradicional ($e=20.0cm$) y subbase aplicado con geomalla biaxial ($e=5.0cm$).

En la tabla VI.26, se muestra un cuadro resumen del análisis del tiempo de ejecución respecto a cada partida y respecto al proyecto, en este último el tiempo reducido es de 30 días (5.5%). Este resultado, se debe a que solo la base y subbase es influyente y por ende afecta a la ruta crítica.

TABLA VI.26: Resumen del análisis de tiempo de ejecución tradicional y ejecución con geomalla biaxial.

		Metrado "Sin el geomalla biaxial". (tradicional)		Metrado "Con el uso geomalla biaxial".		Ahorro parcial (por partida)	Ahorro total (proyecto)		
BASE - SUBBASE	¿Influye en la ruta crítica? (SI)	SUBBASE	Volumen (m3)	60, 955.98	Tiempo influyente en la ruta crítica 120 días	14,830.64	Tiempo influyente en la ruta crítica 90 días	46,125.34 m ³ (75.66 %)	30 días (5.55%)
			Tiempo (días)	120		30		90 días (75 %)	
		BASE	Volumen (m3)	42943.40	42943.40	0.0 m ³ (0.0 %)			
			Tiempo (días)	90	90	0.0 días (0.0 %)			
TRANSPORTE	¿Influye en la ruta crítica? (no)	SUBBASE	D<= 1KM (m3k)	76,194.98	--	18,538.30	---	57,656.68 m3k (75.66 %)	---
			Tiempo (días)	90		22		68 días (75.6 %)	
			D> 1KM (m3k)	1,747,962.30		425,454.24		1,322,508.06 m3k (75.66%)	
			Tiempo (días)	80		20		60 días (75 %)	
		BASE.	No influye en el análisis.	No influye en el análisis.	No influye en el análisis.	No influye en el análisis			

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo de la anterior tabla, el tiempo reducido es producto de la base-subbase, por ese motivo analizaremos solo es parida mediante la barra de tiempos (ver, tabla.VI.27), en donde encontraremos que la subbase y base es influido por el tiempo de la subbase granular (120 días); ahora, cuando hace influencia la geomalla biaxial, el tiempo que influirá es de la base granular (90 días), lo será este nuevo tiempo para la ruta crítica. Con este resultado se hace un ahorro de tiempo de 30 días (5.5%) respecto al proyecto.

TABLA VI.27: Resumen del análisis de ahorro de tiempo mediante de barra de tiempos.

		ANÁLISIS DE PARTIDA INFLUYENTE	TIEMPO DE EJECUCIÓN	BARRA DE TIEMPOS	
¿INFLUENCIA DE LA GEOMALLA BIAxIAL?	NO	SUB BASE Y BASE	120 días	120 días	
		Sub base granular	120 días	120 días	
		Base granular	90 días	90 días	
	SI	SUB BASE Y BASE	90 días	90 días	
		Sub base granular	30 días	30 días	
		Base granular	90 días	90 días	
		Ahorro en días (diferencia de barras de color verde): 120 - 90 = 30 días		30 días	
		Ahorro (%)		5.55 %	

Fuente: Elaboración propia.

VI.5.2.1 Tiempo de ejecución de la subbase (e=20.0cm) sin influencia de la geomalla biaxial.

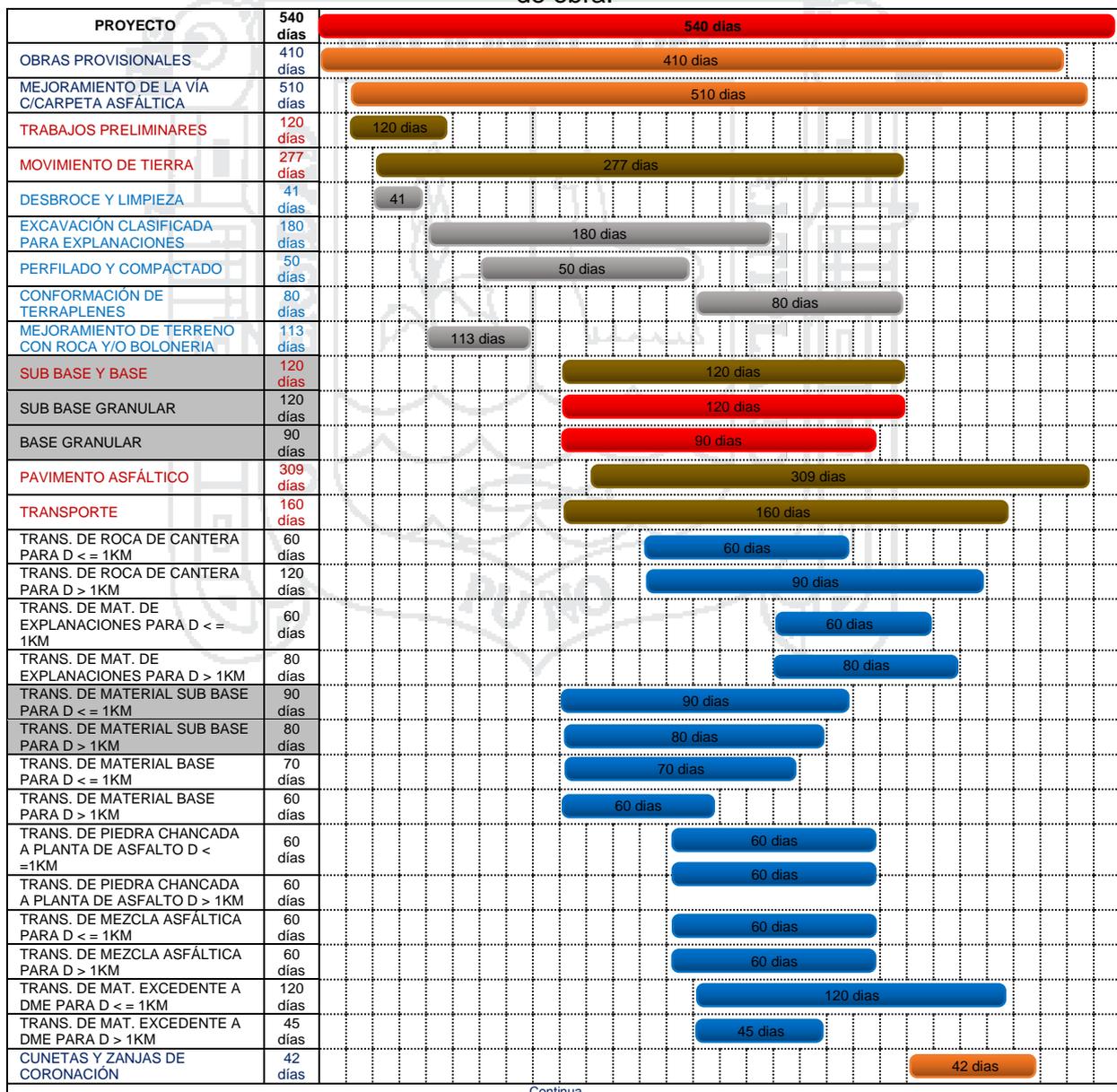
El tiempo que es necesario para ejecución de cada partida se extrae de la tabla VI.29, con estos datos se hace cuadro resumen del tiempo de ejecución de cada partida (ver tabla.28):

TABLA VI.28: Tiempo de ejecución de cada partida.

CAPA SUBBASE	COMPACTACIÓN DE LA SUBBASE		TRANSPORTE DE LA MATERIAL SUBBASE			
	Volumen (m3)	Tiempo (días)	D<= 1KM (m3k)	Tiempo (días)	D> 1KM (m3k)	Tiempo (días)
	60, 955.98	120	76,194.98	90	1,747,962.30	80

Fuente: Elaboración propia.

TABLA VI.29: Tiempo influyente de la subbase (e=0.20m) y transporte en el cronograma de obra.



Continúa ...

Fuente: Extracción del cronograma de obra de la carretera DV. Huancané – Chupa.

En la tabla VI.29, se muestra un extracto fundamental del cronograma de los tiempos para el análisis de cada partida, además de ello se muestra el tiempo de ejecución del proyecto, para ver más a detalle estos tiempos y ver la ruta crítica ver el anexo 06.

Y con todo esto la obra se realiza en 540 días calendarios., como podemos ver en el anexo 06, uno de los componentes de la ruta crítica es la subbase granular, y el transporte no influye en la ruta crítica.

VI.5.2.2 Tiempo de ejecución de la subbase (e= 5.0cm) con aplicación con geomalla biaxial.

El tiempo que es necesario para ejecución de cada partida se extrae de la tabla VI.31, con estos datos se hace cuadro resumen del tiempo de ejecución de cada partida (ver tabla.30):

TABLA VI.30: Tiempo de ejecución de cada partida con influencia de la geomalla.

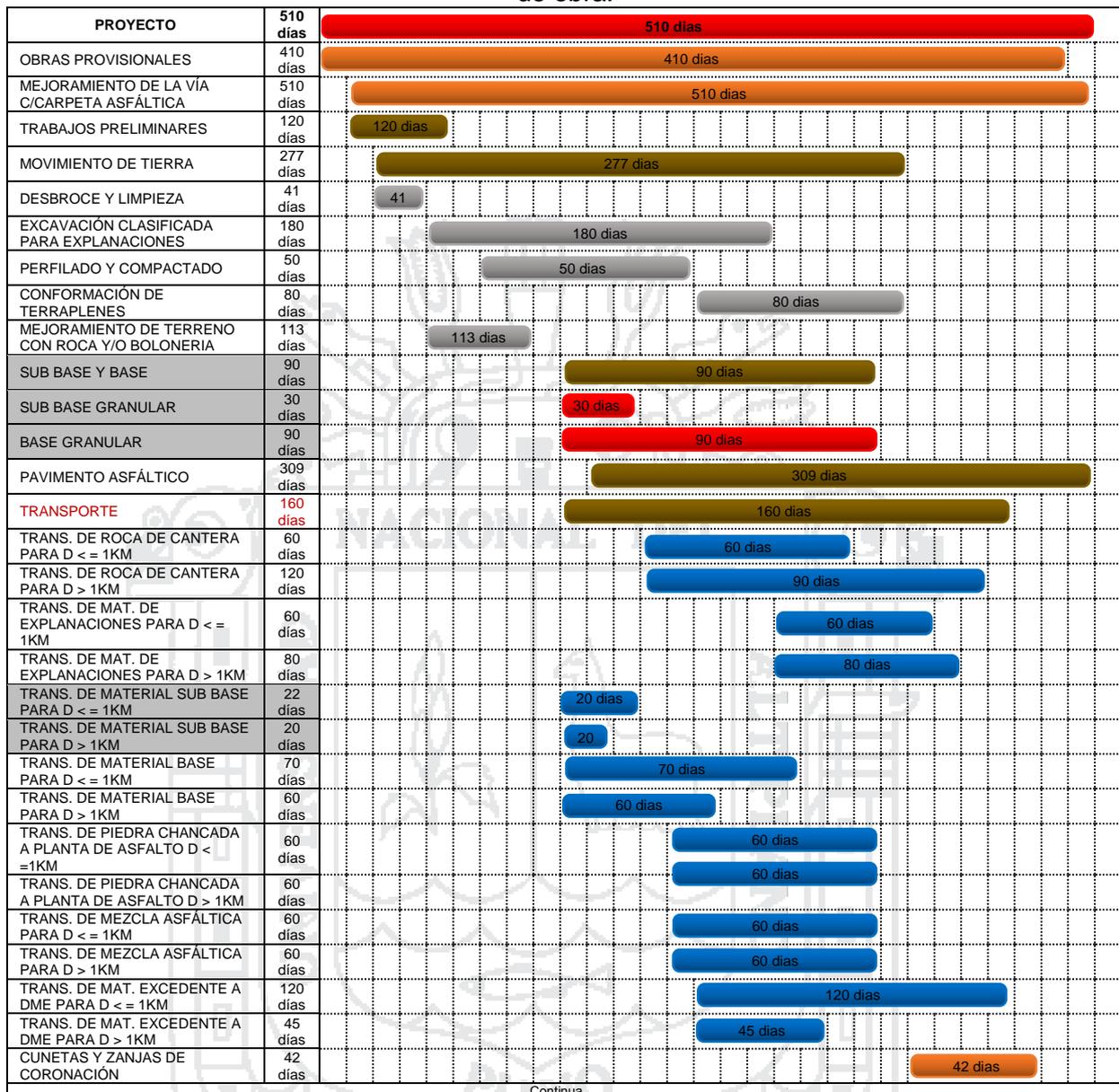
CAPA SUBBASE	COMPACTACIÓN		TRANSPORTE			
	Volumen (m3)	Tiempo (días)	D<= 1KM	Tiempo (días)	D> 1KM	Tiempo (días)
			18,538.30	22	425,454.24	20
	14,830.64	30				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla VI.31, se muestra un extracto del cronograma de los tiempos para el análisis de cada partida, además de ello se muestra el tiempo resumido de ejecución del proyecto.

El punto de análisis viene ser la ruta crítica, en nuestro caso está la subbase granular; pero como observamos en la tabla VI.31, también influye la base en esta ruta crítica, entonces la nueva ruta crítica viene ser este, el cual vendría a ser 90 días. Y con todo esto el proyecto se realiza en 510 días.

TABLA VI.31: Tiempo influyente de la subbase (e=0.05m) y transporte en el cronograma de obra.



Continua ...

Fuente: Elaboración propia.

VI.6 ANÁLISIS DEL EFECTO QUE GENERA LA GEOMALLA BIAIXIAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN GENERAL.

Se debe tener en cuenta que todos los análisis que general la geomalla biaxial son respecto al costo directo del proyecto.

A. MENOR IMPACTO AMBIENTAL.

A.1. Menor explotación de canteras.

Uno de los puntos de análisis es la subpartida de “extracción de cantera y apilamiento de material para subbase” (tabla VI.15), donde se muestra

claramente el costo por m³ es de 5.83 soles, dentro ellos se encuentra el costo de material de cantera que va ser explotada (con un costo de 0.6 soles por m³). Muy particular sobre este punto (material de cantera) cuando aun no aplica la geomalla biaxial, notamos que para la conformación de la capa subbase necesitaremos 60,955.98 m³ (sin esponjamiento) y con esponjamiento (60,955.98 m³ x 1.25) =76,194.98 m³, lo cual implicaría el volumen explotado de la cantera. Esta explotación de cantera tendría un costo de (76,194.98 m³ x 0.6 soles por m³) 45,716.98 soles

Si ahora analizamos el material de cantera cuando influye la geomalla biaxial, notamos ahora que para la conformación de la capa subbase necesitaremos 14,830.64 m³ (sin esponjamiento) y con esponjamiento (14,830.64 m³ x 1.25) 18,538.30 m³, lo cual implicaría el volumen explotado de la cantera. Esta explotación de cantera tendría un costo de (18,538.30 m³ x 0.6 soles por m³) 11,122.98 soles .El costo obtenido por cantera ya esta incluido en el costo de la “subbase granular”; pero se hace un análisis para ver en cuanto es el ahorro (ver tabla VI.32.) y observar que se reduce el impacto ambiental en un 75 %.

TABLA VI.32: Reducción de explotación de canteras.

	explotación de cantera cuando la subbase es de e=0.20m	explotación de cantera cuando la subbase es de e=0.05m	Ahorro
Material esponjado (m³)	76,194.98	18,538.30	57,656.68 m ³ (75.7 %)
Costo= s/ 0.6	45,716.98	11,122.98	s/ 34,594.00 (75.7 %)

Fuente: Elaboración propia.

A.2. Menor consumo de agua para la subbase.

Cuando se hace la conformación de la capa subbase granular sin aplicación de geomallas biaxiales el uso de de material es el 100% y el uso del agua también es el 100%. Pero al aplicar la geomalla biaxial el material de construcción de la capa subbase granular se reduce a un 24.3%, es decir hay un ahorro de 75.7%, de igual manera el consumo de agua se reduce a un 24.3% para la conformación de capa subbase granular ahorrando un 75.7%.

B. GENERA EL USO DE MANO DE OBRA NO CALIFICADA.

Para la aplicación de la geomalla biaxial puede hacer cualquier personal obrero de la zona, asi generando indirectamente mas empleo para los pobladores de la zona.

VI.7 EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS GEOMALLAS A LO LARGO DEL TIEMPO ATREVES DE EXPERIENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN.

EMPRESA	EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DE GEOMALLAS.
<p>Revista especializada de PERUVIAS. especialistas del sector, en el Perú.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El Ing. Romel King Bazán, especialista de Maccaferri, precisa que actualmente las carreteras del país están expuestas a problemas y fallas funcionales y estructurales, generadas por esfuerzos de tensión; lo cual genera que nuestro pavimento se deteriore muy pronto, por lo que el uso de geomallas es de vital importancia • el Ing. Nelson Gonçalves, ingeniero proyectista de Quinimar, también comenta que el uso de geomallas de refuerzo aumentan la durabilidad de las carreteras, retrasando la aparición de fisuración reflexiva, de antiguos pavimentos asfálticos y también retrasa la aparición de roderas en la vía. menciona que el costo de la implementación de geomallas es diminuto y las ventajas en termos de control de fisuración y aumento de la vida útil de la carretera son muy significativas. • la Ing. Gabriela Monje Roldán, especialista de Cidelsa, comenta que para garantizar la seguridad de una vía, no solo basta en utilizar adecuadamente las geomallas, sino también integrar un sistema que permita tener óptimos resultados
<p><u>Geosoluciones ANDEX</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los Geosintéticos son químicamente inertes por lo cual sufren un deterioro muy pequeño debido a la acción química y biológica. Esto combinado con que pueden llegar a tener altas resistencias a la tensión y a la degradación por los rayos ultra violeta hace que los geosintéticos posean tiempo de vida útil de hasta más de 30 años.
<p>SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CARRETERAS SPECTRA</p> <p>“Geomallas de Tensar”</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema Spectra con geomalla de Tensar está avalado por años de investigación en laboratorio, pruebas a escala real y experiencia práctica en el área. Los ingenieros, contratistas y propietarios una estructura de pavimento cuya vida útil menciona que con el uso de geomallas se puede llegar a extenderse hasta un 500% de vida útil. Esto implica un menor mantenimiento e intervalos de rehabilitación más largos, con lo cual disminuyen los costos de ciclo de vida con respecto a los sistemas convencionales • El aumento de vehículos provocará ahuellamiento y fatiga del asfalto, que finalmente producirá grietas en la superficie del pavimento. El sistema Spectra con la geomalla TriAx ha demostrado a partir de la implementación de secciones de prueba reforzadas con geomalla a escala real, que la geomalla TriAx de Tensar no sólo aumenta la rigidez de la capa de agregado, sino que también esa mayor rigidez se mantiene a lo largo de toda la duración prevista de la estructura de pavimento. • la geomalla TriAx de Tensar, evita los costos de componentes del pavimento, en costos de los intervalos habituales de mantenimiento (por ejemplo, sellado de fisuras, relleno de grietas) y de rehabilitación (sobre carpeta de asfalto). • En la evaluación realizada por el sistema Spectra con geomalla TriAx de Tensar de una vía, hace mención que primero implica un costo inicial 12% más alto para el propietario en el momento de la colocación, y durante el ciclo de vida de la estructura se ahorra 37% en comparación con una sección de pavimento no reforzada.

Fuente: elaboración propia.

VI.8 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

La aplicación de geomalla ha demostrado con el ensayo realizado en laboratorio (CBR con geomallas biaxiales), una resistencia en el suelo para poder soportar cargas; y poder reducir espesor de subbase. Esta optimización lograda hace que exista soluciones a los problemas de acarreo de material desde canteras lejanas y a la vez al reducir el espesor de la subbase existe menor explotación de cantera y menor consumo de agua, por ende es una forma de preservar el medio ambiente.

Entonces con escrito con el párrafo anterior se puede contrastar lo siguiente:

- Con el estudio y base de la teoría realizada sobre los geosintéticos, se clasifica y se opta el uso de las geomallas biaxiales MacGrid EGB 40, puesto que este geosintético tiene propiedades físico-mecánicas ideales para mejorar la función estructural de la subbase. Así fue demostrado con los ensayos de CBR a una altura de 2.5cm un CBR promedio = 71.47% y una altura de 10cm un CBR promedio = 114.87% (ver la tabla VI.5), por ende tenemos una capa granular de mejor calidad y funcionalidad.
- Al realizar el análisis de cálculo de espesor de pavimento con aplicación de geomalla biaxial, la reducción obtenida en la capa subbase granular es de un 75%, es decir tiene un espesor de 5.0cm; pero en capa base no reduce en lo absoluto, por que esta tiene un espesor ya mínimo establecido (15cm) el cual la teoría nos indica que no deber ser menor de lo mencionado. Así mismo el uso de la geomalla biaxial da como resultado la optimización de costo (en 22.15% = 672,245.93 soles) y respecto al tiempo de aplicación, en la subbase el tiempo de aplicación es 30 días (ver tabla V.26.) lo que genera una optimización de tiempo (5.5% = 30 días) respecto a la programación de obra.
- En cuanto a la evaluación es positiva, pues lo que causa en general el uso de las geomallas en la construcción del pavimento (subbase) es un menor impacto ambiental (menor explotación de canteras y menor consumo de agua para la conformación de la subbase granular, (ahorro en 75 % aprox) ver tabla IV.32, así mismo genera el uso de mano no calificada (trabajando el personal propio de la zona.). Respecto a la evaluación a lo largo del tiempo, se hace a través de experiencias de ingenieros, mencionando que las geomallas pueden durar más de 30 años en vías (una vía se diseña generalmente para 20 años)., otro ingeniero menciona que se puede ahorrar a lo largo del tiempo en mantenimiento un 37% de costo.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA	CONDICIÓN DE PRUEBA	Rpta	FUNDAMENTO	TOMA DE DECISION
Los estudios y ensayos de laboratorio muestran la clasificación, aplicación y propiedades físicas-mecánicas de los diferentes geosintéticos para construcción de la base y subbase de una carretera.	¿Los estudios realizados en la base a la teoría muestran de manera clara las propiedades, aplicación, clasificación?	Si	Con el estudio y base de la teoría realizada sobre los geosintéticos, se clasifica y se opta el uso de las geomallas biaxiales MacGrid EGB 40 de polipropileno, ya que su aplicación es para mejorar el Confinamiento lateral de la base o subbase, mejorar el mecanismo de interacción suelo – refuerzo, <u>mejoramiento de la capacidad portante.</u>	Se acepta la hipótesis
	¿Los ensayos realizados en laboratorio muestran las propiedades físicas-mecánicas?	Si	Así fue demostrado con los ensayos de CBR a una altura de 2.5cm un CBR promedio = 71.47% y una altura de 10cm un CBR promedio = 114.87% (ver la tabla VI.5), por ende tenemos una capa granular de mejor calidad y funcionalidad.	Se acepta la hipótesis
La construcción con el uso de geosintéticos de la base y subbase en carreteras demuestra la optimización en el costo y el tiempo de aplicación, que las alternativas de construcción tradicionales.	¿El geosintético aplicado en la construcción de la base y/o subbase optimiza el costo respecto a su costo inicial?	Si	Al realizar el análisis de caculo de espesor de pavimento con aplicación de geomalla biaxial, en la subbase se optimiza un 75%, es decir tiene un espesor de 5.0cm de 20cm; pero en la capa base no reduce en lo absoluto. Así mismo el uso de la geomalla biaxial da como resultado la optimización de costo (en 22.15% = 672.245.93 soles), ver tabla VI.8	Se acepta la hipótesis
	¿El tiempo de aplicación del geosintético en la construcción de la base y/o subbase optimiza el tiempo de construcción (base y subbase) programado en obra?	Si	Respecto al tiempo de aplicación, en la subbase el tiempo de aplicación es 30 días, lo que genera un tiempo de transporte material de subbase $D \leq 1\text{KM}$ (m3k) igual a 22 días y tiempo de transporte $D > 1\text{KM}$ (m3k) igual a 20 días (ver tabla V.26.) generando una optimización de tiempo (5.5% = 30 días) respecto a la programación en obra.	Se acepta la hipótesis
La Evaluación muestra resultados positivos con el uso de los geosintéticos en la base y subbase, a lo largo del tiempo, teniendo respuestas bastante favorables en la construcción de carreteras.	¿En la evaluación realizada, al usar los geosintéticos en base y/o subbase muestran resultados positivos?	Si	La evaluación es positiva, pues lo que causa el uso de las geomallas en la construcción del pavimento (subbase) es un menor impacto ambiental (menor explotación de canteras y menor consumo de agua para la conformación de la subbase granular, (ahorro en 75 % aprox) ver tabla IV.32, así mismo genera el uso de mano no calificada (trabajando el personal propio de la zona.)	Se acepta la hipótesis
	¿Las respuestas obtenidas en el tiempo al usar el geosintético en base y/o subbase son favorables en la construcción de carreteras?	Si	Respecto a la evaluación a lo largo del tiempo, se hace a través de experiencias de ingenieros mencionando, que las geomallas pueden durar más de 30 años en vías (una vía se diseña generalmente para 20 años), otro ingeniero menciona que se puede ahorrar a lo largo del tiempo en mantenimiento un 37% de costo. Pues estas geomallas evitan las fallas en el pavimento, reduciendo el mantenimiento de vías a lo largo del tiempo. Por ejemplo, sellado de fisuras,	Se acepta la hipótesis

CAPITULO VII.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII.1 CONCLUSIONES:

- Teniendo en cuenta que se debe hacer una máxima reducción de espesores de capas de pavimentos sobre un terreno de subrasante de CBR del 10%. La teoría estudiada sobre los geosintéticos (clasificación y aplicación) hace que optemos por el uso de la geomalla biaxial MacGrid EGB 40 (material de polipropileno), puesto que este geosintético tiene propiedades físico-mecánicas ideales para mejorar la función estructural de la subbase (trabajan en dos direcciones). Así lo demuestra los ensayos de CBR, a una altura de 2.5cm un CBR promedio = 71.47% y una altura de 10cm un CBR promedio = 114.87%, logrando así una capa de subbase de mejor calidad y funcionalidad estructuralmente.
- La capa base granular no se reduce en lo absoluto ($e = 15\text{cm}$) debido a su función estructural, es decir el no intervienen, no genera variación alguna la optimización (en costo y tiempo). Pero en la capa subbase granular, se realizó los cálculos con aplicación de geomalla biaxial MacGrid EGB 40, y por ello existe una reducción de espesor de 20cm a 5cm (ahorrando un 75% en material granular de subbase) lo que conlleva a la optimización de costo en 22.15% (ahorro de 672,245.93 soles) respecto al costo inicial y respecto al tiempo de aplicación, en la subbase el tiempo de aplicación es 30 días, lo que genera un tiempo de transporte material de subbase $D \leq 1\text{KM}$ (m^3k) igual a 22 días y tiempo de transporte $D > 1\text{KM}$ (m^3k) igual a 20 días, generando una optimización de tiempo (5.5% = 30 días) respecto a la programación en obra.

- La evaluación es positiva, pues lo que causa el uso de las geomallas en la construcción del pavimento (subbase) nos muestra un menor impacto ambiental, es decir, menor explotación de canteras (ahorro 75.7%), es decir un ahorro de 57,656.68 m³ de material subbase, equivalente a un ahorro de 34,594.00 soles y menor consumo de agua para la conformación de la subbase granular (ahorro de 75.7 %, equivalente a la conformación de la capa subbase), así mismo genera el uso de mano no calificada (trabajando el personal propio de la zona). Respecto a la evaluación a lo largo del tiempo, se hace a través de experiencias de ingenieros, mencionando que las geomallas pueden durar más de 30 años en vías (una vía se diseña generalmente para 20 años)., otro ingeniero menciona que se puede ahorrar a lo largo del tiempo en mantenimiento un 37% de costo.

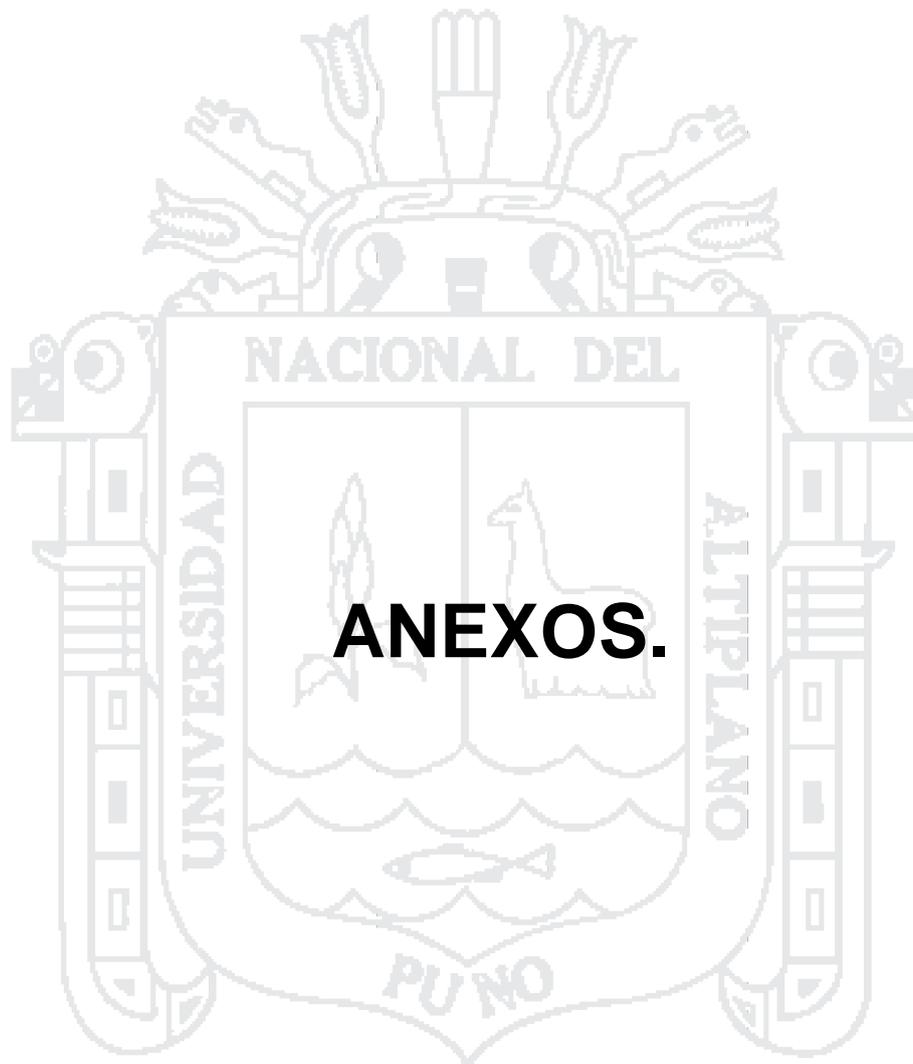
VII.2 RECOMENDACIONES:

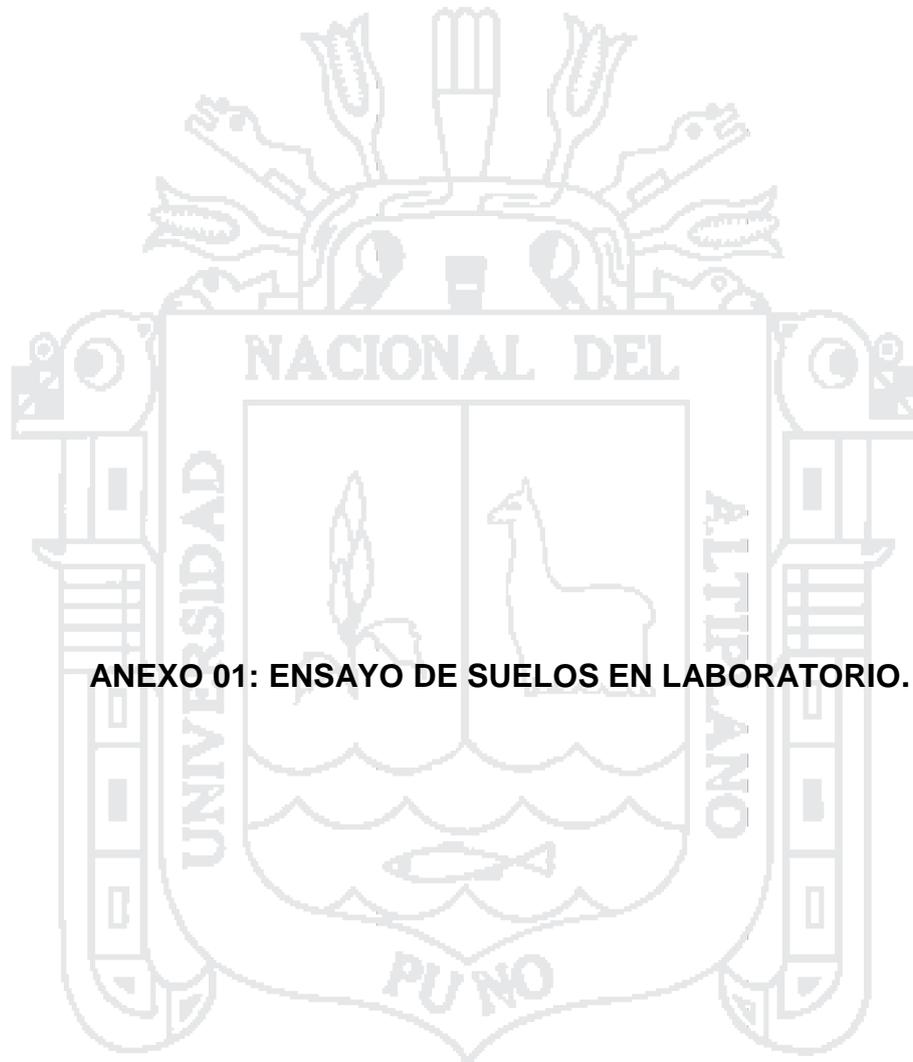
- Al utilizar geomallas biaxiales en pavimentos, se debe hacer un estudio adecuado en el diseño estructural, ya que debemos tener en cuenta que no debemos reducir la base granular en menos de 15cm, debido a la funcionalidad de esta capa. Es muy importante tomar la decisión que capas se reducirán.
- Tenemos que tener muy en cuenta el estudio del drenaje para los pavimentos que están en constante contacto con el agua, ya que si esta en contacto por mucho tiempo, es una incidencia a fallar el pavimento.
- Nuestro país aún no cuenta con una normativa en geomallas, pues existen estudios sobre el tema, que no es necesariamente factible para la zona, entonces se recomienda que el tema siga en estudio con otro tipo de suelos.
- Realizar más estudios para poder reducir pavimentos con otros tipos de geosintéticos, puesto que estos materiales son de muy buena utilidad para poder reducir el impacto ambiental (explotación de canteras), ya que además estos materiales son económicos.

BIBLIOGRAFÍA.

- BORJA SUÁREZ, M. (2012). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIEROS*. Chiclayo.
- CABALLEROS TORRES, E. A. (Octubre 2006). *UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - FACULTAD DE INGENIERÍA, Guatemala.
- CHACON JIMBO, J. T. (Septiembre 2012). *USO DE GEOMATERIALES PARA REFORZAMIENTO*. UNIVERSIDAD DE CUENCA - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, Cuenca.
- DÍAZ GONZÁLEZ, J. F., ESCOBAR VELÁSQUEZ, O. E., & OLIVO MARTÍNEZ, E. J. (Octubre 2009). *APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS Y EN OBRAS DE DRENAJE PARA CARRETERAS*. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL, San Salvador.
- EGOAVIL PEREA, H. (Septiembre 2012). *REFUERZO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES CON GEOSINTÉTICOS*. MECÁNICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA , Madrid.
- FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES. (Julio 2010). *DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, Buenos Aires.
- GARNICA ANGUAS, P., GÓMEZ LÓPEZ, J. A., & SESMA MARTÍNEZ, J. A. (2002). *MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS*. Sanfandila: Instituto Mexicano Del Transporte.
- GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM. (Junio 2009). *MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS*. Bogotá D.C. - Colombia: Publicaciones ZETTA COMUNICADORES S.A.
- GUTIÉRREZ LÁZARES, J. W. (2007). *MODELACIÓN GEOTÉCNICA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON FINES DE ANÁLISIS Y DISEÑO EN EL PERÚ*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL - SECCIÓN DE POST-GRADO, Lima.
- LIZÁRRAGA LÓPEZ, J. M. (Octubre 2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES APLICANDO GEOMALLAS DE POLIPROPILENO COMO SISTEMA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO - PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA - INGENIERIA CIVIL Y CONSTRUCCIÓN, Mexico.
- M.Sc. Ing. MENENDEZ ACURIO, J. R. (Diciembre 2009). *INGENIERIA DE PAVIMENTOS Materiales, Diseño y Construccin*. Lima, Peru: Publicaciones ICG.
- MACCAFERRI. (2012). *REFERENCE MANUAL - MACREAD 2.0 AASHTO*. E.E.U.U.: Maccaferri.
- MACCAFERRI. (2014). *MANUAL TECNICO - REFUERZO DE SUELO*. Brasilia: Maccaferri.

- MENENDEZ ACURIO, J. R. (Diciembre 2009). *INGENIERA DE PAVIMENTOS - Materiales, Diseño y Conservación*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS - Especificaciones Técnica Para Construcción (EG-2013)*. Lima: Publicaciones MEGABYTE.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2014). *MANUAL DE CARRETERAS Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: Publicaciones MEGABYTE.
- MONTEJO FONSECA, A. (2002). *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS*. Bogotá: Stella Valbuena de Fierro.
- NAVARRETE SARAVIA, P. E. (Agosto 2008). *VARIABLES DE ENTRADA AL PROCESO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS UTILIZANDO METODOS MECANICISTAS*. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL, San Salvador.
- ORREGO CABANILLAS, D. A. (Junio 2014). *ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL USO DE GEOMALLAS COMO REFUERZO DE BASES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ - FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA, Lima.
- ROBLES VIVES, D. (2016). *APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS*. *REVISTA ESPECIALIZADA DE PERUVIAS*, 4.
- S. MINAYA & A. ORDOÑEZ. (2005). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SUSPERSION DE PROYECTOS EN PAVIMENTOS ASFALTICOS*. Lima: Publicaciones CENCA propen.
- SALAMANCA NIÑO, MARÍA ANGÉLICA ; ZULUAGA BAUTISTA, SANTIAGO ARTURO;. (2014). *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DE LOS MÉTODOS INVIAS, AASHTO 93 E INSTITUTO DEL ASFALTO PARA LA VÍA LA YE - SANTA LUCIA BARRANCA LEBRIJA ENTRE LOS ABSCISAS K19+250 A K25+750 UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA - FACULTAD DE INGENIERÍA PAVIMENTOS, BOGOTÁ .
- TENSAR, E. (2009). *SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CARRETERAS. GEOMALLAS DE TENSAR*, 20.





ANEXO 01: ENSAYO DE SUELOS EN LABORATORIO.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY : OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GOESINTETICOS.

SECTOR : TESISTA: ANSELMO NUÑEZ CONDORI

MATERIAL: MATERIAL DE SUB BASE. ENSAYO N°: Muestra I

CANTERA : MATERIAL PROPIO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+000 EN 35%. FECHA: enero del 2016

ENSAYO ABRACION DE LOS ANGELES		
<small>(NORMA : ASTM C-131 ; MTC E-207)</small>		
MUESTRA N°	1	2
GRADACION	"A"	"A"
PESO DE MUESTRA (gr)	5000	5000
1. 1/2" - 1"	1250	1250
1" - 3"	1250	1250
3/4" - 1/2"	1250	1250
1/2" - 3/8"	1250	1250
3/8" - 1/4"	-	-
1/4" - N° 4	-	-
N°4 - N°8	-	-
RETENIDO N° 12	3480	3521
PASANTE N° 12	1520	1479
% DESGASTE	30.4	29.58
PERDIDA AL DESGASTE PROMEDIO (%)	29.99	

PORCENTAJE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO EN LOS AGREGADOS							
<small>MTC E -221</small>							
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E	OBSERVACIONES
PASA POR TAMIZ	RETENIDO POR TAMIZ	(g)	(g)	(B/A)*100	%	CxD	
2"	1 1/2"	0.0	0.0				
1 1/2"	1"	800.0	0.0				
1"	3/4"	920.0	98.0	10.7	20.7	220.2	
3/4"	1/2"	875.0	210.0	24.0	19.7	471.8	
1/2"	3/8"	845.0	340.0	40.2	19.0	764.1	
3/8"	1/4"	1010.0	204.0	20.2	22.7	458.5	
TOTAL :		4450.0			100.0	1914.6	
% DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS				TOTAL : 19.15 %			



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



LIMITES DE CONSISTENCIA

(NORMA.: AASHTO T-89, T-90; ASTM D 4318; MTC E-110, E-111)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS.		
SECTOR :		TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
MATERIAL :	MATERIAL DE SUB BASE.	ENSAYO N° :	Muestra I
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%.	FECHA :	19 de enero de 2016

DATOS DE LA MUESTRA I

PROGRESIVA :	
MUESTRA :	MATERIAL DE SUB BASE.

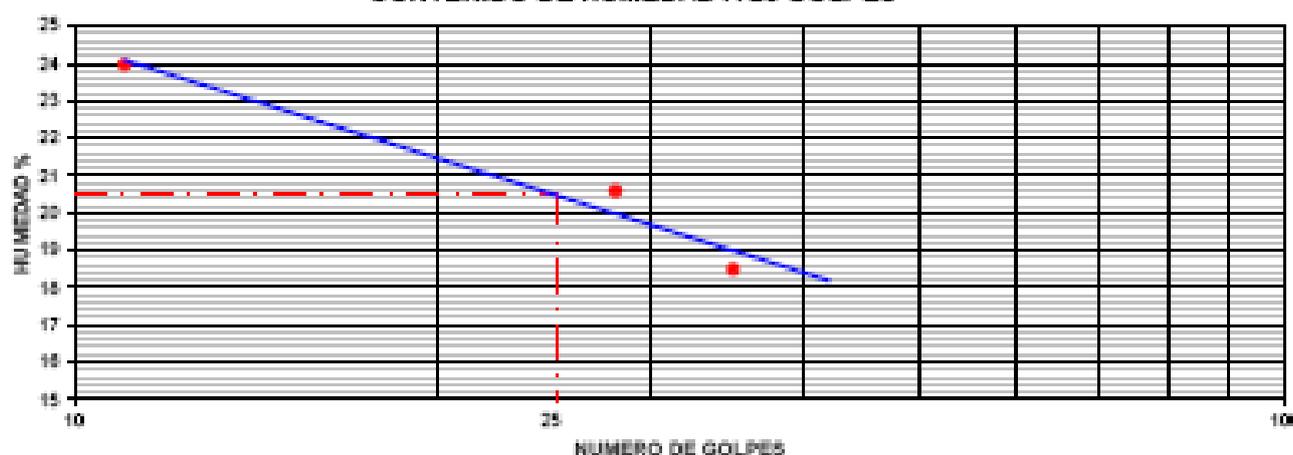
LIMITE LIQUIDO

N° TARRO		TA-11	TA-15	RE-3
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	81.95	82.39	81.59
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	76.89	77.39	76.49
PESO DE AGUA	(g)	4.25	4.59	5.10
PESO DEL TARRO	(g)	53.81	55.84	55.12
PESO DEL SUELO SECO	(g)	22.99	21.86	21.28
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	18.48	20.59	23.97
NUMERO DE GOLPES		35	28	11

LIMITE PLASTICO

N° TARRO		A-3	A-8
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	81.95	81.89
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	81.25	81.82
PESO DE AGUA	(g)	0.78	0.78
PESO DEL TARRO	(g)	56.71	56.89
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.54	4.22
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	15.42	18.48

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	20.59
LIMITE PLASTICO	18.95
INDICE DE PLASTICIDAD	3.55

OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

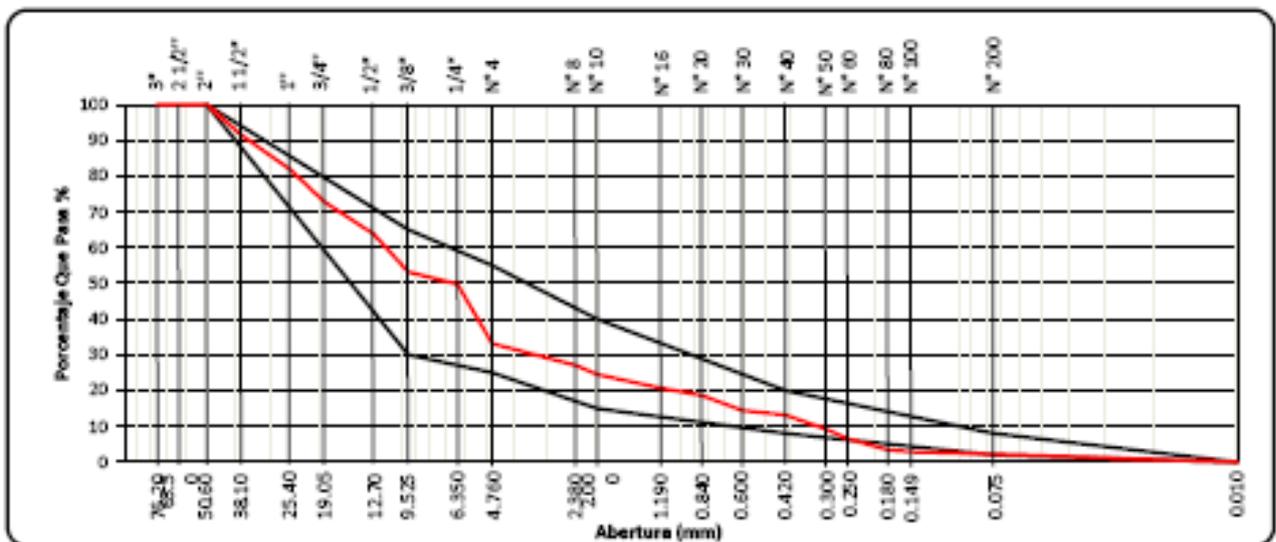
(NORMA MTC E 204 - 2000, AASHTO T-27, ASTM C-136)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES			
PROY :	OPTIMIZACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS.	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
SECTOR :		ENSAYO N° :	Muestra I
MATERIAL :	MATERIAL DE SUB BASE	FECHA :	19 de enero de 2018
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%.	CERTIFICADO :	

DATOS DE LA MUESTRA I			
TRAMO :		Peso de Muestra Seca Antes de Lavar :	8950.80 g
PROGRESIVA :		Peso de Muestra Seca Después de Lavar :	8500.00 g
MUESTRA :	TOMADA EN PRODUCCIÓN CHANCADORA	Peso de Material que Pasó La Malla N° 200 :	450.8 g

TAMÉ	AASHTO T-02 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
						"A"	"B"	
3"	76.200	0.00	0.000	0.00	100.00			
2 1/2"	63.500	0.00	0.000	0.00	100.00			%Peso Piedra: 66.95%
2"	50.800	0.00	0.000	0.00	100.00	100	100	% Peso Finos: 33.14%
1 1/2"	38.100	800.00	8.421	8.42	91.58			Límite Líquido (LL): 30.50
1"	25.400	920.00	9.884	18.11	81.89			Límite Plástico (LP): 16.95
3/4"	19.050	875.00	9.211	27.32	72.68			Índice Plástico (IP): 3.55
1/2"	12.700	845.00	8.895	36.21	63.79			Clasificación (SUCS): GW-GM
3/8"	9.525	1010.00	10.632	46.84	53.16	30	85	Clasif. (AASHTO): A-1-a (II)
1/4"	6.350	321.50	3.384	50.23	49.77			Contenido de Humedad (%): 14.48
N° 4	4.750	1580.00	16.632	66.86	33.14	25	85	Materia Orgánica:
N° 8	2.380	590.00	6.105	72.96	27.04			Turba:
N° 10	2.000	298.00	2.516	75.48	24.52	15	40	OBSERVACIONES:
N° 18	1.180	357.00	3.758	79.24	20.76			
N° 20	0.840	201.80	2.124	81.36	18.64			MATERIAL PROPIO = 85%
N° 30	0.600	398.30	4.203	85.56	14.44			HORMIGON ZARANDADO = 35%
N° 40	0.420	121.30	1.277	86.84	13.16	8	20	
N° 60	0.300	378.40	3.963	90.82	9.18			
N° 80	0.250	298.00	2.716	93.54	6.46			
N° 80	0.180	208.00	3.042	96.58	3.42			
N° 100	0.149	52.80	0.554	97.14	2.86			
N° 200	0.075	54.10	0.575	97.81	2.19	2	8	
< N° 200	FONDO	208.00	2.189	100.00	0.00			
TOTAL		9500.00	100.00					

CURVA GRANULOMÉTRICA





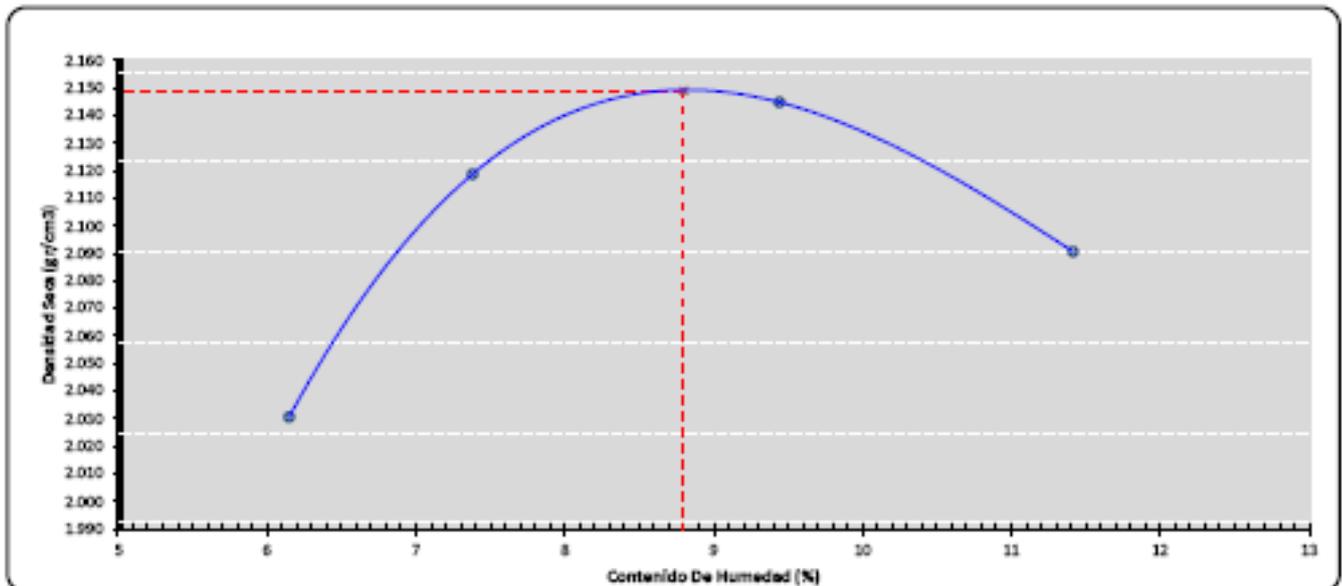
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES	
PROY : OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA : ANSELMO NUÑEZ CONDORI
SECTOR :	ENSAYO N°: Muestra I
MATERIAL: MATERIAL DE SUBBASE	FECHA : 28 de enero de 2016
CANTERA : MATERIAL PROPO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+000 EN 35%	CERTIFICADO :

CALCULO DEL METODO			
METODO DE ENSAYO : Metodo "C"	PESO INICIAL (gr.) :	57450	100.00%
NUMERO DE GOLPES : 68	RETENIDO 2" (gr.) :	0	0.0%
NUMERO DE CAPAS : 6	RETENIDO 3/4" (gr.) :	8810	17.1%
	RETENIDO 3/8" (gr.) :	12090	21.0%
	RETENIDO N° 4 (gr.) :	8430	14.7%
	PASANTE N° 4 (gr.) :	27120	47.2%
	Metodo "C"		8000 gr.
	3/4" (gr.) :	12090	25.38%
	N° 4 (gr.) :	8430	17.70%
	N° 4 (gr.) :	27120	56.93%
	TOTAL gr. :	47640	100.00%

METODO DE COMPACTACION : AASTHO T180 (C.)									
Numero De Molde	N°	I		II		III		IV	
		cm							
Diametro Del Molde	cm	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30
Altura Del Molde	cm	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10916.5	11169.7	11322.9	11322.9	11322.9	11322.9	11285.1	11285.1
Peso Molde	gr.	6360	6360	6360	6360	6360	6360	6360	6360
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4556.5	4809.7	4962.9	4962.9	4962.9	4962.9	4925.1	4925.1
Volúmen Del Molde	cm ³	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0	2124.0
Densidad del Suelo Humedo	gr./cm ³	2.145	2.284	2.337	2.337	2.337	2.337	2.319	2.319
Recipiente	N°	B-14	B-08	B-4	B-4	B-4	B-4	B-3	B-3
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	847.3	705.3	1001.5	1001.5	1001.5	1001.5	1006.1	1006.1
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	802.0	659.9	919.3	919.3	919.3	919.3	900.9	900.9
Peso de Agua	gr.	45.3	45.4	82.2	82.2	82.2	82.2	89.2	89.2
Peso De Tara	gr.	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso Del Suelo Seco	gr.	802	659.9	919.3	919.3	919.3	919.3	900.9	900.9
% Contenido De Agua	W %	5.65%	6.88%	8.94%	8.94%	8.94%	8.94%	10.01%	10.01%
% Contenido De Agua Promedio	W %	5.65	6.88	8.94	8.94	8.94	8.94	10.01	10.01
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm ³	2.031	2.119	2.145	2.145	2.145	2.145	2.091	2.091
Densidad Máxima (gr/cm ³) :									2.149
Humedad Óptima (%) :									8.300

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



LIMITES DE CONSISTENCIA
(NORMA : AASHTO T-89, T-90; ASTM D 4318; MTC E-110, E-111)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS.		
SECTOR :	MATERIAL DE SUB BASE	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUB BASE	ENSAYO N° :	Muestra E
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%.	FECHA :	21 de enero de 2016

DATOS DE LA MUESTRA II

PROGRESIVA :
MUESTRA : MATERIAL DE SUB BASE

LIMITE LIQUIDO

N° TARRO	T-15	T-19	R-9
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)	29.84	32.20	35.78
PESO TARRO + SUELO SECO (g)	27.65	30.02	33.10
PESO DE AGUA (g)	2.19	2.18	2.68
PESO DEL TARRO (g)	16.25	18.89	21.64
PESO DEL SUELO SECO (g)	11.40	11.13	11.46
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	19.21	19.59	23.21
NUMERO DE GOLPES	31	29	9

LIMITE PLASTICO

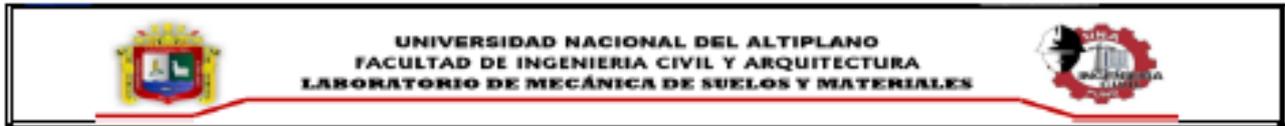
N° TARRO	A-7	A-8
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)	21.59	21.51
PESO TARRO + SUELO SECO (g)	20.87	21.04
PESO DE AGUA (g)	0.72	0.47
PESO DEL TARRO (g)	16.28	18.28
PESO DEL SUELO SECO (g)	4.61	2.76
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)	15.62	17.03

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	20.00
LIMITE PLASTICO	16.32
INDICE DE PLASTICIDAD	3.68

OBSERVACIONES



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(NORMA MTC E 204 - 2000, AASHTO T-27, ASTM C-136)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

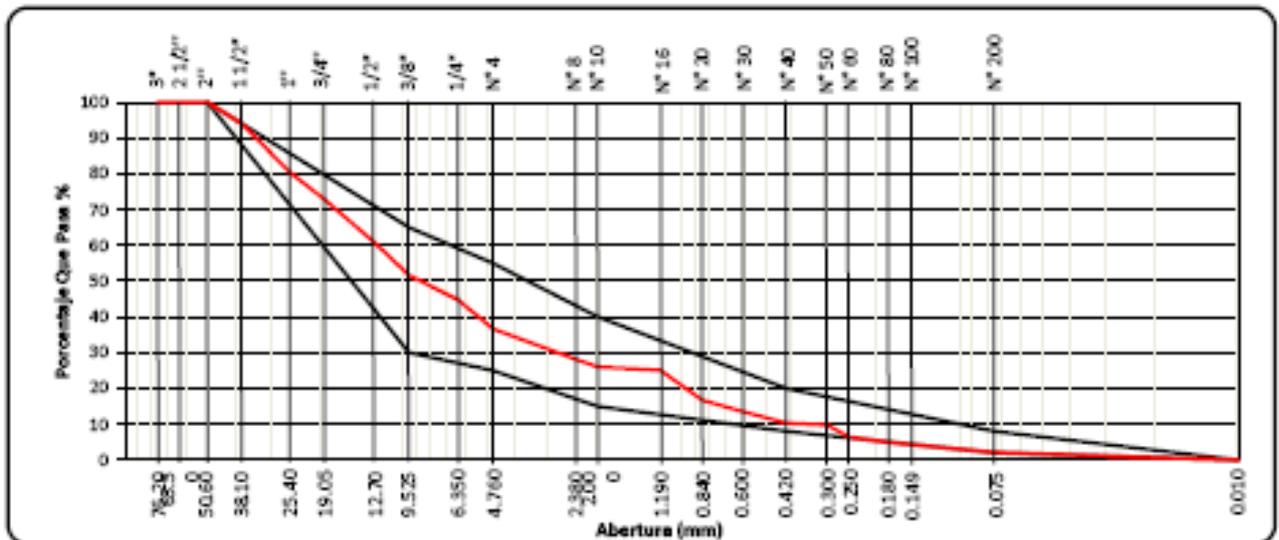
PROY :	OPTIMIZACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTÉTICOS.	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
SECTOR :		ENSAYO N° :	Muestra II
MATERIAL :	MATERIAL DE SUB BASE.	FECHA :	21 de enero de 2018
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 88% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%.	CERTIFICADO :	

DATOS DE LA MUESTRA II

TRAMO :		Peso de Muestra Seca Antes de Lavar :	4847.81 g
PROGRESIVA :		Peso de Muestra Seca Después de Lavar :	4351.01 g
MUESTRA :	TOMADA EN PRODUCCIÓN CHANCADORA	Peso de Material que Pasó La Malla N° 100 :	498.8 g

TAMIZADO	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION "A"	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.000	0.00	100.00		
2 1/2"	63.500	0.00	0.000	0.00	100.00		%Peso Piedra: 63.36%
2"	50.800	0.00	0.000	0.00	100.00	100	% Peso Finos: 36.64%
1 1/2"	38.100	298.14	5.887	5.89	94.11		Límite Líquido (LL): 30.99
1"	25.400	600.00	13.790	19.89	80.32		Límite Plástico (LP): 16.32
3/4"	19.050	335.15	7.703	27.38	72.62		Índice Plástico (IP): 3.68
1/2"	12.700	814.00	11.813	39.19	60.81		Clasificación (SUCC): GW-GM
3/8"	9.525	400.75	9.211	48.40	51.60	30	Clasif. (AASHTO): A-1-a (0)
1/4"	6.350	297.80	6.840	55.24	44.76		Contenido de Humedad (%):
N° 4	4.750	352.86	8.112	63.36	36.64	25	Materia Orgánica:
N° 8	2.380	374.78	8.614	71.97	28.03		Turba:
N° 10	2.000	88.85	1.998	73.97	26.03	15	OBSERVACIONES:
N° 18	1.180	43.10	0.991	74.96	25.04		
N° 20	0.840	363.06	8.344	83.30	16.70		MATERIAL PROPIO = 88%
N° 30	0.600	138.26	3.173	86.48	13.52		HORMIGON ZARANDADO = 35%
N° 40	0.420	138.06	3.173	89.65	10.35	8	
N° 50	0.300	25.00	0.575	90.23	9.77		
N° 60	0.250	143.38	3.295	93.52	6.48		
N° 80	0.180	88.85	1.998	95.10	4.90		
N° 100	0.149	26.00	0.598	95.70	4.30		
N° 200	0.075	93.85	2.138	97.84	2.16	2	
< N° 200	FONDO	93.86	2.180	100.00	0.00		
TOTAL		4351.01	100.00				

CURVA GRANULOMÉTRICA





ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
SECTOR :		ENSAYO N° :	Muestra II
MATERIAL :	MATERIAL DE SUBBASE	FECHA :	1 de febrero de 2016
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+068 EN 35%	CERTIFICADO :	

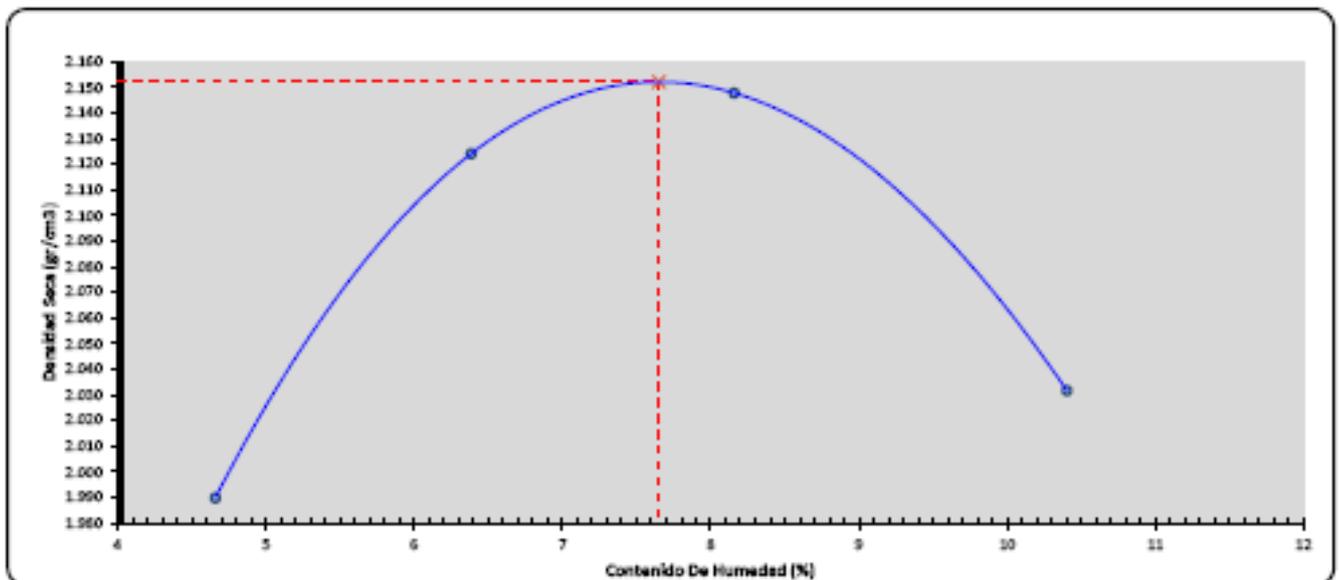
CALCULO DEL METODO

METODO DE ENSAYO :	Metodo "C"	PESO INICIAL (gr.) :	57410	100.00%			
NUMERO DE GOLPES :	68	RETENIDO 2" (gr.) :	0	0.0%			
NUMERO DE CAPAS :	6	RETENIDO 3/8" (gr.) :	9800	17.1%			
		RETENIDO 3/16" (gr.) :	12080	21.0%			
		RETENIDO N° 4 (gr.) :	8420	14.7%			
		PASANTE N° 4 (gr.) :	27110	47.2%			
						Metodo "C"	8000 gr.
						1/3M (gr.) :	12080 25.37% 1522.4
						1/4 N° 4 (gr.) :	8420 17.69% 1061.1
						1/4 N° 4 (gr.) :	27110 56.94% 3416.5
						TOTAL gr. :	47610 100.00%

METODO DE COMPACTACION : AASHTO T180 (C.)

Numero De Molde	N°	B-N		B-B		B-N		B-B	
		cm	cm	gr.	gr.	gr.	gr.	gr/cm3	gr/cm3
Diametro Del Molde	cm	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25		
Altura Del Molde	cm	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55		
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10513	11140	11021	11106				
Peso Molde	gr.	6114	6373	6114	6373				
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4399	4767	4807	4732				
Volumen Del Molde	cm3	2112.42	2109.68	2112	2110				
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm3	2.082	2.260	2.323					
Recipiente	N°	B-13	B-36	B-08	SF-02	B-3	A-25	B-2	T-3
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	119.63	93.23	89.17	98.84	63.95	95.02	74.62	56.95
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	114.66	89.77	84.51	93.52	59.85	79.7	68.97	55.19
Peso de Agua	gr.	4.97	3.46	4.66	5.32	4.1	5.32	5.65	4.76
Peso De Tara	gr.	10.31	13.74	14.1	13.91	10.88	13.84	13.82	16.12
Peso Del Suelo Seco	gr.	104.35	76.03	70.41	80.01	49.77	65.86	55.15	45.07
% Contenido De Agua	W %	4.78%	4.55%	6.62%	6.65%	8.24%	8.08%	10.24%	10.56%
% Contenido De Agua Promedio	W %	4.66		6.36		8.16		10.40	
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm3	1.590		2.124		2.148		2.032	
		Densidad Maxima (gr/cm3) : 2.162							
		Humedad Optima (%) : 7.650							

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



LIMITES DE CONSISTENCIA

(NORMA : AASHTO T-89, T-90; ASTM D 4318; MTC E-110, E-111)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS.	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
SECTOR :		ENSAYO N° :	Muestra III
MATERIAL:	MATERIAL DE SUB BASE	FECHA :	25 de enero de 2018
CANTERA:	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%.		

DATOS DE LA MUESTRA III

PROGRESIVA :
MUESTRA : MATERIAL DE SUB BASE

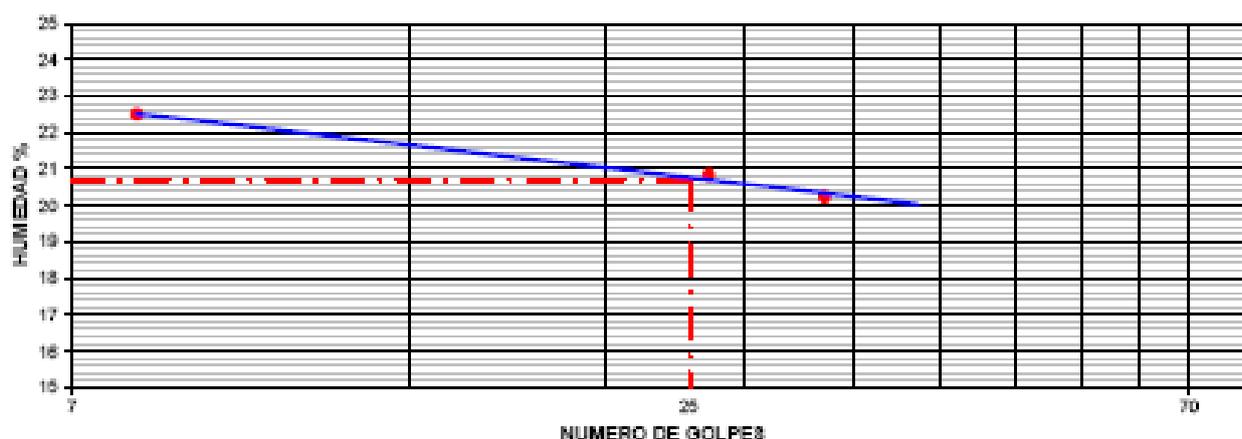
LIMITE LIQUIDO

N° TARRO		M-60	P-8	A-9
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	72.43	33.66	35.27
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	70.19	30.60	32.80
PESO DE AGUA	(g)	2.24	2.96	2.38
PESO DEL TARRO	(g)	59.12	19.36	22.31
PESO DEL SUELO SECO	(g)	11.07	11.33	10.68
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.23	20.83	22.60
NUMERO DE GOLPES		33	28	8

LIMITE PLASTICO

N° TARRO		R-10	A-7
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	26.62	30.80
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	25.87	29.25
PESO DE AGUA	(g)	0.65	1.55
PESO DEL TARRO	(g)	22.00	20.68
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.79	8.19
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	17.15	18.87

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES

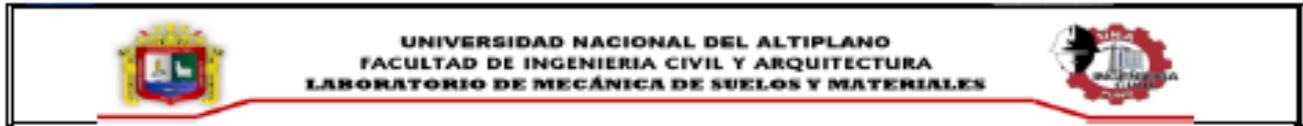


CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO	20.70
LIMITE PLASTICO	17.01
INDICE DE PLASTICIDAD	3.69

OBSERVACIONES

--



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(NORMA MTC E 204 - 2000, AASHTO T-27, ASTM C-136)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

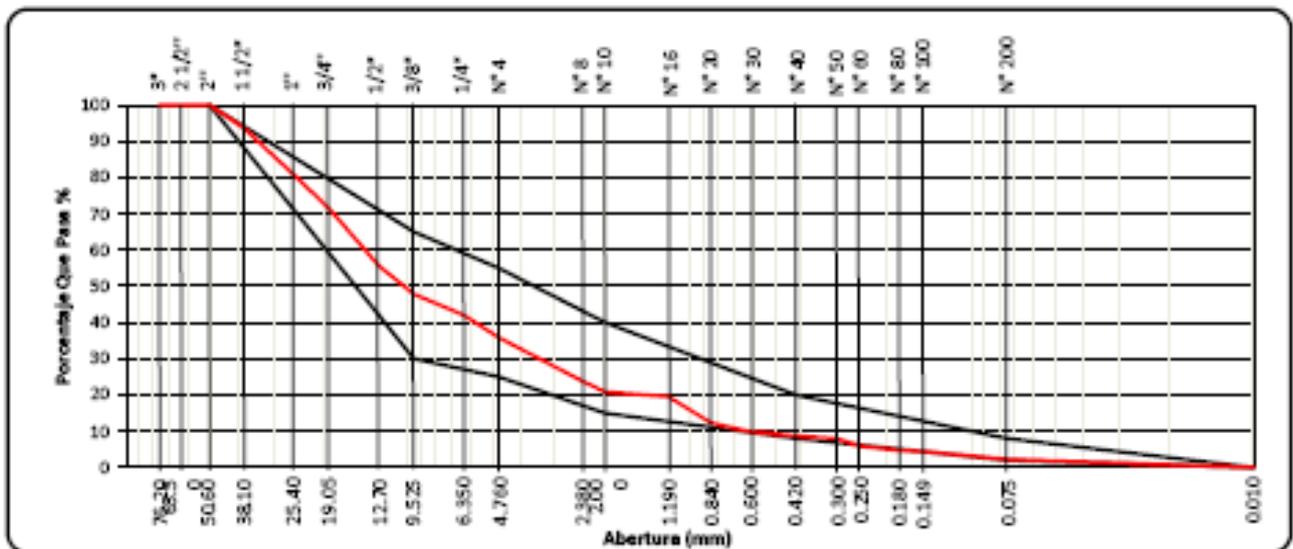
PROY : OPTIMIZACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS.	TESISTA : ANSELMO NUÑEZ CONDORI
SECTOR :	ENSAYO N° : Muestra III
MATERIAL: MATERIAL DE SUB BASE.	FECHA : 25 de enero de 2016
CANTERA : MATERIAL PROPIO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%.	CERTIFICADO :

DATOS DE LA MUESTRA III

TRAMO :	Peso de Muestra Seca Antes de Lavar : 6192.39 g
PROGRESIVA :	Peso de Muestra Seca Después de Lavar : 4706.78 g
MUESTRA : TOMADA EN PRODUCCIÓN CHANCADORA	Peso de Material que Pasó La Malla N° 100 : 482.6 g

TAMIZ	AASHTO T-02 (mm)	PESO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION "A"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	75.200	0.00	0.000	0.00	100.00			
2 1/2"	63.500	0.00	0.000	0.00	100.00		%Peso Piedra: 64.19%	
2"	50.800	0.00	0.000	0.00	100.00	100	% Peso Finos: 35.81%	
1 1/2"	38.100	303.70	4.903	4.90	95.09		Límite Líquido (LL): 26.79	
1"	25.400	601.33	9.710	14.61	85.29		Límite Plástico (LP): 17.81	
3/4"	19.050	440.87	7.119	21.72	78.28		Índice Plástico (IP): 3.69	
1/2"	12.700	743.00	11.994	33.71	68.00		Clasificación (SUCS): GW-GM	
3/8"	9.525	369.48	5.966	39.67	60.03	30	Clasif. (AASHTO): A-1-a (0)	
1/4"	6.350	269.95	4.359	44.03	55.64		Contenido de Humedad (%):	
N° 4	4.750	295.16	4.765	48.78	51.23	25	Materia Orgánica:	
N° 8	2.380	572.94	9.234	58.01	41.79	65	Turba:	
N° 10	2.000	129.02	2.081	59.99	40.01	15	40	OBSERVACIONES:
N° 18	1.190	54.51	0.890	60.88	39.12			
N° 20	0.840	340.02	5.490	66.37	33.63		MATERIAL PROPIO = 65%	
N° 30	0.600	118.50	1.915	78.29	21.71		HORMIGÓN ZARANDADO = 35%	
N° 40	0.420	48.10	0.780	85.99	14.01	0	20	
N° 60	0.300	38.40	0.625	92.00	8.00			
N° 80	0.250	33.50	0.545	96.06	3.94			
N° 100	0.150	58.25	0.948	97.00	3.00			
N° 200	0.075	101.38	1.668	98.33	1.67	2	0	
< N° 200	FONDO	106.10	1.733	100.00	0.00			
TOTAL		4706.79	100.00					

CURVA GRANULOMÉTRICA





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)**

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
SECTOR :		ENSAYO N° :	Muestra III
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	FECHA :	3 de febrero de 2016
CANTERA :	MATERIAL PROPO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+999 EN 35%	CERTIFICADO :	

CALCULO DEL METODO

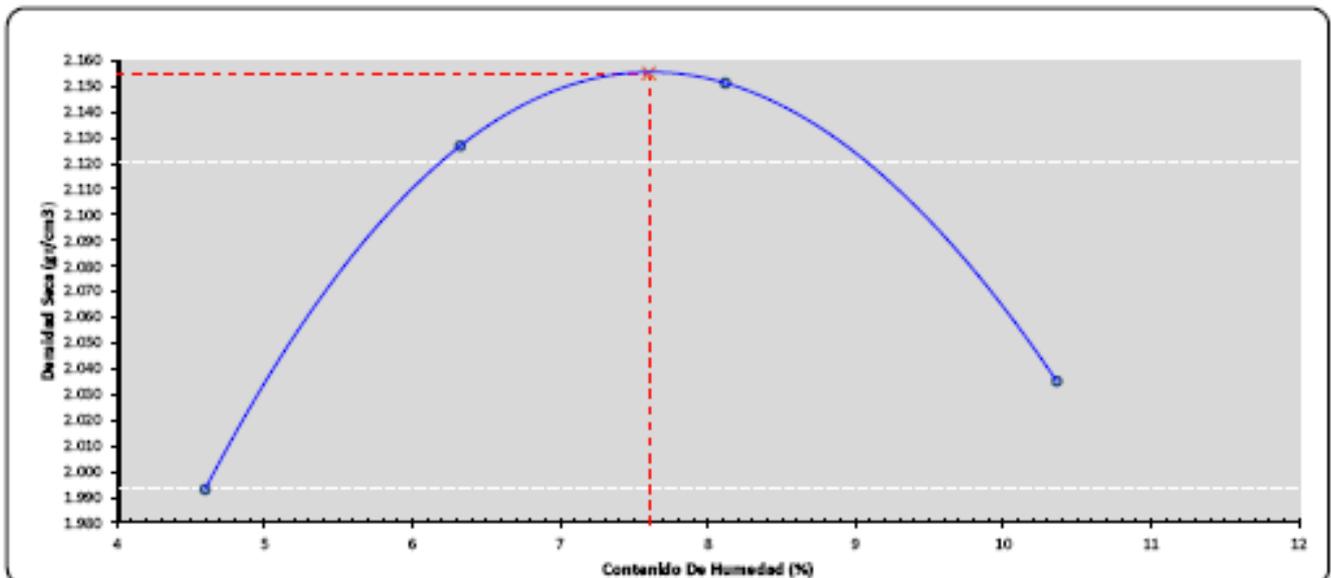
METODO DE ENSAYO :	Metodo "C"	PESO INICIAL (gr.):	57410	100.00%		
NUMERO DE GOLPES :	58	RETENIDO 2" (gr.):	0	0.0%	Metodo "C"	
NUMERO DE CAPAS :	5	RETENIDO 3/4" (gr.):	8800	17.1%	3/4 (gr.):	12080
		RETENIDO 3/8" (gr.):	12080	21.0%	1/2 N° 4 (gr.):	8420
		RETENIDO N° 4 (gr.):	8420	14.7%	1/4 N° 4 (gr.):	27110
		PASANTE N° 4 (gr.):	27110	47.2%	TOTAL gr.:	47610
						100.00%
						8000 gr.
						1522.4
						1061.1
						3416.5

METODO DE COMPACTACION : AASHTO T180 (C.)

Numero De Molde	N°	T-3		T-2		T-3		T-2	
Diametro Del Molde	cm	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25
Altura Del Molde	cm	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10417	10847	10628	10815	10628	10815	10628	10815
Peso Molde	gr.	6000	6155	6030	6156	6030	6156	6030	6156
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4417	4791	4928	4759	4928	4759	4928	4759
Volumen Del Molde	cm3	2116.79	2116.79	2119	2119	2119	2119	2119	2119
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm3	2.085	2.261	2.326	2.246	2.326	2.246	2.326	2.246
Recipiente	N°	B-3	P-12	N-65	4	A-10	T-2	K-8	K-7
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	151.83	125.72	142.6	146.87	118.11	126.42	140.16	129.69
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	146.95	126.6	135.13	139.1	116.2	118.35	128.61	118.96
Peso de Agua	gr.	5.77	5.12	7.47	7.77	7.91	8.07	11.55	10.73
Peso De Tara	gr.	14.76	13.89	15.59	17.65	14.11	17.53	16.64	15.85
Peso Del Suelo Seco	gr.	131.28	106.71	119.54	121.45	96.09	100.82	111.97	103.11
% Contenido De Agua	W %	4.40%	4.82%	6.25%	6.40%	8.23%	8.00%	10.32%	10.41%
% Contenido De Agua Promedio	W %	4.60		6.32		8.12		10.36	
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm3	1.993	2.127	2.151	2.035	2.151	2.035	2.151	2.035

Densidad Maxima (gr/cm3) : **2.155**
Humedad Optima (%) : **7.600**

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



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

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D -1883, MTC E -132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TERCISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	A1 - BALLA A cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+000 EN 35%	FECHA :	15 de febrero de 2016
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	* SUCS : GW-GC * AASTHO : A-1-a	DATOS PROCTOR :	* HUMEDAD OPTIMA : 7.85 % * DENSIDAD MAXIMA : 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	M-1	M-2	3%
NUMERO DE CAPAS :	5	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	26	68
Diametro Del Molde cm	15.2	16.2	16.2
Altura Del Molde cm	17.7	17.76	17.76
Altura Del Disco Espaciador cm	8.15	8.16	8.16

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA		SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	8713		8773		9321	
Peso Molde	gr.	4178		4180		4171	
Peso Del Suelo Humedo	gr.	4537		4593		4850	
Volumen Del Suelo	cm3	2095.84		2104.92		2104.92	
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm3	2.15		2.15		2.30	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO	gr/cm3	2.15		2.15		2.30	
TARA N°		P-8	A-9	T-15	A-6	A-7	R-01
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	120.98	132.02	139.35	144.17	153.56	144.49
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	112.6	125.27	130.02	135.78	128.02	137.47
Peso de Agua	gr.	8.08	6.75	8.43	8.39	8.64	7.02
Peso De Tara	gr.	16.48	16.83	16.35	22.21	20.07	22.11
Peso Del Suelo Seco	gr.	96.12	108.44	114.87	113.57	108.95	115.36
% Humedad	W %	8.39	6.22	7.35	7.39	8.21	6.09
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm3	1.997	2.035	2.033	2.032	2.169	2.172
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO	gr/cm3	2.018		2.032		2.171	

EXPANSION

			M-1		M-2		3%	
MOLDE NUMERO :			12		25		55	
NUMERO DE GOLPES :			116		116		116	
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			116		116		116	
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	EXPANSION		EXPANSION		EXPANSION	
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
13:00:00	18/02/2016	0	21.340	0.000	0.000	30.750	0.000	0.000
12:30:00	17/02/2016	23*30'0"	21.390	0.090	0.043	25.750	-5.000	-4.310
10:30:00	18/02/2016	46*00'0"	21.250	-0.090	-0.075	25.720	-5.030	-4.336
11:30:00	18/02/2016	71*00'0"	21.390	0.040	0.035	25.740	-5.010	-4.319

PENETRACION

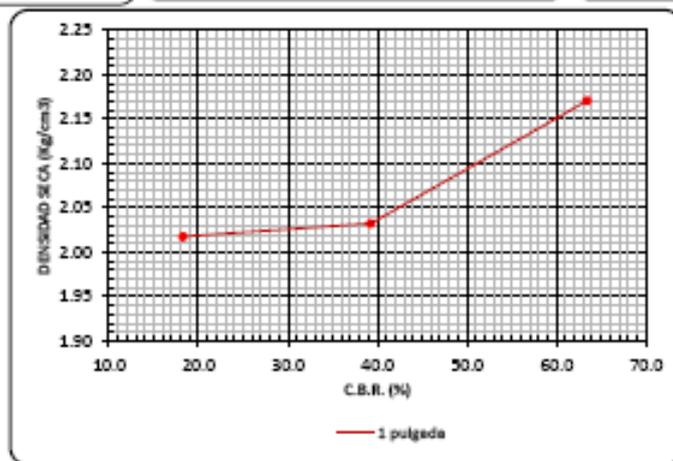
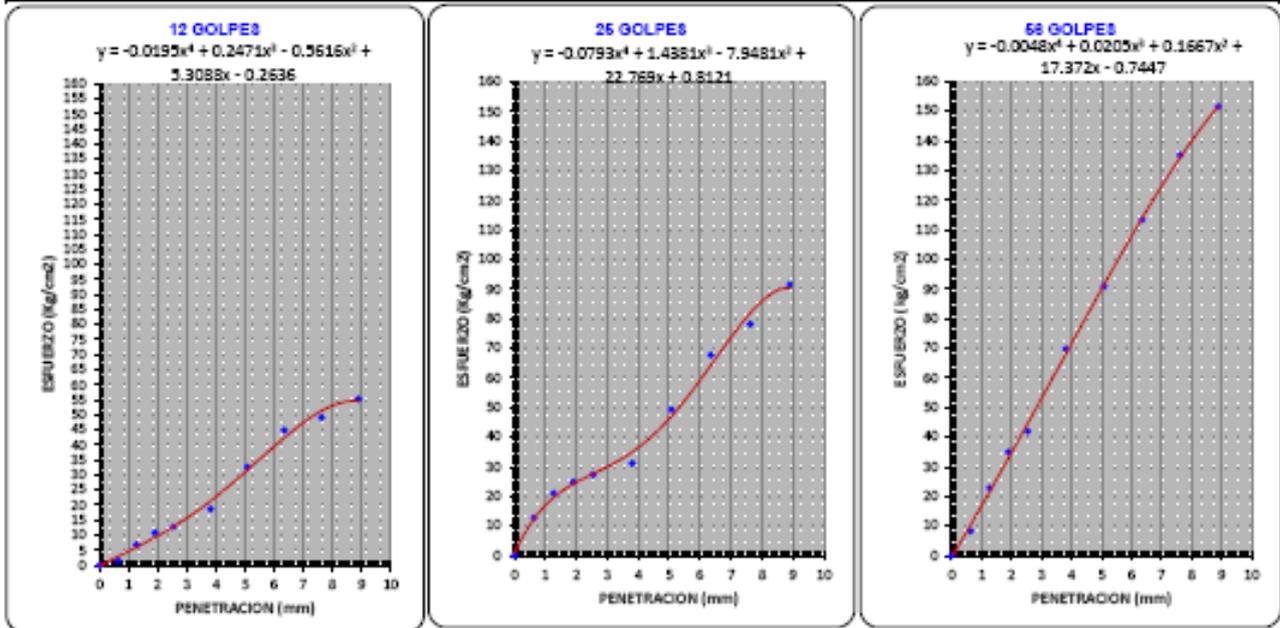
standard	Tiempo (seg.)	Penetración (mm)	Esfuerzo Patron (Kg/cm2)	Molde M-1				Molde M-2				Molde 3%			
				Dial (mm)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (mm)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (mm)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.636		0.31	31.6	1.6099		2.46	250.9	12.776		1.80	163.16	8.31	
	01:00	1.272		1.31	133.6	6.8033		4.05	413.0	21.033		4.30	447.66	22.80	
	01:30	1.908		2.08	212.1	10.802		4.79	483.4	24.876		6.73	698.27	34.95	
	02:00	2.544	70.41	2.45	250.9	12.776	12.899	5.26	536.4	27.317	27.653	8.00	824.95	42.01	44.685
	03:00	3.216		3.81	368.1	18.748		6.00	611.8	31.16		13.43	1369.5	69.75	
• Diametro (cm): 5	04:00	5.088	106.10	6.27	639.4	32.582	31.8876	9.50	968.7	49.337	47.179	17.50	1784.5	90.88	91.443
	05:00	6.360		8.84	881.0	44.871		13.05	1330.7	67.774		21.83	2228	113.37	
	05:50	7.632		9.45	963.6	49.077		15.06	1535.7	76.212		26.03	2654.3	135.18	
	06:50	8.904		10.63	1064.0	55.206		17.83	1797.8	91.559		29.17	2974.5	151.49	
	08:00	10.180													

FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" = 101.971621



RESULTADOS					
ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	58		
Densidad Seca Prom. (Kg/cm ³) :	2.018	2.032	2.171		
Penetracion : 1"	18.283	39.274	63.436		
• Metodo De Compactacion :	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL	
	ME1000 : °C	Humedad Optima :	7.85%	Penetracion:	1"
• Velocidad De Penetracion (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm ³):	2.15	100% MDS	63.4%
		85% De La MDS :	2.043	95% MDS	44.0%
				M.D.S. (kg/cm ³):	2.171
					2.082

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO Nº :	A2- MALLA A 2.5cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+000 EN 35%	FECHA :	15 de febrero de 2016
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	• SUCS : GW-GC • AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	• HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % • DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	4F	III - I	IF
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	58
Diámetro Del Molde	cm	15.15	15.2
Altura Del Molde	cm	17.75	17.75
Altura Del Disco Espejador	cm	8.15	8.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	8762	8805	8807			
Peso Molde	gr.	4271	4323	4189			
Peso Del Suelo Humedo	gr.	4491	4582	4630			
Volumen Del Suelo	cm3	2091.09	2062.00	2104.92			
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm3	2.15	2.20	2.30			
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO	gr/cm3	2.15		2.20		2.30	
TARA Nº		T-11	T-1	R-4	R-7	B-3	M-60
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	132.67	114.3	133.74	120.56	106.55	96.12
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	128.88	106.01	123.83	112.31	103.36	89.74
Peso de Agua	gr.	5.79	8.49	6.91	8.25	3.19	6.38
Peso De Tara	gr.	23.59	19.61	24.64	23.67	16.8	15.59
Peso Del Suelo Seco	gr.	103.29	86.4	99.19	88.64	88.58	74.15
% Humedad	W %	5.61	7.34	6.97	9.31	3.69	8.80
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm3	2.034	2.001	2.057	2.013	2.217	2.118
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO	gr/cm3	2.017		2.035		2.167	

EXPANSION

HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	EXPANSION		EXPANSION		EXPANSION				
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
13:00:00	15/02/2016	0	45.600	0.000	0.000	34.390	0.000	0.000	33.790	0.000	0.000
12:30:00	17/02/2016	23°30'0"	14.500	-31.100	-26.810	18.140	-16.250	-14.069	8.880	-24.900	-21.468
10:30:00	18/02/2016	45°00'0"	14.600	-31.000	-26.724	8.160	-25.230	-21.844	8.880	-24.900	-21.468
11:30:00	18/02/2016	71°00'0"	14.580	-31.000	-26.741	8.160	-26.290	-22.762	8.880	-24.900	-21.468

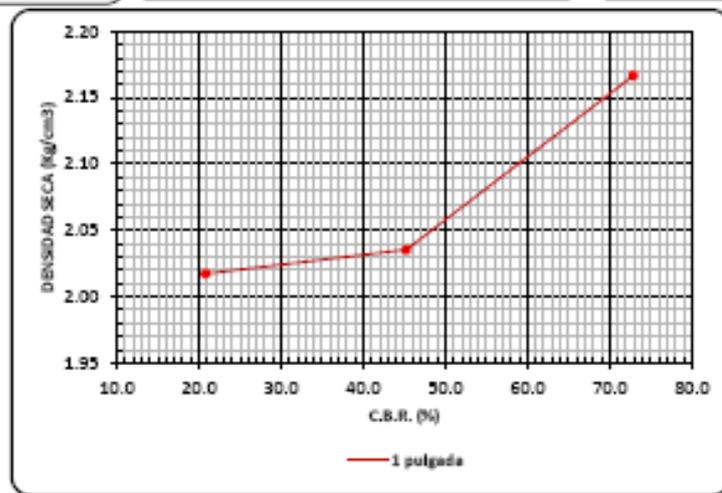
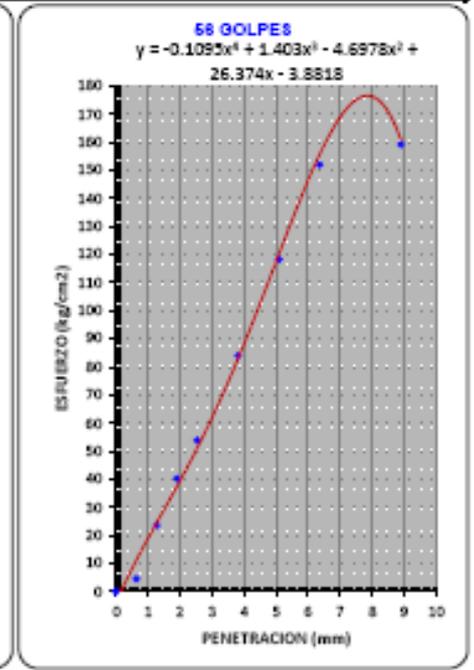
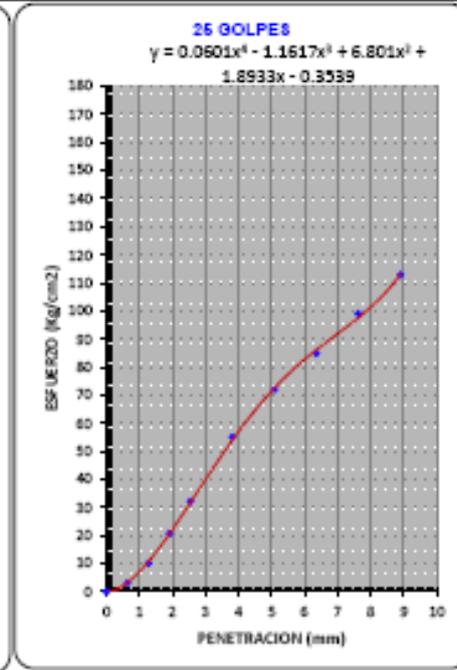
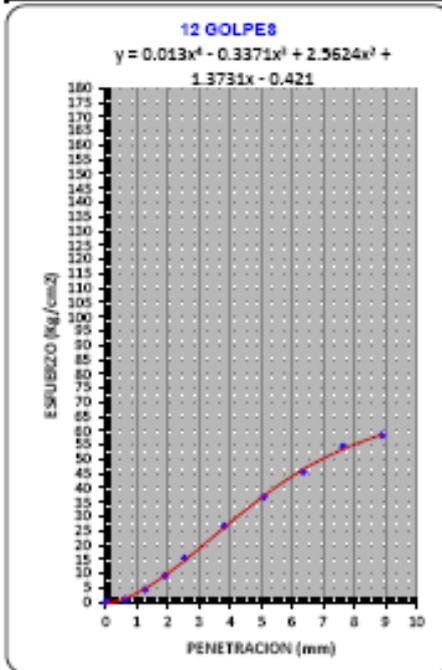
PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (kg/cm2)	Molde 4F				Molde III - I				Molde IF			
				Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.635		0.18	16.4	0.9348		0.60	61.2	3.118		0.89	90.755	4.62	
	01:00	1.272		0.84	86.7	4.3824		1.95	198.8	10.127		4.55	463.97	23.63	
	01:30	1.905		1.79	182.5	9.2981		4.00	407.9	20.773		7.75	790.26	40.25	
	02:00	2.544	70.41	2.94	299.8	15.269	14.6502	6.19	631.2	32.147	31.889	10.37	1057.4	53.85	51.323
• Diámetro (cm): 5	03:00	3.818		5.13	523.1	26.642		10.61	1061.9	56.102		16.17	1648.9	83.98	
	04:00	5.088	105.10	7.09	723.0	36.621	37.2106	13.89	1416.4	72.195	72.604	22.78	2322.9	118.31	120.11
	05:00	6.360		8.79	895.3	45.65		16.34	1688.2	84.88		29.27	2984.7	152.01	
	06:00	7.632		10.51	1071.7	54.582		18.07	1844.6	99.038		34.78	3548.8	180.83	
	06:50	8.904		11.25	1147.2	58.425		21.72	2214.8	112.5		39.85	4029.4	206.18	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

RESULTADOS				
ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56	
Densidad Seca Prom. (Kg/cm ³) :	2.017	2.095	2.167	
Penetración : 1"	20.807	45.262	72.892	
* Metodo De Compactacion :	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL
	Metodo : "C"	Humedad Optima :	7.85%	Penetración: 1"
* Velocidad De Penetración (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm ³):	2.15	100% MDS
		95% De La MDS :	2.043	95% MDS
			51.0%	M.D.S. (kg/cm ³): 2.167

GRAFICA





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES**



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TERCISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	AS- MALLA A 5 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 45+000 EN 35%	FECHA :	17 de febrero de 2016
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	• SUCS : GW-GC • AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	• HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % • DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm ³)
MOLDE NUMERO :	H2	MK4	6%III
NUMERO DE CAPAS :	6	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	55
Diametro Del Molde cm	15.25	15.2	15.2
Altura Del Molde cm	17.75	17.75	17.75
Altura Del Disco Espaciador cm	8.15	8.15	8.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA		SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12333		12811		12896	
Peso Molde	gr.	7849		7868		7821	
Peso Del Suelo Humedo	gr.	4484		4945		4877	
Volamen Del Suelo	cm ³	2158.79		2104.92		2104.92	
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm ³	2.12		2.21		2.32	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO	gr/cm³	2.12		2.21		2.32	
TARA N°		T-11	A-8	P-8	A-8	T-15	K-7
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	112.95	101.52	117.95	127.35	119.52	102.85
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	105.54	97.02	108.73	120.85	112.09	96.45
Peso de Agua	gr.	3.42	4.6	9.17	7.07	7.53	4.4
Peso De Tara	gr.	18.12	15.83	16.46	22.2	16.25	16.25
Peso Del Suelo Seco	gr.	91.42	80.19	92.33	96.65	95.84	82.21
% Humedad	W %	3.74	5.74	9.93	7.16	7.85	5.35
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm ³	2.040	2.001	2.057	2.059	2.145	2.199
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO	gr/cm³	2.021		2.033		2.174	

EXPANSION

MOLDE NUMERO :			H2	MK4	6%III						
NUMERO DE GOLPES :			12	25	55						
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			115	115	115						
HORA	FECHA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
10:00:00	17/02/2016	0	17.200	0.000	0.000	4.450	0.000	0.000	2.500	0.000	0.000
11:00:00	18/02/2016	25'00"0"	12.140	-5.060	-4.362	4.340	-0.150	-0.129	2.080	-0.410	-0.353
11:00:00	18/02/2016	45'00"0"	12.180	-5.020	-4.305	4.350	-0.140	-0.121	2.080	-0.420	-0.352
11:30:00	20/02/2016	75'00"0"	12.090	-5.110	-4.405	4.350	-0.150	-0.096	2.100	-0.400	-0.345

PENETRACION

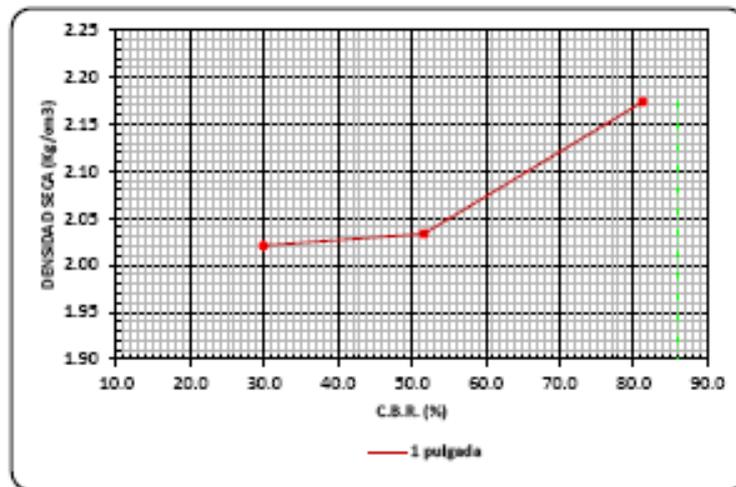
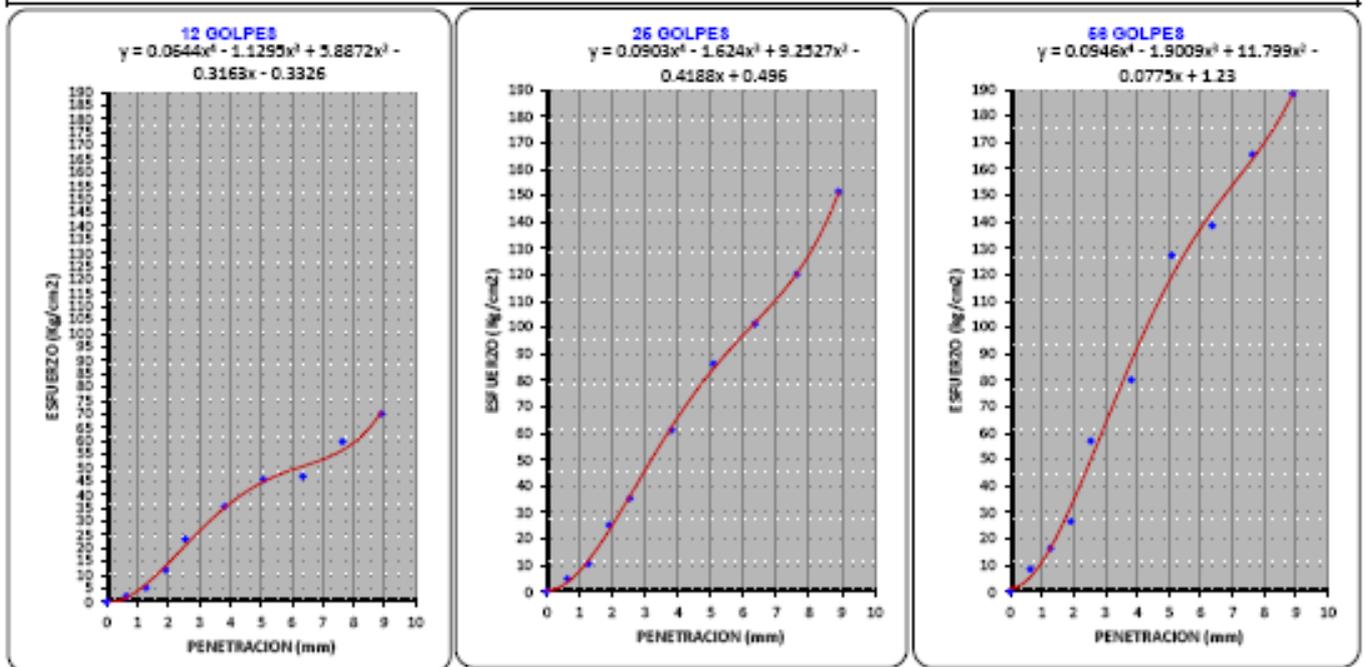
standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (ton/2)	Molde H2				Molde MK4				Molde 6%III			
				Dial (mm)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (mm)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (mm)	Kg	Kg/cm ²	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.635		0.40	40.5	2.0773		0.91	92.5	4.728		1.62	165.19	8.41	
	01:00	1.272		1.00	102.0	5.1934		2.02	205.0	10.491		3.15	321.21	16.35	
	01:30	1.905		2.30	234.5	11.945		4.84	493.5	25.136		5.10	520.08	26.49	
	02:00	2.544	70.41	4.50	455.9	23.37	21.065	8.81	894.4	35.367	35.357	10.88	1119.6	57.02	57.209
• Diametro (cm): 5	03:00	3.215		5.95	599.5	35.827		11.78	1201.2	61.178		15.42	1572.4	80.08	
	04:00	5.055	105.10	8.79	895.3	45.595	44.8495	16.83	1695.8	86.396	84.505	24.50	2493.3	127.24	133.11
	05:00	6.360		9.00	917.7	48.74		18.54	1902.5	101.45		26.57	2719.8	138.51	
	06:00	7.632		11.50	1172.7	58.724		23.16	2381.7	120.25		31.87	3249.6	165.51	
	06:50	8.904		13.50	1376.6	70.111		28.17	2974.5	151.49		36.38	3699.5	188.42	
	08:00	10.160													
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS

ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56
Densidad Seca Prom. (kg/cm3) :	2.021	2.033	2.174
Penetracion : 1"	29.918	51.636	81.251
* Metodo De Compactacion : ASTM D-1557 Metodo : "C"	PROCTOR		CBR FINAL
	Humedad Optima :	7.85%	Penetracion: 1"
* Velocidad De Penetracion (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm3):	2.15
		95% De La MDS :	2.043
		100% MDS	81.3%
		95% MDS	58.5%
		M.D.S. (kg/cm3):	2.174
			2.085

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



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

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D -1883; MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	A4.- MALLA A 7.5 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+993 EN 35%	FECHA :	17 de febrero de 2015
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	+ SUCS : GW-GC + AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	+ HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % + DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	M3	H1	3F
NUMERO DE CAPAS :	6	5	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	26	68
Diametro Del Molde cm	15.2	15.26	16.2
Altura Del Molde cm	17.75	17.76	17.8
Altura Del Disco Espaciador cm	8.15	8.16	8.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	11143		11000		12502	
Peso Molde gr.	6706		7194		7786	
Peso Del Suelo Humedo gr.	4439		4886		4786	
Volúmen Del Suelo cm3	2104.82		2118.79		2077.70	
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm3	2.11		2.21		2.31	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm3	2.11		2.21		2.31	
TARA N°	R-01	A-7	R-6	M-60	S-3	T-1
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	199.99	101.1	113.5	114.85	103.02	103.45
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	85.01	108.07	106.22	105.38	86.23	108.28
Peso de Agua gr.	5.98	1.03	7.28	8.47	6.79	3.19
Peso De Tara gr.	22.11	20.67	21.54	15.59	16.0	16.61
Peso Del Suelo Seco gr.	72.9	80	84.58	90.79	79.43	81.85
% Humedad W%	8.20	1.29	8.81	9.33	8.55	3.91
Densidad Del Suelo Seco gr/cm3	1.949	2.082	2.036	2.023	2.127	2.222
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm3	2.016		2.030		2.174	

EXPANSION

MOLDE NUMERO :			M3			H1			3F		
NUMERO DE GOLPES :			12			26			68		
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			116			118			114.5		
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
10:00:00	17/02/2015	0	2.593	0.000	0.000	3.593	0.000	0.000	8.418	0.000	0.000
11:00:00	18/02/2015	25'00"0"	2.593	-0.180	-0.184	3.650	0.070	0.060	8.318	-0.100	-0.087
11:00:00	19/02/2015	49'00"0"	2.593	-0.180	-0.184	3.640	0.060	0.052	8.398	-0.110	-0.096

PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (Kg-fuerza)	Molde M3				Molde H1				Molde 3F			
				Dial (90)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (90)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (90)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Picton:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.636		8.47	47.9	2.4409		1.32	134.8	6.8553		2.45	249.83	12.72	
	01:00	1.272		1.52	155.0	7.8939		4.65	474.2	24.149		5.62	573.08	29.19	
	01:30	1.908		3.35	341.6	17.398		7.66	781.1	38.781		8.29	842.29	42.90	
	02:00	2.544	70.41	4.05	485.6	25.24	21.349	9.70	889.1	50.376	49.888	13.43	1369.5	69.75	65.21
	03:00	3.816		5.62	573.1	29.187		13.86	1423.5	72.499		18.49	1885.5	96.03	
	04:00	5.088	105.10	8.04	819.9	41.755	42.8314	17.85	1799.8	91.983	90.541	25.78	2620.7	133.47	129.82
	05:00	6.360		10.55	1075.8	54.79		21.30	2233.2	113.73		29.86	2963.3	150.92	
	06:50	7.632		12.17	1261.0	63.203		25.48	2598.2	132.33		33.47	3413	173.82	
	08:50	8.904		14.40	1463.4	74.785		29.89	3047.9	155.23		39.77	4055.4	208.54	
09:00	10.180														

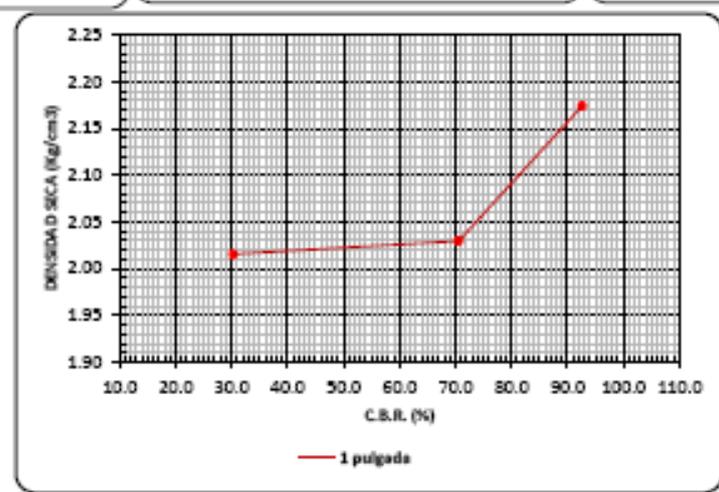
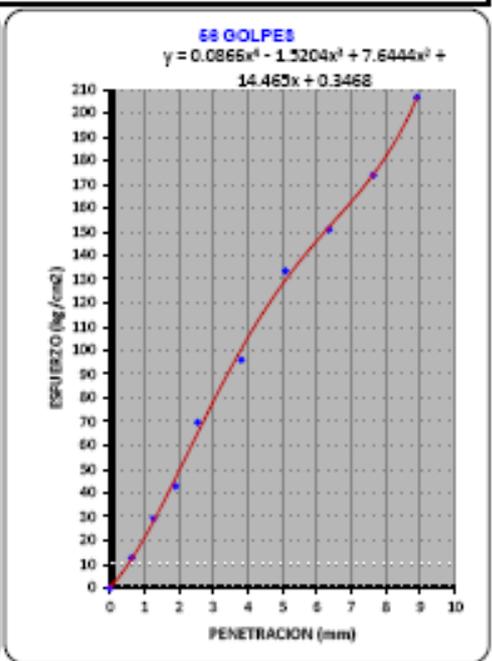
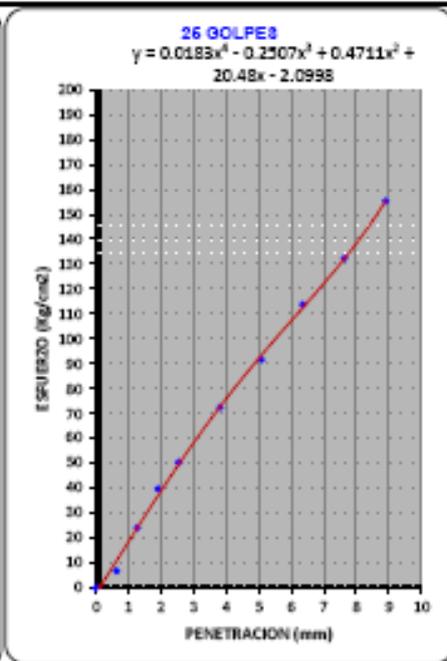
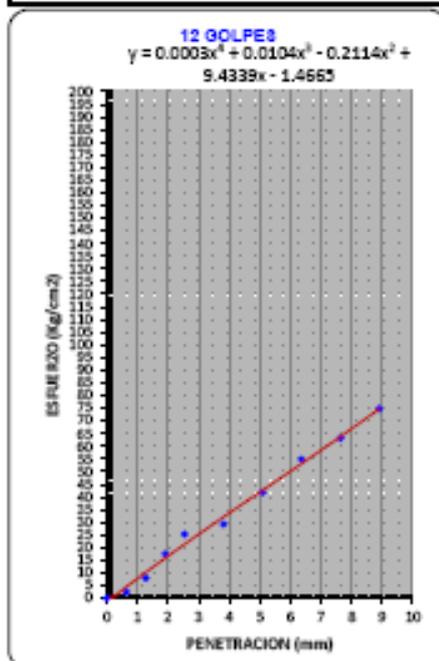
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" = 101.971621



RESULTADOS

ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	58
Densidad Seca Prom. (kg/cm3) :	2.018	2.090	2.174
Penetración : 1"	30.321	70.571	92.621
• Metodo De Compactación : Metodo : "C"	PROCTOR		CBR FINAL
	ASTM D-1557	Humedad Optima : 7.55%	Penetración: 1"
• Velocidad De Penetración (mm/min) : 1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm3):	2.15	100% MDS
	95% De La MDS :	2.043	95% MDS
			M.D.S. (kg/cm3):
			92.6%
			2.174
			75.6%
			2.065

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	AS- MALLA A 10 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 45+000 EN 35%	FECHA :	19 de febrero de 2016
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	• SUCS : GW-GC • AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	• HUMEDAD OPTIMA: 7.95 % • DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm ³)
MOLDE NUMERO :	M-1	M-2	I %
NUMERO DE CAPAS :	6	6	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	58
Diametro Del Molde cm	15.2	15.2	15.2
Altura Del Molde cm	17.7	17.75	17.75
Altura Del Disco Espaciador cm	8.15	8.15	8.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	11222	11321	11321	12852		
Peso Molde gr.	6703	6701	6701	7781		
Peso Del Suelo Humedo gr.	4519	4620	4620	4871		
Volumen Del Suelo cm ³	2095.84	2104.92	2104.92	2104.92		
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm ³	2.16	2.19	2.19	2.31		
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm ³	2.16		2.19		2.31	
TARA N°	T-122	T-17	M-2	T-1	M-60	B-3
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	94.15	101.58	123.94	111.85	110.11	97.21
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	89.35	95.93	118.27	104.87	103.87	92.71
Peso de Agua gr.	4.8	5.65	7.67	6.88	6.24	4.5
Peso De Tara gr.	17	17.31	17.15	18.61	15.8	16.81
Peso Del Suelo Seco gr.	72.35	78.62	99.14	88.38	88.27	75.9
% Humedad W %	6.83	7.19	7.74	7.97	7.07	5.93
Densidad Del Suelo Seco gr/cm ³	2.022	2.012	2.037	2.033	2.161	2.185
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm ³	2.017		2.035		2.173	

EXPANSION

MOLDE NUMERO :		M-1		M-2		I %		
NUMERO DE GOLPES :		12		25		58		
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):		115.5		118		118		
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	EXPACION		EXPACION		EXPACION	
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
10:00:50	19/02/2016	0	25.880	0.000	0.000	7.840	0.000	0.000
10:00:50	23/02/2016	30'00"	25.880	0.000	0.000	7.910	0.070	0.060

PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (kg/cm ²)	Molde M-1				Molde M-2				Molde I %			
				Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.75	78.5	3.895		3.57	364.0	18.54		4.24	432.38	22.02	
	01:00	1.272		1.97	200.9	10.231		6.92	705.6	36.938		7.90	813.73	41.44	
	01:30	1.908		3.93	400.7	20.41		10.88	1119.6	57.023		12.54	1278.7	65.12	
	02:00	2.544	70.41	4.58	465.0	23.882	24.1472	12.87	1312.4	66.539	64.888	16.04	1635.6	83.30	81.622
• Diametro (cm): 5	03:00	3.818		7.01	714.8	36.406		15.89	1630.5	83.042		20.88	2139.4	108.96	
	04:00	5.088	105.10	8.02	919.8	46.544	47.4245	18.21	1868.9	93.785	100.95	27.78	2833.5	144.32	142.03
	05:00	6.360		11.21	1143.1	58.218		22.81	2326.0	118.46		32.40	3303.9	168.27	
	06:50	7.632		13.74	1401.1	71.357		27.34	2787.9	141.99		34.80	3548.6	180.73	
	08:00	8.904		16.32	1684.2	84.756		28.87	3045.9	155.13		40.21	4100.3	208.63	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



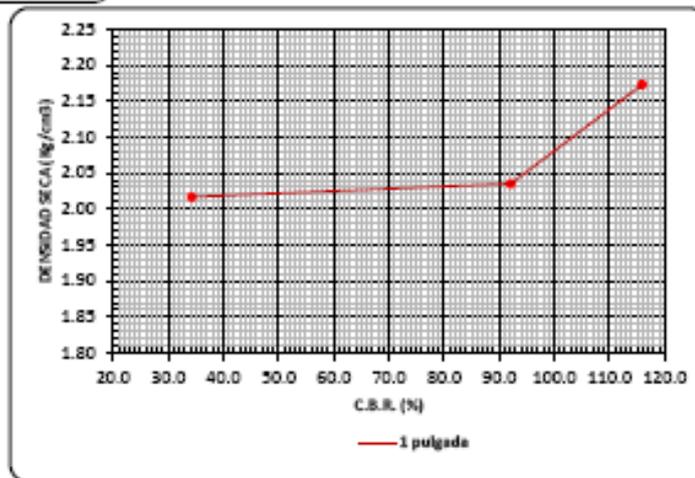
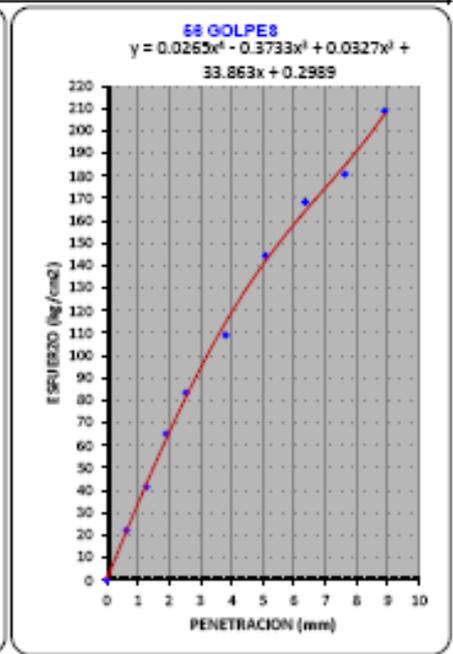
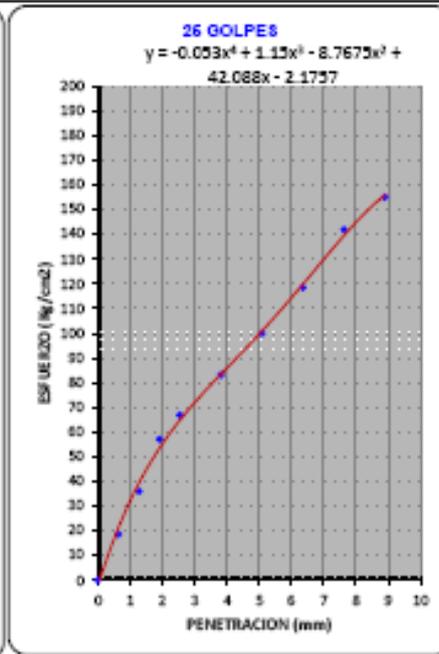
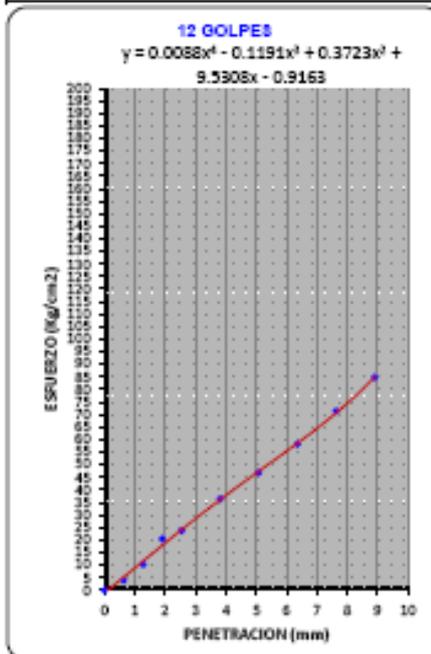
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



RESULTADOS

ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56
Densidad Seca Prom. (Kg/cm3) :	2.017	2.035	2.173
Penetración : 1"	34.295	92.129	115.924
• Metodo De Compactacion :	ASTM D-1557	PROCTOR	
Metodo : "C"		Humedad Optima :	7.85%
		Max. Dens. Seca (kg/cm3):	2.15
• Velocidad De Penetracion (mm/min) :	1.27	95 De La MDS :	2.043
		100% MDS	115.9%
		95% MDS	96.5%
		CBR FINAL	M.D.S. (kg/cm3):
		Penetracion:	1"
			2.173
			2.084

GRAFICA





ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N°:	B1.- MALLA A 0cm
CANTERA:	MATERIAL PROPO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+030 EN 35%	FECHA:	23 de febrero de 2016
		CERTIFICADO:	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	* SUCS : GW-GC * AASTHO : A-1-a	DATOS PROCTOR:	* HUMEDAD OPTIMA : 7.85 % * DENSIDAD MAXIMA : 2.15 (gr/cm ³)
MOLDE NUMERO :	N-2	K-3	N-1
NUMERO DE CAPAS :	6	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	58
Diámetro Del Molde cm	15.2	15.2	15.2
Altura Del Molde cm	17.7	17.75	17.75
Altura Del Disco Espaciador cm	6.15	6.15	6.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	11331		11370		11649	
Peso Molde gr.	6791		6702		6931	
Peso Del Suelo Humedo gr.	4540		4667		4718	
Volumen Del Suelo cm ³	2095.84		2104.92		2104.92	
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm ³	2.17		2.18		2.30	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm ³	2.17		2.18		2.30	
TARA N°	A-6	A-6	N-16	L-5	A-1	R-04
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	132.88	163.45	138.35	145.28	134.55	145.5
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	123.89	154.8	129.62	136.87	127.91	138.48
Peso de Agua gr.	8.77	8.65	8.43	8.39	8.64	7.02
Peso De Tara gr.	16.48	16.83	16.24	22.24	20.17	25.11
Peso Del Suelo Seco gr.	107.41	137.97	113.68	114.63	107.74	113.37
% Humedad W %	8.18	6.27	7.42	7.32	8.16	6.19
Densidad Del Suelo Seco gr/cm ³	2.003	2.057	2.053	2.033	2.169	2.170
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm ³	2.020		2.033		2.170	

EXPANSION

MOLDE NUMERO :			N-2		K-3		N-1	
NUMERO DE GOLPES :			12		25		58	
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			115.5		118		116	
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%
13:00:00	23/02/2016	0	12.340	0.000	0.000	27.750	0.000	0.000
12:30:00	24/02/2016	23°30'0"	12.380	0.040	0.035	27.740	-0.010	-0.009
10:30:00	25/02/2016	46°00'0"	12.380	-0.080	-0.089	27.730	-0.020	-0.017
11:30:00	26/02/2016	71°00'0"	12.380	0.020	0.017	27.740	-0.010	-0.009

PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetración (mm)	Esfuerzo Patron (Kg/cm ²)	Molde N-2				Molde K-3				Molde N-1				
				Dial (Kg)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (Kg)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (Kg)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		
	00:30	0.838		0.34	34.7	1.7657		2.44	248.8	12.872		1.29	131.54	6.70		
	01:00	1.272		0.68	99.9	5.0695		4.05	413.0	21.033		4.31	439.5	22.38		
	01:30	1.906		1.09	202.9	10.335		4.82	491.5	25.032		6.71	684.23	34.85		
	• Diámetro (cm) :	02:00	2.544	70.41	2.28	232.5	11.841	11.8139	5.21	531.3	27.067	27.793	8.11	826.99	42.12	44.511
	• Área (cm ²) :	03:00	3.818		3.17	323.3	16.463		6.13	625.1	31.835		13.46	1372.5	69.90	
		04:00	5.086	105.10	6.33	645.5	32.674	31.2048	8.44	862.6	49.025	47.328	17.49	1783.5	90.83	91.724
		05:00	6.360		8.69	888.1	45.13		13.10	1335.8	68.033		21.85	2228.1	113.48	
		05:50	7.632		0.38	958.5	48.714		15.00	1529.6	77.901		26.00	2651.3	135.03	
		06:50	8.904		10.50	1070.7	54.53		17.80	1815.1	92.442		29.19	2976.6	151.59	
	08:00	10.180														
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621												



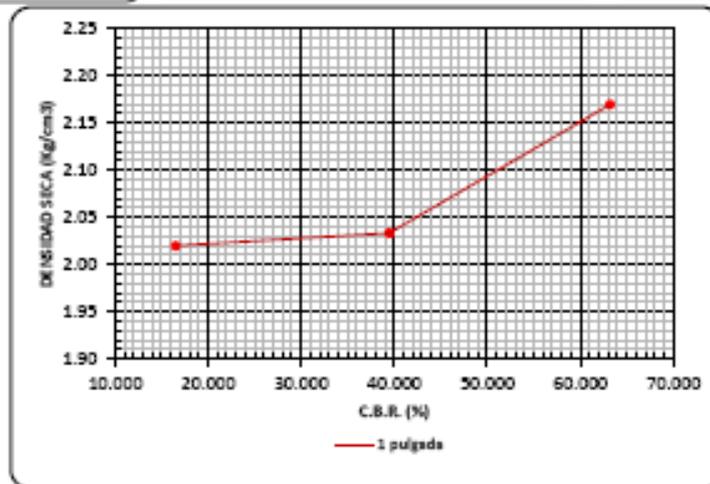
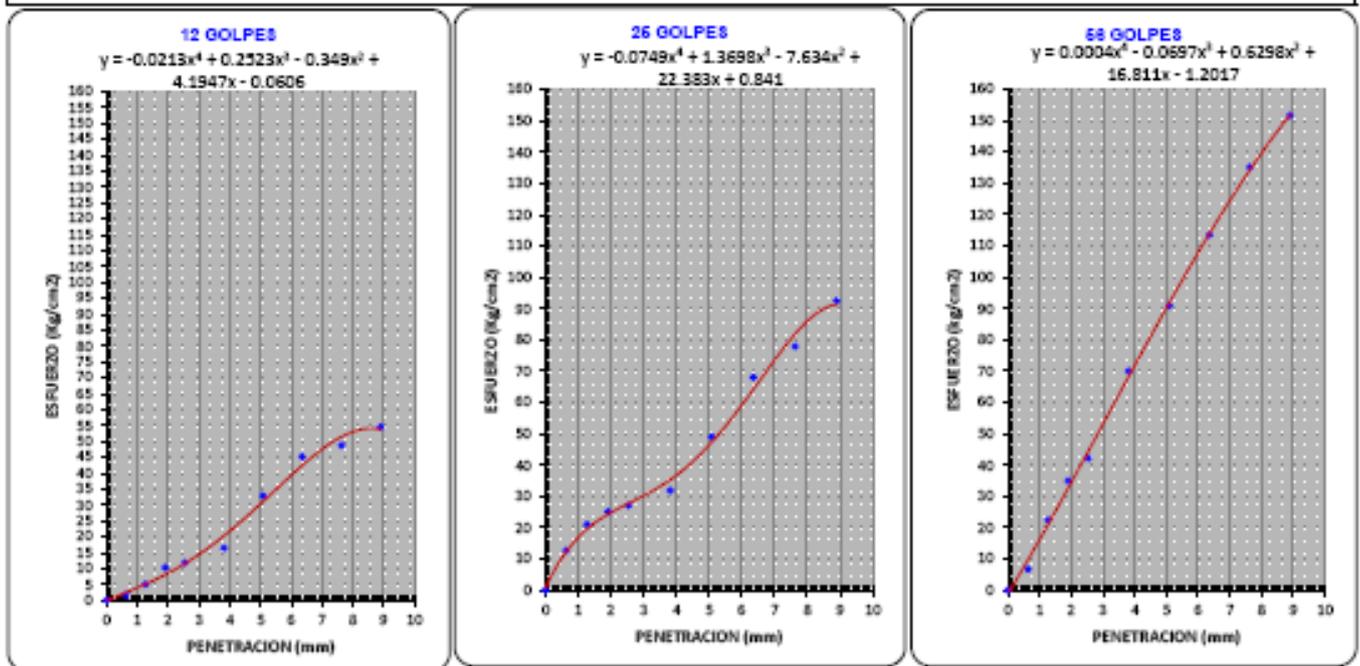
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



RESULTADOS

ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56	
Densidad Seca Prom. (Kg/cm ³) :	2.020	2.093	2.170	
Penetración : 1"	18.495	39.472	83.216	
• Metodo De Compactación : ASTM D-1557 Metodo : "C"	PROCTOR		CBR FINAL	
	Humedad Óptima :	7.85%	Penetración:	1"
• Velocidad De Penetración (mm/min) :	1.27	95% De La MDS :	2.043	95% MDS
				44.0%
				M.D.S. (kg/cm ³):
				63.2%
				2.170
				2.081

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E -132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESTISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDORI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	B2- MALLA A 2.5cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%	FECHA :	23 de febrero de 2016
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	• SUCS : GW-GC • AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	• HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % • DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm ³)
MOLDE NUMERO :	H1	M2	M1
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	26	58
Diametro Del Molde cm	15.25	15.2	16.25
Altura Del Molde cm	17.75	17.75	17.75
Altura Del Disco Especificador cm	6.15	6.15	6.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	11830	11448	11590			
Peso Molde gr.	7198	6868	6709			
Peso Del Suelo Humedo gr.	4634	4750	4881			
Volumen Del Suelo cm ³	2118.79	2104.92	2118.79			
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm ³	2.19	2.26	2.30			
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm ³	2.19		2.26		2.30	
TARA N°	C-1	H-3	A-31	T-85	T-04	T-05
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	105.2	117.8	123.12	125.47	100.1	121.01
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	98.73	108.51	112.48	114.74	101.82	115.89
Peso de Agua gr.	6.47	8.29	10.64	10.73	6.28	5.12
Peso De Tara gr.	15.98	16.68	16.58	16.31	16.96	17.23
Peso Del Suelo Seco gr.	82.75	92.83	95.89	98.43	83.78	98.68
% Humedad W %	7.82	8.93	11.10	10.90	7.50	5.19
Densidad Del Suelo Seco gr/cm ³	2.028	2.008	2.031	2.035	2.143	2.190
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm ³	2.016		2.033		2.167	

EXPANSION

MOLDE NUMERO :			H1		M2		M1				
NUMERO DE GOLPES :			12		26		58				
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			118		118		118				
HORA	FECHA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
13:00:00	23/02/2016	0	14.145	0.000	0.000	2.050	0.000	0.000	3.440	0.000	0.000
12:00:00	24/02/2016	23'00'0"	14.170	-1.975	-1.703	2.030	-0.020	-0.017	3.850	0.160	0.138
11:00:00	25/02/2016	45'00'0"	14.180	-1.965	-1.694	2.140	0.090	0.078	3.550	0.110	0.095
11:00:00	26/02/2016	70'00'0"	14.450	-1.895	-1.461	2.380	0.340	0.293	3.830	0.390	0.338

PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (kg/cm ²)	Molde H1				Molde M2				Molde M1			
				Dial (mm)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (mm)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (mm)	Kg	Kg/cm ²	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.17	17.3	0.8829		0.70	71.4	3.8354		0.91	92.794	4.73	
	01:00	1.272		0.79	80.8	4.1028		2.04	208.0	10.594		4.85	494.58	25.19	
	01:30	1.905		1.83	185.6	9.5039		4.10	418.1	21.293		7.89	804.58	40.95	
	02:00	2.544	70.41	3.01	308.9	15.832	15.2693	5.28	535.4	27.317	26.473	9.95	1014.8	51.67	49.311
	03:00	3.816		5.64	575.1	29.291		9.59	977.9	49.804		14.93	1522.4	77.54	
	04:00	5.088	105.10	8.98	711.8	38.25	38.1258	12.31	1256.3	63.95	68.195	21.83	2226	113.37	114.8
	05:00	6.360		8.91	908.6	46.273		16.10	1641.7	83.613		28.01	2868.2	150.86	
	06:50	7.632		10.81	1102.3	58.14		18.50	1868.4	101.27		34.56	3524.1	179.48	
	08:00	8.904		11.68	1191.0	60.859		22.01	2244.4	114.31		38.98	3159.1	180.89	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



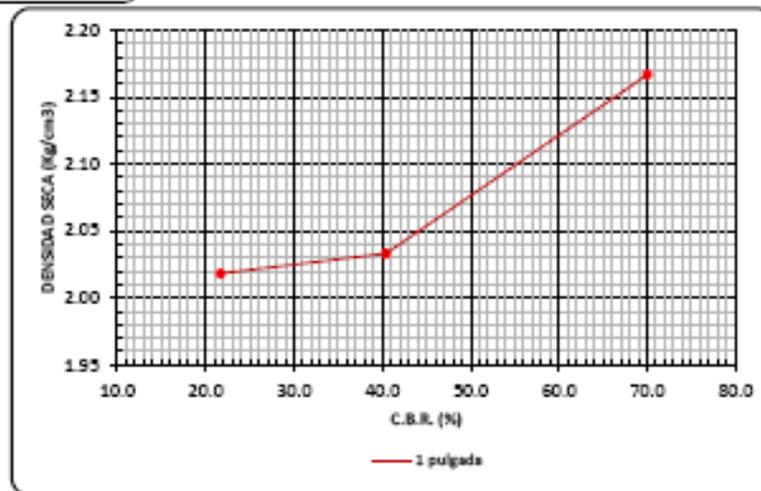
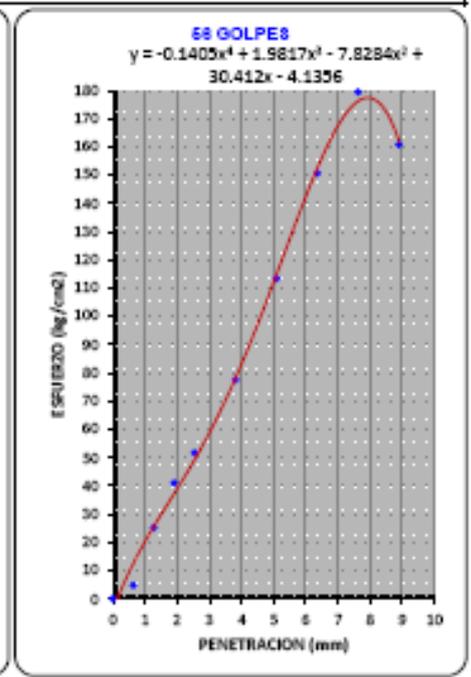
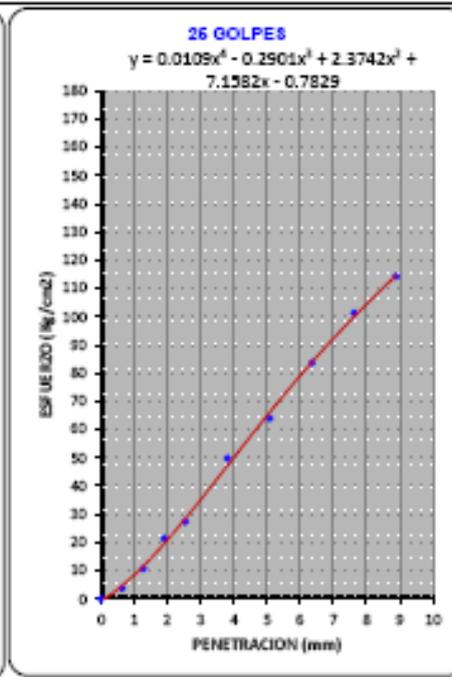
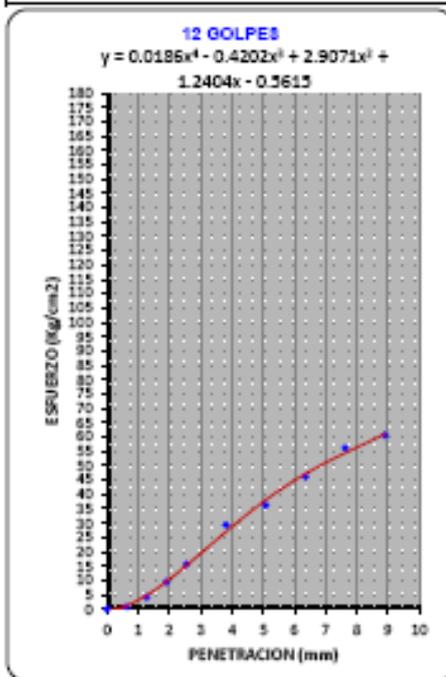
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



RESULTADOS

ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56			
Densidad Seca Prom. (Kg/cm3) :	2.018	2.033	2.187			
Penetración : 1"	21.888	40.439	70.033			
• Metodo De Compactacion :	ASTM D-1557	PROCTOR				
	Metodo : "C"	Humedad Optima :	7.85%	Penetración:	1"	M.D.S. (kg/cm3):
• Velocidad De Penetración (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm3):	2.15	100% MDS	70.0%	2.187
		95% De La MDS :	2.043	95% MDS	45.0%	2.058

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883; MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESTISTA : ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° : 03- MALLA A 5 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+000 EN 35%	FECHA : 23 de febrero de 2016
		CERTIFICADO :

DATOS PARA EL ENSAYO			
CLASIFICACION :	* SUCS : GW-GC * AASTHO : A-1-a	DATOS PROCTOR:	* HUMEDAD OPTIMA : 7.85 % * DENSIDAD MAXIMA : 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	M3	3% I	3F
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	68
Diametro Del Molde cm	15.2	15.2	15.2
Altura Del Molde cm	17.75	17.75	17.75
Altura Del Disco Espejador cm	8.15	8.15	8.15

DENSIDAD							
CONDICIONES DE LA MUESTRA		SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11204		12489		12520	
Peso Molde	gr.	8701		7767		7706	
Peso Del Suelo Humedo	gr.	4503		4722		4814	
Volamen Del Suelo	cm3	2104.92		2104.92		2104.92	
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm3	2.14		2.24		2.29	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO		2.14		2.24		2.29	
TARA N°		T-12	T-19	T-17	M-69	A-30	R-10
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	124.1	124.89	107.19	115.89	115.82	118.45
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	117.54	119.45	98.48	106.48	112.49	111.92
Peso de Agua	gr.	6.56	5.54	8.71	9.21	3.33	6.53
Peso De Tara	gr.	17.78	18.98	17.31	15.59	17.83	22.08
Peso Del Suelo Seco	gr.	99.76	100.57	81.17	90.89	94.66	89.84
% Humedad	W %	6.58	5.51	10.73	10.13	3.62	7.27
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm3	2.007	2.028	2.028	2.037	2.209	2.132
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO		2.017		2.031		2.171	

EXPANSION											
MOLDE NUMERO :			M3		3% I		3F				
NUMERO DE GOLPES :			12		25		56				
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			118		118		118				
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
13:00:00	23/02/2016	0	25.750	0.000	0.000	8.820	0.000	0.000	8.500	0.000	0.000
12:00:00	24/02/2016	23*00'0"	24.840	-1.070	-0.922	8.810	-0.110	-0.095	8.440	-0.060	-0.052
11:00:00	25/02/2016	46*00'0"	25.850	-0.060	-0.052	8.717	-0.200	-0.175	8.450	-0.100	-0.088
11:00:00	25/02/2016	70*00'0"	25.910	0.200	0.172	8.180	-0.740	-0.638	8.700	0.200	0.172

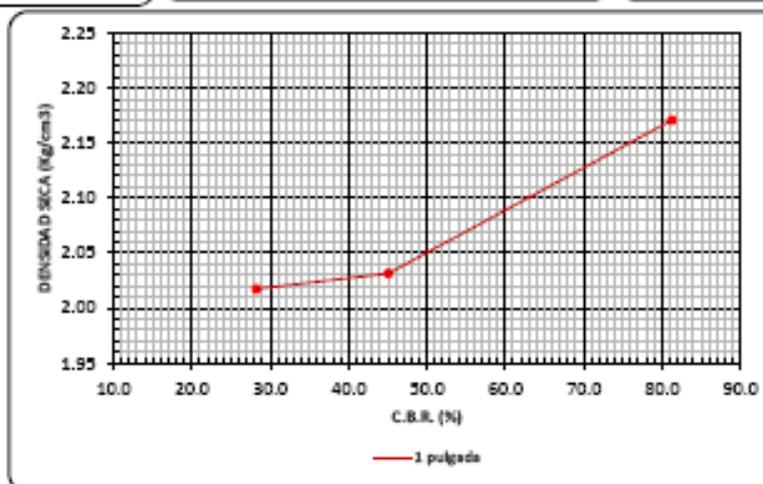
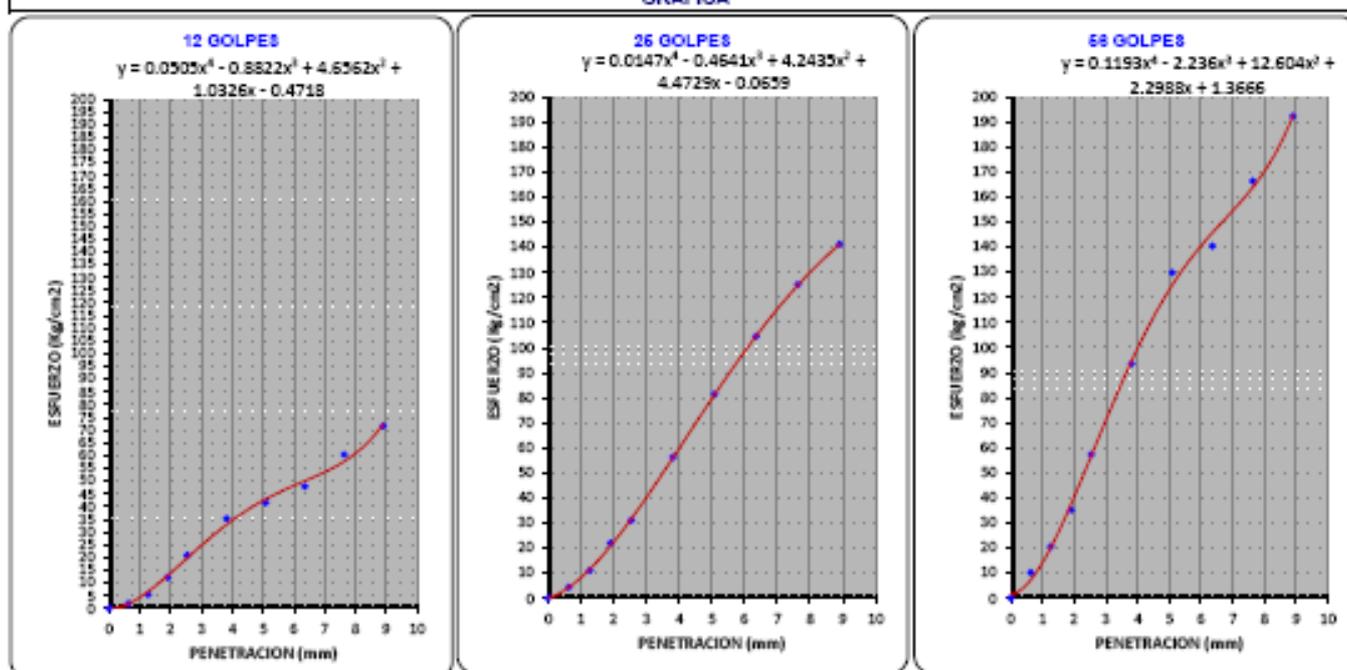
PENETRACION															
standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (kg/cm2)	Molde M3				Molde 3% I				Molde 3F			
				Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.38	38.7	1.9735		0.84	85.7	4.3824		1.97	200.88	10.23	
	01:00	1.272		1.04	105.1	5.4011		2.13	217.2	11.062		3.97	404.83	20.62	
	01:30	1.928		2.35	239.8	12.204		4.21	429.3	21.884		8.78	899.33	45.11	
	02:00	2.544	70.41	4.01	405.9	20.825	19.8826	5.99	610.8	31.108	31.751	11.04	1125.6	57.33	57.224
	03:00	3.818		8.79	892.4	35.283		10.84	1105.4	56.296		18.01	1836.5	93.63	
	04:00	5.088	105.10	8.01	816.8	41.599	42.9747	15.87	1597.9	81.38	81.289	24.99	2548.3	129.78	129.29
	05:00	6.380		9.21	939.2	47.831		20.13	2062.7	104.54		27.04	2757.3	140.43	
	06:00	7.632		11.62	1184.9	60.347		24.10	2457.5	125.16		32.04	3287.2	166.40	
	06:50	8.904		15.81	1488.2	71.72		27.20	2773.6	141.28		37.01	3774	192.21	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS

ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56
Densidad Seca Prom. (Kg/cm3) :	2.017	2.031	2.171
Penetracion : 1"	26.238	45.065	81.272
* Metodo De Compactacion : ASTM D-1557 Metodo : "C"	PROCTOR		CBR FINAL
	Humedad Optima :	7.85%	Penetracion: 1"
* Velocidad De Penetracion (mm/min) : 1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm3):	2.15	100% MDS
	95% De La MDS :	2.043	95% MDS
			M.D.S. (kg/cm3):
			81.3%
			2.171
			53.0%
			2.062

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883; MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TERSTA : ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N°: 04.- MALLA A 7.5 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 45+000 EN 35%	FECHA: 23 de febrero de 2016
		CERTIFICADO :

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	* SUCS : GW-GC * AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	* HUMEDAD OPTIMA: 7.35 % * DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	H2	H1	IF
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	68
Diámetro Del Molde cm	15.2	15.2	15.2
Altura Del Molde cm	17.75	17.75	17.8
Altura Del Disco Espejador cm	8.15	8.15	8.15

DENSIDAD

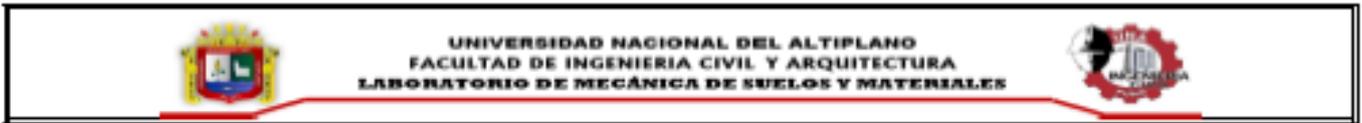
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	12454		12001		11587	
Peso Molde gr.	7889		7389		6718	
Peso Del Suelo Humedo gr.	4565		4612		4869	
Volumen Del Suelo cm3	2104.92		2104.92		2077.70	
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm3	2.18		2.19		2.34	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm3	2.18		2.19		2.34	
TARA N°	T-11	R-01	A-6	R-3	A-9	P-8
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	128.55	127.84	124.7	125.59	122.38	121.35
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	125.59	119.7	117.05	116.17	115.2	114.01
Peso de Agua gr.	7.36	8.14	7.65	7.42	7.78	7.34
Peso De Tara gr.	10.11	22.1	22.2	21.64	16.82	16.46
Peso Del Suelo Seco gr.	102.48	97.6	94.85	96.53	96.36	97.55
% Humedad W %	7.77	8.34	8.07	7.69	7.91	7.52
Densidad Del Suelo Seco gr/cm3	2.021	2.011	2.026	2.036	2.172	2.179
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm3	2.018		2.031		2.176	

EXPANSION

			H2	H1	IF	
MOLDE NUMERO :			12	25	68	
NUMERO DE GOLPES :			116	118	114.5	
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):						
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	EXPACION		EXPACION	
			DIAL	DIAL	DIAL	DIAL
			mm	%	mm	%
13:00:00	23/02/2016	0	21.490	0.000 0.000	6.950	0.000 0.000
12:00:00	24/02/2016	23*00'0"	21.140	-0.350 -0.302	6.920	-0.030 -0.026
11:00:00	25/02/2016	46*00'0"	21.070	-0.420 -0.362	6.960	0.010 0.009
11:00:00	26/02/2016	70*00'0"	21.390	-0.100 -0.088	6.300	-0.750 -0.647

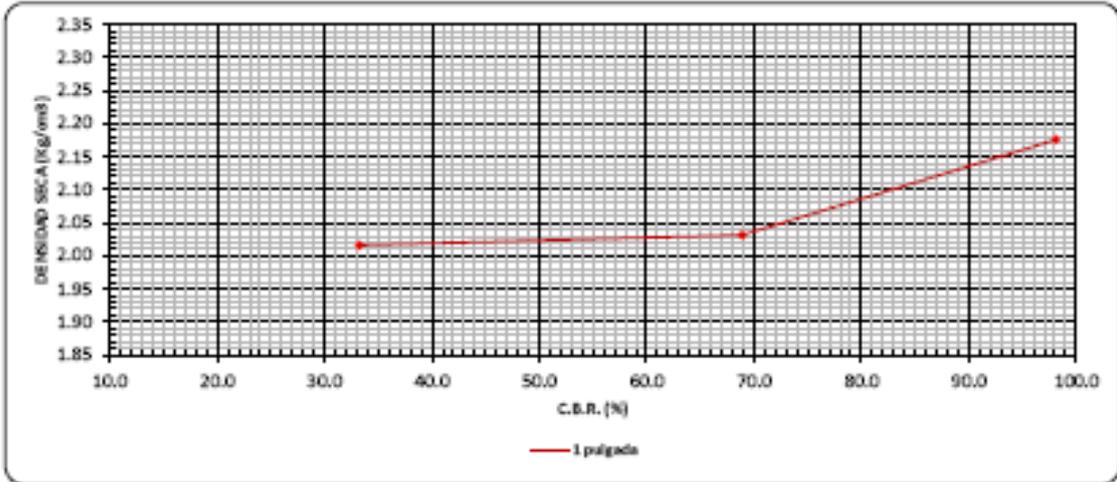
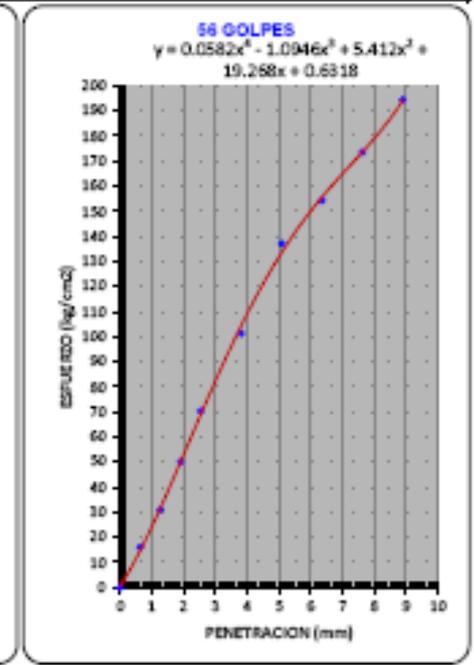
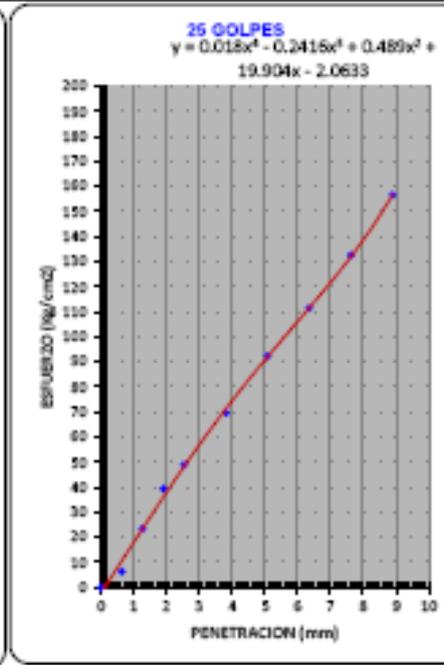
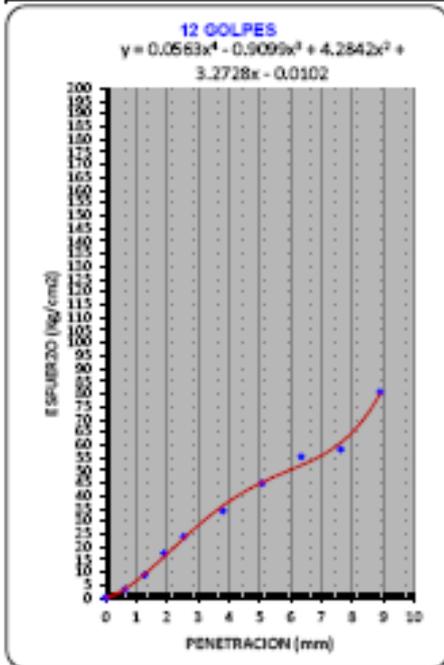
PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (Kg/cm2)	Molde H2				Molde H1				Molde IF			
				Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Piston: • Diámetro (cm): 5 • Área (cm2): 19.63	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.64	86.3	3.3238		1.24	126.4	6.4398		3.11	317.13	16.15	
	01:00	1.272		1.72	175.4	6.9328		4.53	461.9	23.526		5.98	609.79	31.06	
	01:30	1.908		3.37	343.6	17.502		7.80	775.0	39.47		9.65	984.03	50.12	
	02:00	2.544	70.41	4.62	471.1	23.993	23.4199	9.43	961.6	48.973	48.513	13.54	1360.7	70.32	69.091
	03:00	3.818		6.58	671.0	34.172		13.42	1388.5	69.895		18.50	1968.4	101.27	
	04:00	5.088	105.10	8.68	883.1	44.975	45.4318	17.78	1813.1	92.338	92.106	26.39	2691	137.05	133.8
	05:00	6.360		10.66	1067.0	56.361		21.47	2189.3	111.5		28.72	3030.8	154.35	
	06:00	7.632		11.25	1146.1	58.322		25.55	2605.4	132.69		33.42	3407.9	173.56	
	06:00	8.904		15.55	1565.7	80.757		30.15	3074.4	156.58		37.43	3816.6	194.39	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS					
ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56		
Densidad Seca Prom. (Kg/cm ³) :	2.018	2.031	2.176		
Penetracion : 1"	33.262	68.901	98.127		
* Metodo De Compactacion :	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL	
	Metodo : "C"	Humedad Optima :	7.85%	Penetracion:	1"
* Velocidad De Penetracion (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm ³):	2.15	100% MDS	98.1%
		95% De La MDS :	2.043	95% MDS	78.0%
				M.D.S. (kg/cm ³):	2.176
					2.067

GRAFICA





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E-132, NTP 339.145)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDOIS
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	85.- BIALLA A 10 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+000 EN 35%	FECHA :	25 de febrero de 2018
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	* SUCS : GW-GC * AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	* HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % * DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	IF	R-10	2F
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	26	58
Diametro Del Molde cm	15.25	15.25	15.25
Altura Del Molde cm	17.7	17.75	17.7
Altura Del Disco Espaciador cm	6.15	6.15	6.15

DENSIDAD

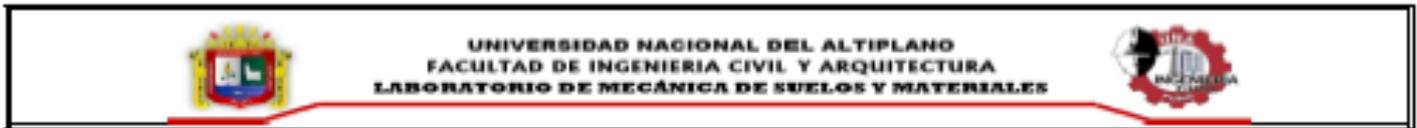
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	12576	11783	11589			
Peso Molde gr.	8035	7073	6796			
Peso Del Suelo Humedo gr.	4541	4710	4803			
Volumen Del Suelo cm3	2109.66	2118.79	2109.66			
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm3	2.15	2.22	2.28			
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm3	2.15		2.22		2.28	
TARA N°	A-31	T-04	T-17	R-10	R-01	T-12
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	127.35	120.56	112.0	128.53	138.49	141.51
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	120.1	114.57	104.4	118.75	131.95	135.93
Peso de Agua gr.	7.25	5.99	8.4	8.78	6.54	5.58
Peso De Tara gr.	16.6	18.07	17.31	22.06	22.12	17.78
Peso Del Suelo Seco gr.	103.5	96.5	87.09	97.87	109.83	118.15
% Humedad W %	7.00	6.21	9.65	8.99	5.95	4.72
Densidad Del Suelo Seco gr/cm3	2.012	2.027	2.027	2.040	2.149	2.174
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm3	2.019		2.034		2.161	

EXPANSION

HORA	FECHA	TIEMPO (hrs)	EXPANSION								
			DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION		
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
13:00:00	25/02/2018	0	2.620	0.000	0.000	12.010	0.000	0.000	4.870	0.000	0.000
12:00:00	25/02/2018	23°00'0"	2.110	-0.710	-0.615	12.370	0.360	0.310	4.940	0.270	0.234
11:00:00	25/02/2018	90°00'0"	2.080	-0.420	-0.362	12.580	0.370	0.319	4.970	0.300	0.260

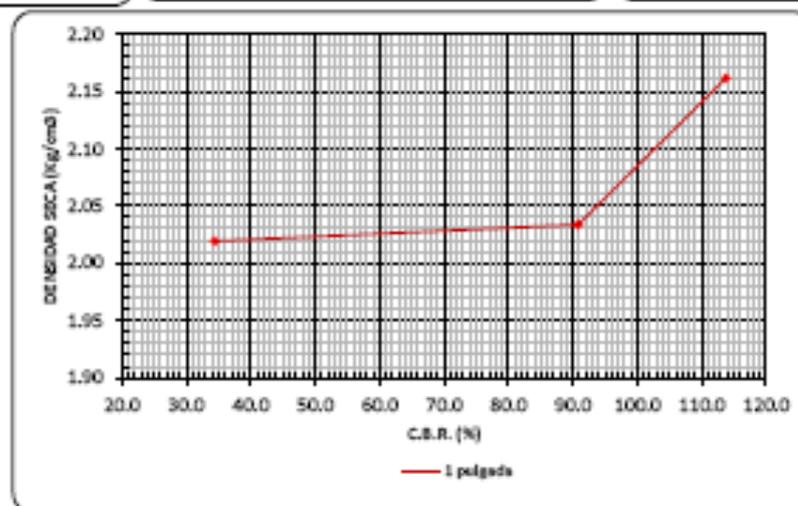
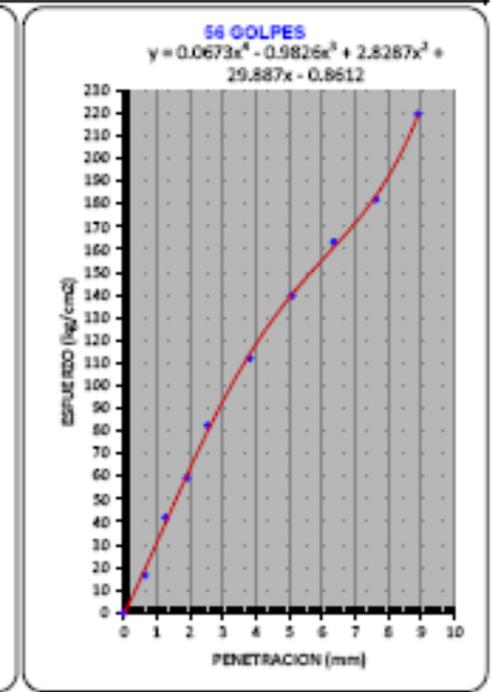
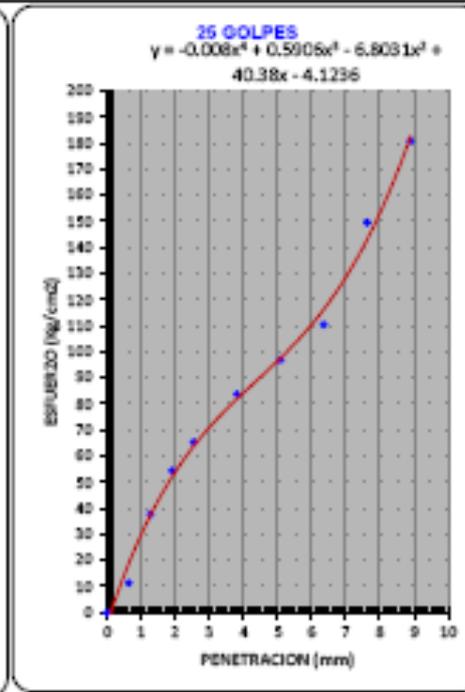
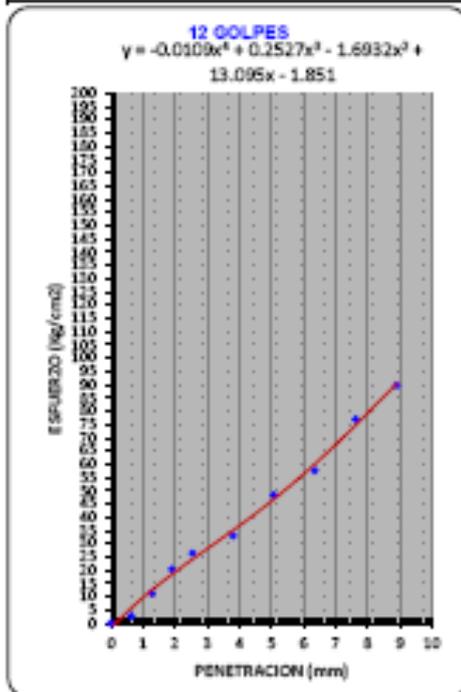
PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (Kscm2)	Molde IF				Molde R-10				Molde 2F			
				Dial (RN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (RN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (RN)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.53	54.0	2.7525		2.18	222.3	11.322		3.18	324.27	16.51	
	01:00	1.272		2.19	223.3	11.373		7.28	742.4	37.808		8.08	823.93	41.98	
	01:30	1.905		3.93	400.7	20.41		10.48	1068.7	54.427		11.41	1163.5	59.28	
	02:00	2.544	70.41	5.10	520.1	26.486	24.2084	12.88	1282.8	65.333	63.983	15.88	1619.3	82.47	80.119
• Diametro (cm): 5	03:00	3.218		6.37	649.6	33.082		16.13	1644.8	83.769		21.38	2198.5	111.97	
	04:00	5.038	105.10	9.30	948.3	48.298	46.9232	18.67	1903.8	96.98	97.643	28.89	2742	139.86	140.11
	05:00	6.360		11.10	1131.9	57.848		21.25	2186.9	110.36		31.45	3207	163.33	
	06:50	7.632		14.83	1512.2	77.018		28.78	2906.8	149.52		38.06	3876.1	192.08	
	08:50	8.904		17.20	1783.1	89.793		34.94	3562.7	180.94		42.28	4309.3	219.47	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS					
ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56		
Densidad Seca Prom. (Kg/cm ³):	2.019	2.034	2.161		
Penetracion : 1"	34.382	90.843	113.790		
• Metodo De Compactacion : Metodo : "C"	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL	
		Humedad Optima :	7.55%	Penetracion:	1"
• Velocidad De Penetracion (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm ³):	2.15	100% MDS	113.8%
		95% De La MDS :	2.043	95% MDS	95.5%

GRAFICA





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES**



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883; MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TECISTA: ANSELMO NUÑEZ CONDOIS
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N°: C1- MALLA A 0 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%	FECHA: 1 de marzo de 2018
		CERTIFICADO :

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	• SUCS : GW-GC • AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	• HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % • DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	1-MN	2-MN	3-MN
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	68
Diametro Del Molde cm	15.2	15.2	15.2
Altura Del Molde cm	17.75	17.75	17.75
Altura Del Disco Espaciador cm	6.15	6.15	6.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA		SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10021		10075		10334	
Peso Molde	gr.	5482.5		5480		5487	
Peso Del Suelo Humedo	gr.	4538.5		4595		4847	
Volumen Del Suelo	cm3	2104.92		2104.92		2104.92	
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm3	2.15		2.18		2.30	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO		2.16		2.18		2.30	
TARA N°		T-1	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	126.86	147.74	137.75	137.06	143.48	138.52
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	118.295	140.04	128.31	128.67	136.82	131.5
Peso de Agua	gr.	8.385	7.7	8.44	8.39	6.64	7.02
Peso De Tara	gr.	16.48	16.02	17.25	23.41	20.1	22.1
Peso Del Suelo Seco	gr.	101.815	123.22	112.06	105.26	116.72	109.4
% Humedad	W %	8.22	6.25	7.53	7.97	5.69	6.42
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm3	1.992	2.029	2.030	2.022	2.179	2.164
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO		2.011		2.026		2.171	

EXPANSION

MOLDE NUMERO :			1-MN		2-MN		3-MN				
NUMERO DE GOLPES :			12		25		68				
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			116		116		116				
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	EXPANSION		EXPANSION		EXPANSION				
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
13:00:00	01/03/2018	0	18.240	0.000	0.000	18.570	0.000	0.000	8.470	0.000	0.000
12:30:00	02/03/2018	23'30"0"	18.270	0.030	0.028	17.980	-0.590	-0.509	8.510	0.040	0.034
10:30:00	03/03/2018	49'00"0"	18.210	-0.030	-0.026	17.140	-1.430	-1.233	8.580	0.110	0.095
11:30:00	04/03/2018	71'00"0"	18.200	-0.040	-0.034	17.200	-1.370	-1.161	8.560	0.120	0.103

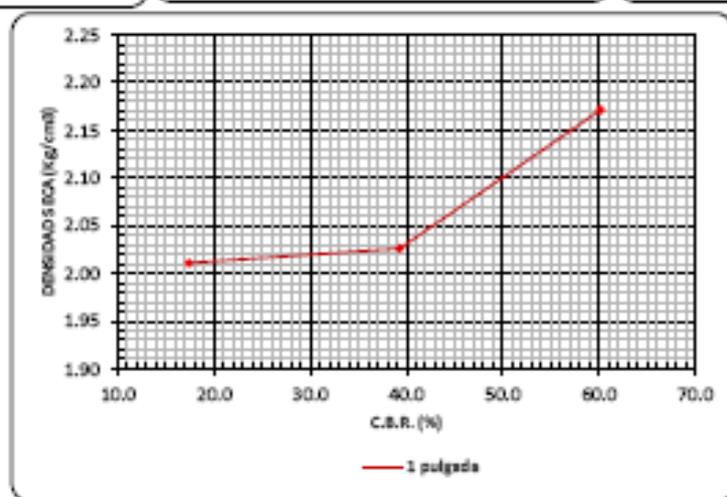
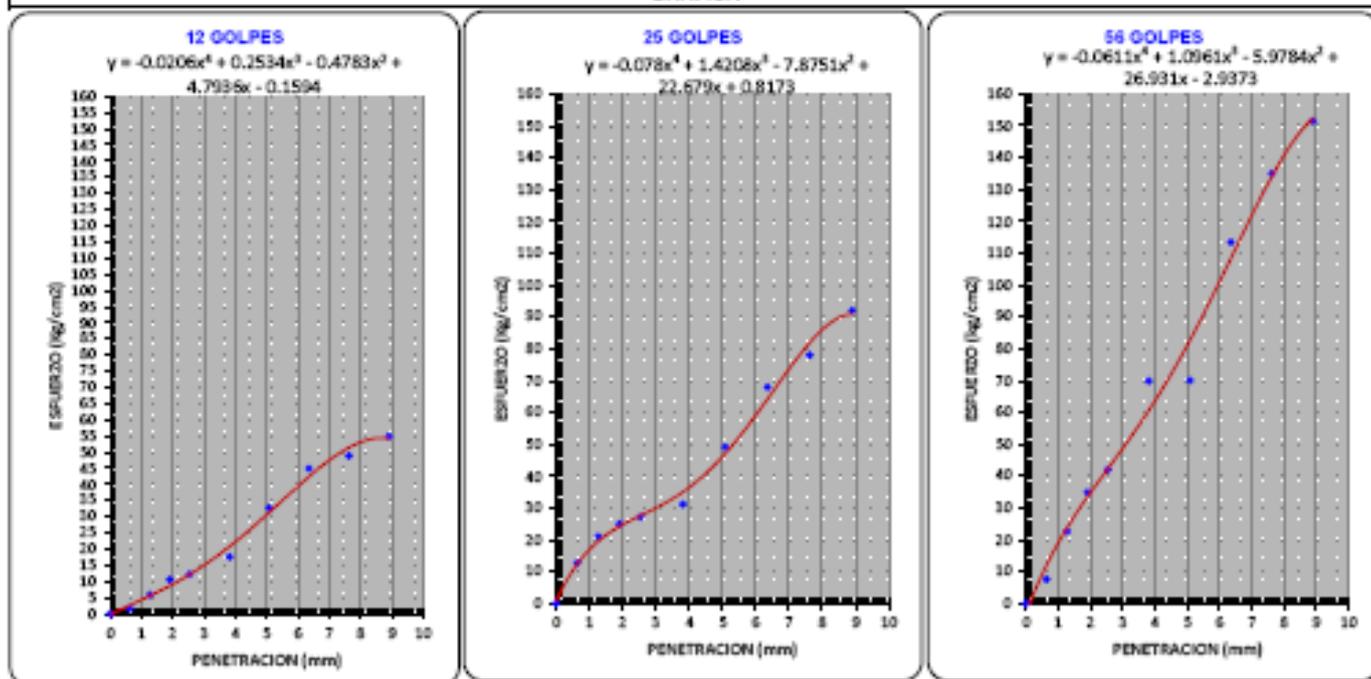
PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (Kg/cm2)	Molde 1-MN				Molde 2-MN				Molde 3-MN			
				Dial (RH)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (RH)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (RH)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Piston: • Diametro (cm): 5 • Area (cm2): 19.63	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.636		0.33	33.7	1.7138		2.45	249.8	12.724		1.45	147.88	7.53	
	01:00	1.272		1.15	117.3	5.9724		4.05	413.0	21.033		4.35	443.56	22.59	
	01:30	1.908		2.04	205.0	10.594		4.81	490.5	24.96		6.72	685.25	34.90	
	02:00	2.544	70.41	2.37	241.7	12.308	12.2493	5.24	534.3	27.213	27.671	8.10	825.97	42.07	42.371
	03:00	3.816		3.39	345.7	17.808		6.01	612.8	31.212		13.45	1371.5	69.85	
	04:00	5.088	105.10	5.30	642.4	32.718	31.4198	9.47	965.7	49.181	47.209	13.48	1375.6	70.06	82.747
	05:00	6.360		8.66	883.1	44.975		13.08	1333.8	67.929		21.84	2227.1	113.42	
	06:50	7.632		8.42	980.6	48.922		15.03	1532.6	78.056		26.01	2652.3	136.08	
	08:00	10.160		10.57	1077.8	54.594		17.72	1806.9	92.027		28.18	2875.5	151.54	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS					
ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56		
Densidad Seca Prom. (Kg/cm3) :	2.011	2.006	2.171		
Penetracion : 1"	17.397	39.300	60.177		
• Metodo De Compactacion :	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL	
	Metodo : "C"	Humedad Optima :	7.85%	Penetracion:	1"
• Velocidad De Penetracion (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm3):	2.15	100% MDS	60.2%
		95% De La MDS :	2.043	95% MDS	44.5%
				M.D.S. (kg/cm3):	2.171
					2.063

GRAFICA





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES**



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESTISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	C2- MALLA A 2.5cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+000 EN 35%	FECHA :	1 de marzo de 2016
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	* SUCS : GW-GC * AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	* HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % * DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	1-II	1-I	IK
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	25	56
Diametro Del Molde	cm	15.15	15.2
Altura Del Molde	cm	17.75	17.75
Altura Del Disco Espaciador	cm	6.15	6.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10286	10176	10298.5			
Peso Molde	gr.	5734	5511	5439			
Peso Del Suelo Humedo	gr.	4562	4665	4859.5			
Volumen Del Suelo	cm3	2091.09	2062.06	2104.92			
Densidad Del Suelo Humedo	gr/cm3	2.18	2.24	2.31			
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO	gr/cm3	2.18		2.24		2.31	
TARA N°		A-02	A-01	A-04	J-5	N-1	J-4
Peso Del Suelo Humedo + Tara	gr.	118.34	116.15	128.93	123.02	107.38	108.58
Peso Del Suelo Seco + Tara	gr.	112.81	106.78	118.185	113.53	102.59	102.82
Peso de Agua	gr.	6.13	7.39	8.775	9.49	4.77	5.74
Peso De Tara	gr.	28.79	24.15	20.615	18.99	17.43	16.41
Peso Del Suelo Seco	gr.	88.02	84.61	97.54	93.54	85.18	88.41
% Humedad	W %	7.13	8.73	9.00	10.15	5.60	6.64
Densidad Del Suelo Seco	gr/cm3	2.057	2.006	2.058	2.034	2.188	2.185
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO	gr/cm3	2.021		2.045		2.176	

EXPANSION

HORA	FECHA	TIEMPO (hrs)	EXPANSION								
			DIAL		EXPANSION		DIAL		EXPANSION		
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
13:00:00	01/03/2016	0	17.480	0.000	0.000	7.330	0.000	0.000	14.530	0.000	0.000
12:30:00	02/03/2016	23°30'0"	17.630	0.140	0.121	7.140	-0.790	-0.684	13.450	-1.050	-0.905
10:30:00	03/03/2016	46°00'0"	17.730	0.290	0.250	6.410	-1.520	-1.316	13.440	-1.060	-0.914
11:30:00	04/03/2016	71°00'0"	17.810	0.150	0.129	6.320	-1.010	-0.874	13.440	-1.060	-0.914

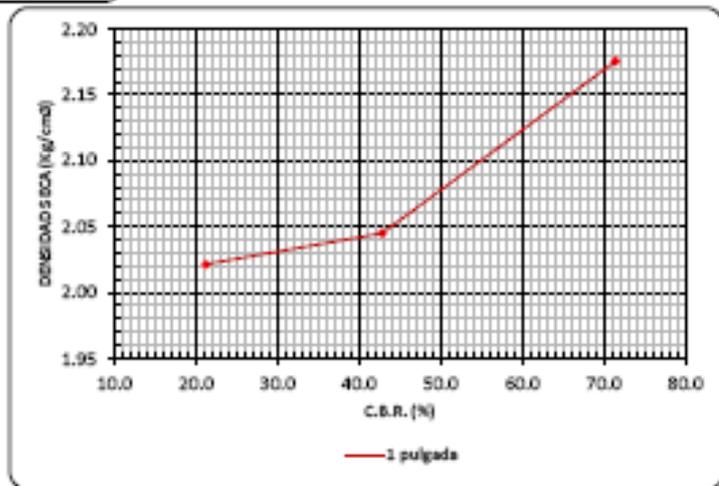
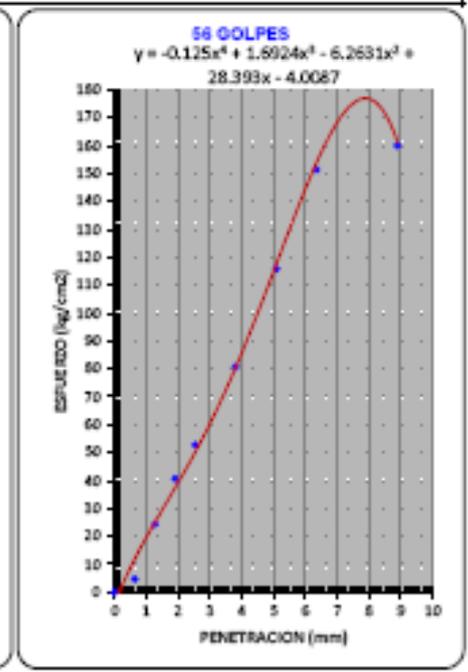
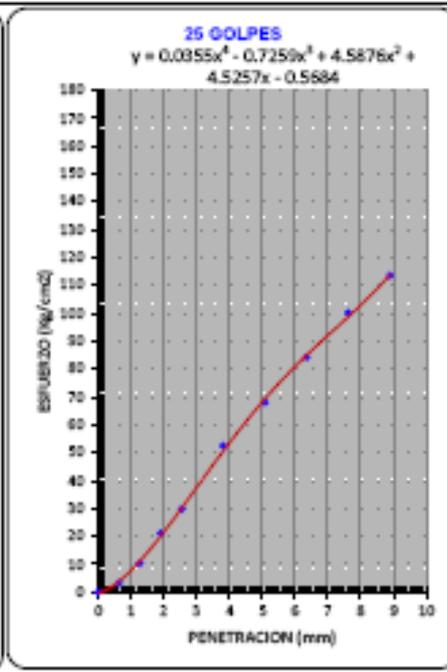
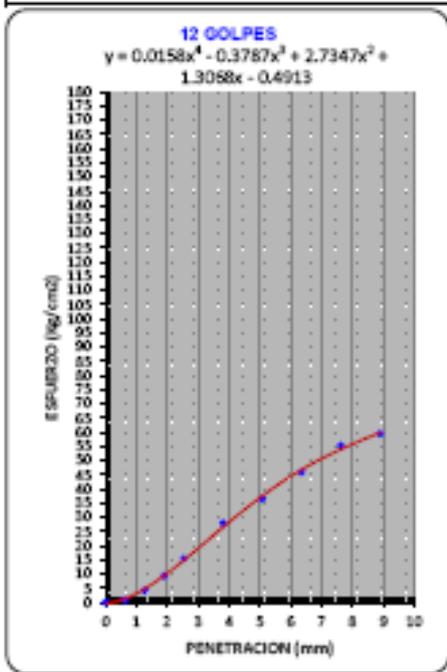
PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (kg/cm2)	Molde 1-II				Molde 1-I				Molde IK			
				Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Consec.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Consec.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Consec.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.19	17.8	0.9088		0.85	86.3	3.3757		0.90	91.774	4.87	
	01:00	1.272		0.82	83.1	4.2328		2.00	203.4	10.361		4.70	479.27	24.41	
	01:30	1.908		1.81	184.8	9.4		4.05	413.0	21.033		7.82	797.42	40.61	
	02:00	2.544	70.41	2.98	303.4	15.45	14.9587	5.73	583.8	29.732	30.171	10.16	1036	52.76	50.318
• Diametro (cm): 5	03:00	3.818		5.39	549.1	27.968		10.10	1029.9	52.453		15.55	1585.7	80.78	
	04:00	5.088	105.10	7.04	717.4	36.535	37.6656	13.10	1335.8	66.033	69.329	22.31	2274.5	115.84	117.48
	05:00	6.360		8.05	902.4	45.961		16.22	1654.0	84.236		28.14	2971.5	151.33	
	06:00	7.632		10.66	1067.0	55.361		19.28	1966.5	100.15		34.87	3536.4	180.06	
	06:50	8.904		11.47	1189.1	59.542		21.87	2229.6	113.55		39.82	3142.3	180.03	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS					
ENSAYO CBR (Número De Golpes):	12	25	56		
Densidad Seca Prom. (kg/cm ³):	2.021	2.045	2.178		
Penetración : 1"	21.245	42.850	71.454		
• Método De Compactación:	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL	
	Método : "C"	Humedad Óptima :	7.85%	Penetración:	1"
• Velocidad De Penetración (mm/min):	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm ³):	2.15	100% MDS	71.5%
		95% De La MDS :	2.043	95% MDS	47.0%
				M.D.S. (kg/cm ³):	2.178
					2.067

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883, MTC E-132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

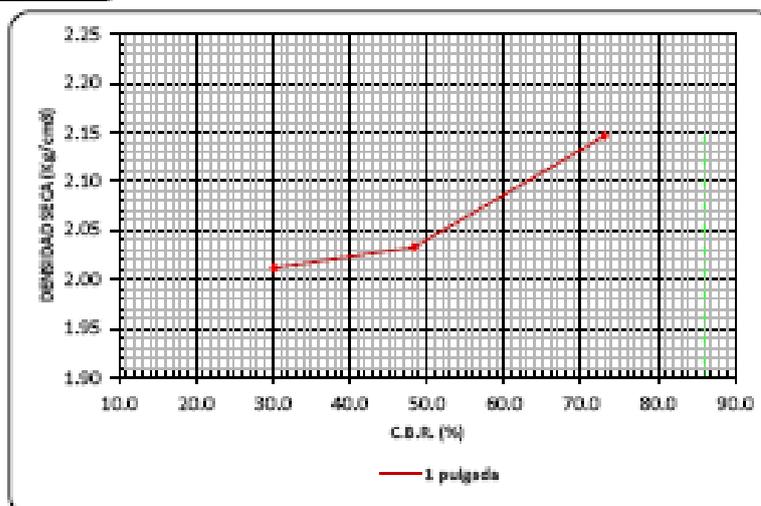
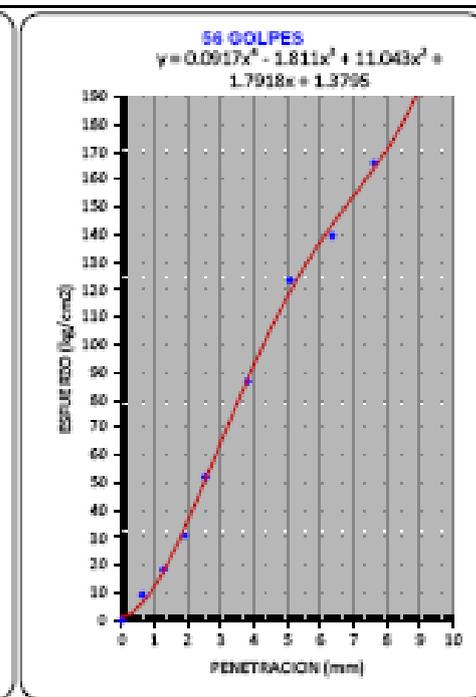
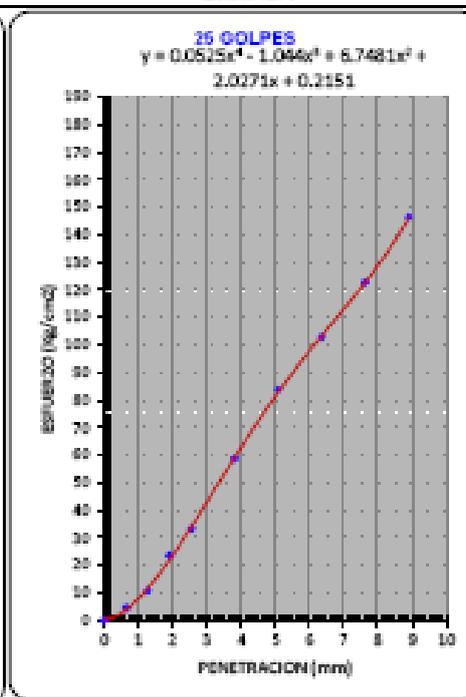
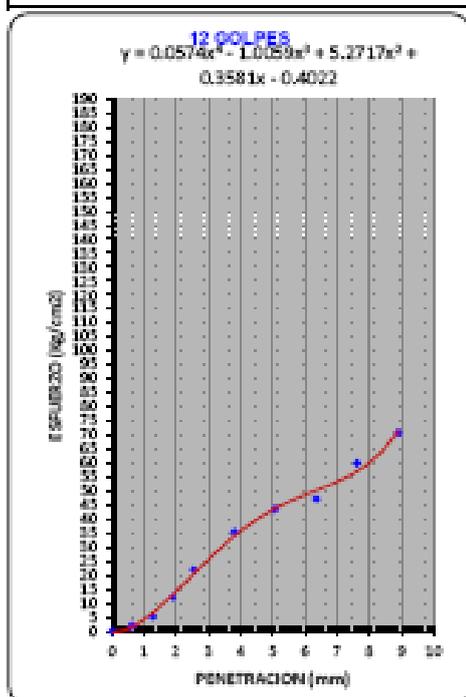
PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS		TESTISTA : ANSELMO NUÑEZ CONDORI												
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE		ENSAYO N° : C3.- MALLA A 5 cm												
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOULLO Km. 49+000 EN 35%		FECHA : 2 de marzo de 2016												
		CERTIFICADO :													
DATOS PARA EL ENSAYO															
CLASIFICACION :	+ SUCS : GW-GC + AASTHO: A-1-a		DATOS PROCTOR:	+ HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % + DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm ³)											
MOLDE NUMERO :	H1	H2	H3												
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6												
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	26	58												
Diametro Del Molde cm	15.25	15.2	15.2												
Altura Del Molde cm	17.75	17.75	17.75												
Altura Del Disco Especificador cm	6.15	6.15	6.15												
DENSIDAD															
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO									
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	11760	12550	12900	12900	12900	12900									
Peso Molde gr.	7275	7867	7764	7764	7764	7764									
Peso Del Suelo Humedo gr.	4484	4683	4845	4845	4845	4845									
Volumen Del Suelo cm ³	2118.79	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92									
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm ³	2.12	2.22	2.22	2.22	2.30	2.30									
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm ³	2.12		2.22		2.30										
TARA N°	M-2	N-1	A-1	A-3	B-4	B-1									
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	118.53	115.31	112.58	121.82	117.72	110.88									
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	113.54	108.24	103.65	113.88	108.29	105.19									
Peso de Agua gr.	4.99	5.07	8.93	8.14	8.43	5.47									
Peso De Tara gr.	17.95	17.95	16.89	16.9	12.94	12.17									
Peso Del Suelo Seco gr.	95.59	90.39	86.76	94.76	97.25	93.02									
% Humedad W %	5.22	5.61	10.29	8.59	8.67	5.88									
Densidad Del Suelo Seco gr/cm ³	2.016	2.008	2.017	2.049	2.118	2.174									
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm ³	2.012		2.033		2.146										
EXPANSION															
MOLDE NUMERO :	H1		H2		H3										
NUMERO DE GOLPES :	12		26		58										
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):	118		118		118										
HORA	FECHA	TIEMPO (Hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION					
				mm	%		mm	%		mm	%				
10:00:00	02/03/2016	0	16.200	0.000	0.000	5.490	0.000	0.000	3.550	0.000	0.000				
11:00:00	03/03/2016	25°00'0"	10.130	-6.070	-5.233	5.380	-0.130	-0.112	3.080	-0.410	-0.353				
11:00:00	04/03/2016	49°00'0"	10.180	-8.040	-6.207	5.370	-0.120	-0.103	3.080	-0.420	-0.362				
11:30:00	05/03/2016	73°30'0"	10.090	-8.110	-6.267	5.380	-0.100	-0.086	3.100	-0.400	-0.345				
PENETRACION															
standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (ton2)	Molde H1				Molde H2				Molde H3			
				Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Correc.
Del Piston: • Diametro (cm): 5 • Area (cm ²): 19.63	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.39	39.5	2.0254		0.69	69.2	4.5442		1.00	100.04	9.32	
	01:00	1.272		1.02	104.0	5.2972		2.09	211.6	10.778		3.56	353.02	18.49	
	01:30	1.908		2.33	237.1	12.075		4.53	451.4	23.5		5.93	594.69	30.80	
	02:00	2.544	70.41	4.28	433.9	22.098	21.2738	6.40	652.6	33.238	34.055	10.01	1000.7	51.99	51.431
	03:00	3.816		6.93	696.0	35.445		11.21	1153.3	58.737		16.72	1704.5	86.81	
	04:00	5.088	105.10	8.40	856.1	43.598	44.6707	16.15	1646.8	83.873	82.894	23.75	2421.3	123.32	119.29
	05:00	6.360		9.11	928.5	47.296		18.84	2022.6	103.01		26.86	2738.4	139.47	
	06:00	7.632		11.56	1178.8	60.035		23.83	2409.6	122.72		31.96	3258.5	165.95	
06:50	8.904		13.66	1392.4	70.915		28.19	2874.1	146.38		36.85	3736.5	190.51		
08:00	10.180														
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS

ENSAYO CBR (Numero De Golpes):	12	25	56
Densidad Seca Prom. (Kg/cm ³):	2.012	2.033	2.148
Penetración : 1"	30.214	48.367	73.045
• Metodo De Compactacion:	ASTM D-1557	PROCTOR	
	Metodo : "C"	Humedad Optima : 7.85%	Penetración: 1"
• Velocidad De Penetración (mm/min) :	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm ³): 2.15	100% MDS 73.0%
		95% De La MDS : 2.043	95% MDS 59.5%
			M.D.S. (kg/cm ³): 2.148
			2.030

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



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

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D -1883, MTC E -132; NTP 330.145)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESISTA : ANSELMO NUÑEZ CONDORI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° : C6.- MALLA A 7.5 cm
CANTERA :	MATERIAL PROMO 65% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 46+935 EN 35%	FECHA : 2 de marzo de 2016
		CERTIFICADO :

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	+ SUCS : GW-OC + AASTHO: A-1-a	DATOS PROCTOR:	+ HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % + DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (gr/cm3)
MOLDE NUMERO :	K1	M-1	8%
NUMERO DE CAPAS :	6	6	6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12	26	68
Diametro Del Molde cm	15.2	15.26	16.2
Altura Del Molde cm	17.75	17.76	17.8
Altura Del Disco Espaciador cm	6.15	6.16	6.16

DENSIDAD

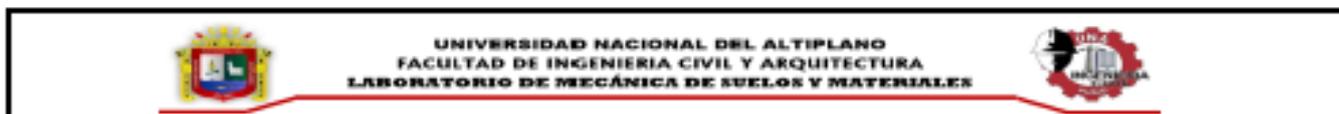
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	11799		11941		12005	
Peso Molde gr.	7288		7282		7212	
Peso Del Suelo Humedo gr.	4511		4659		4793	
Volumen Del Suelo cm3	2104.92		2118.79		2077.70	
Densidad Del Suelo Humedo gr/cm3	2.14		2.19		2.31	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO gr/cm3	2.14		2.19		2.31	
TARA N°	R-02	R-01	F-1	F-2	F-3	F-4
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	114.77	114.47	116.1	120.22	113	112.4
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	107.8	108.58	111.62	112.28	105.72	107.14
Peso de Agua gr.	6.97	4.91	7.48	7.94	7.28	5.26
Peso De Tara gr.	26.11	21.005	21.32	16.62	16.31	17.54
Peso Del Suelo Seco gr.	87.69	88.475	89.7	95.66	88.91	89.6
% Humedad W%	7.95	5.55	8.34	8.46	8.19	5.87
Densidad Del Suelo Seco gr/cm3	1.985	2.030	2.025	2.023	2.132	2.179
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO gr/cm3	2.038		2.024		2.158	

EXPANSION

MOLDE NUMERO - NUMERO DE GOLPES :			K1		M-1		8%				
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			12		25		56				
			116		116		114.5				
HORA	FECHA	TIEMPO (hrs)	DIAL			DIAL			DIAL		
			EXPANSION			EXPANSION			EXPANSION		
			mm %			mm %			mm %		
10:00:00	02/03/2016	0	3.630	0.000	0.000	4.530	0.000	0.000	11.410	0.000	0.000
11:00:00	03/03/2016	25'00"0"	3.510	-0.180	-0.155	4.650	0.070	0.060	11.310	-0.100	-0.087
11:00:00	04/03/2016	49'00"0"	3.430	-0.200	-0.172	4.640	0.060	0.052	11.300	-0.110	-0.096

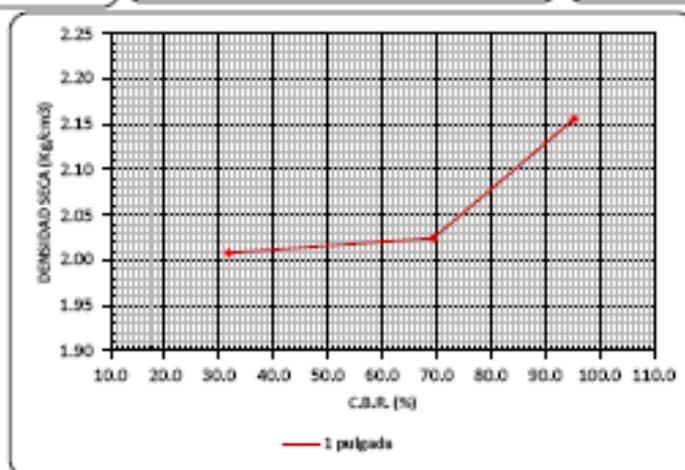
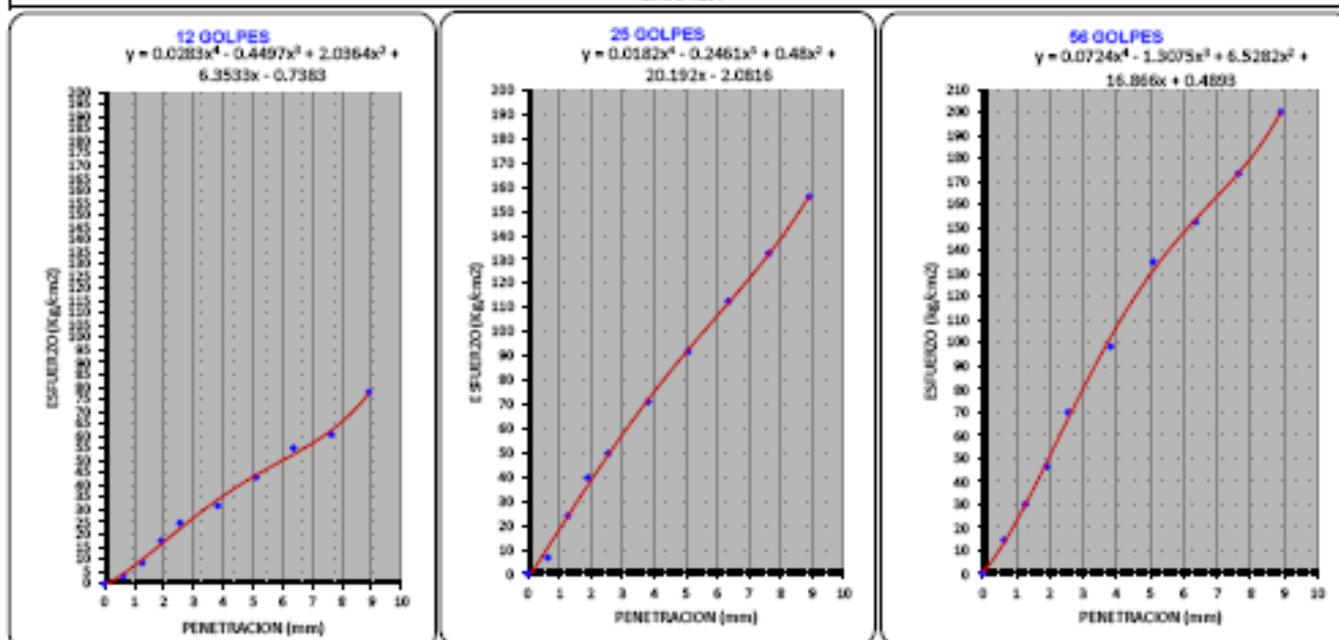
PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (Kg/cm2)	Molde K1				Molde M-1				Molde 8%			
				Dial (00)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (00)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (00)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Píeton:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.636		8.56	56.6	2.6623		1.28	130.5	6.6475		2.73	263.48	14.44	
	01:00	1.272		1.62	185.2	8.4133		4.59	488.0	23.838		5.93	591.44	30.12	
	01:30	1.908		3.36	342.6	17.45		7.63	778.0	39.625		8.96	913.16	46.51	
	02:00	2.544	70.41	4.74	483.3	24.617	22.3852	9.57	975.4	48.675	46.858	13.48	1375.1	70.03	67.14
• Diametro (cm) : 5	03:00	3.816		6.10	822.0	31.88		13.69	1396.0	71.097		19.30	1937	96.85	
	04:00	5.088	105.10	8.35	851.5	43.365	44.036	17.72	1806.4	92.001	90.801	26.85	2685.9	135.28	131.47
	05:00	6.360		10.61	1061.4	55.076		21.69	2211.3	112.62		29.39	2996.9	152.63	
	05:50	7.632		11.76	1193.1	60.762		25.52	2601.6	132.91		33.45	3410.4	173.69	
	06:50	8.904		14.36	1527.0	77.771		36.02	3601.2	155.91		38.60	3906.1	200.46	
FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621											



RESULTADOS					
ENSAYO CBR (Numero De Golpes) :	12	25	56		
Densidad Seca Prom. (Kg/cm3) :	2.008	2.024	2.156		
Penetracion : 1"	31.793	69.591	95.349		
* Metodo De Compactacion :	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL	
	Metodo : "C"	Humedad Optima :	7.85%	Penetracion: 1"	M.D.S. (kg/cm3):
		Max. Dens. Seca (kg/cm3):	2.15	100% MDS	2.156
* Velocidad De Penetracion (mm/min) :	1.27	95% De La MDS :	2.043	95% MDS	2.046

GRAFICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

(NORMA AASHTO T-193; ASTM D-1883; MTC E -132; NTP 339.145)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

PROY :	OPTIMIZACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACION DE GEOSINTETICOS	TESTISTA :	ANSELMO NUÑEZ CONDOMI
MATERIAL:	MATERIAL DE SUBBASE	ENSAYO N° :	CS.- MALLA A 10 cm
CANTERA :	MATERIAL PROPIO 85% CON CANTERA MOROCOLLO Km. 48+003 EN 35%	FECHA :	2 de marzo de 2016
		CERTIFICADO :	

DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION :	• SUCS : GW-GC • AASTHO : A-1-a	DATOS PROCTOR:	• HUMEDAD OPTIMA: 7.85 % • DENSIDAD MAXIMA: 2.15 (g/cm3)
MOLDE NUMERO :	A	NUMERO :	B
NUMERO DE CAPAS :	6		6
NUMERO DE GOLPES POR CAPAS :	12		25
Diametro Del Molde cm	15.2		15.2
Altura Del Molde cm	17.7		17.75
Altura Del Disco Especlador cm	6.15		6.15

DENSIDAD

CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Peso Suelo Humedo + Molde gr.	11880		11552		12111	
Peso Molde gr.	7369		6887		7274	
Peso Del Suelo Humedo gr.	4530		4665		4837	
Volamen Del Suelo cm3	2095.84		2104.92		2104.92	
Densidad Del Suelo Humedo g/cm3	2.16		2.22		2.30	
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO PROMEDIO g/cm3	2.16		2.22		2.30	
TARA N°	T-122	T-17	M-2	T-1	M-80	B-3
Peso Del Suelo Humedo + Tara gr.	110.75	111.07	118.37	120.19	124.3	118.36
Peso Del Suelo Seco + Tara gr.	104.73	105.25	110.34	112.36	117.31	114.32
Peso de Agua gr.	6.02	5.82	8.03	7.83	6.99	5.04
Peso De Tara gr.	16.8	17.89	17.22	20.38	18.86	17.3
Peso Del Suelo Seco gr.	87.93	87.56	93.12	92.01	99.05	97.02
% Humedad W %	6.85	6.65	8.62	8.51	6.45	5.19
Densidad Del Suelo Seco g/cm3	2.023	2.027	2.040	2.042	2.159	2.184
DENSIDAD DEL SUELO SECO PROMEDIO g/cm3	2.025		2.041		2.172	

EXPANCIÓN

MOLDE NUMERO :			A		B		C	
NUMERO DE GOLPES :			12		25		56	
ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA (mm):			115.5		118		118	
HORA	FECHA	TIEMPO (hrs)	EXPANCIÓN		EXPANCIÓN		EXPANCIÓN	
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
10:00:00	02/03/2016	0	18.210	0.000	0.000	11.810	0.000	0.000
10:05:00	02/03/2016	90°05"	18.209	-0.010	-0.009	11.710	-0.100	-0.086

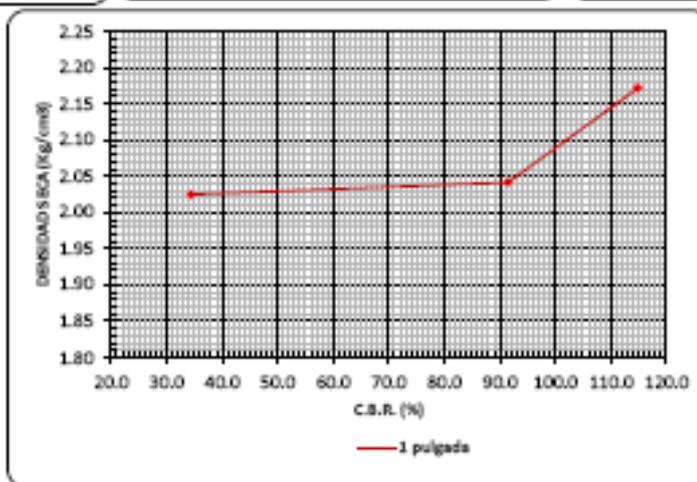
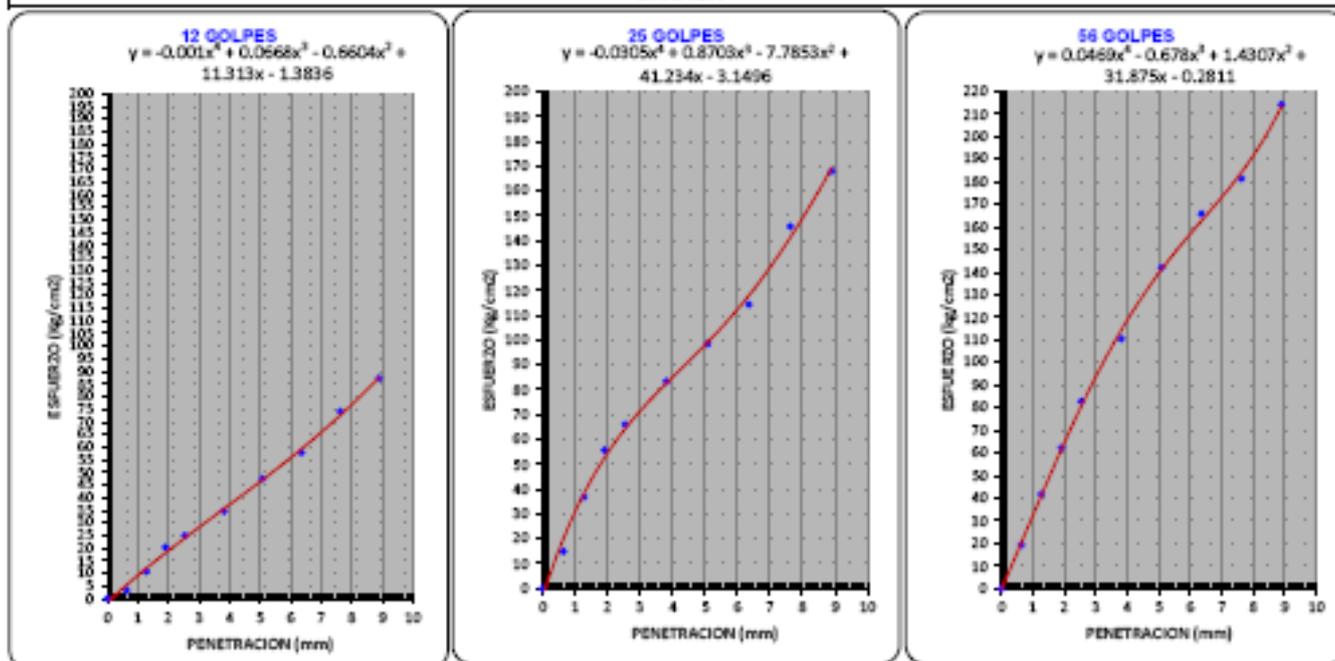
PENETRACION

standard	Tiempo (seg.)	Penetracion (mm)	Esfuerzo Patron (Kg/cm2)	Molde A				Molde B				Molde C			
				Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Correc.
Del Piston:	0	0.000		0.00	0.0	0		0.00	0.0	0		0.00	0	0.00	
	00:30	0.638		0.64	85.3	3.3238		2.89	293.2	14.931		3.71	378.31	19.27	
	01:30	1.272		2.08	212.1	10.802		7.10	724.0	36.873		8.03	818.83	41.70	
	01:30	1.908		3.93	400.7	20.41		10.73	1094.2	55.725		11.98	1221.1	62.19	
	02:30	2.544	70.41	4.83	492.5	25.084	24.1806	12.73	1297.6	66.098	64.415	15.96	1627.5	82.89	80.87
• Diametro (cm): 5	03:30	3.818		6.89	682.2	34.744		16.96	1837.7	93.406		21.27	2181.9	110.46	
	04:30	5.088	105.10	8.16	934.1	47.571	47.2092	18.94	1931.3	98.362	99.296	27.34	2787.9	141.99	141.08
	06:00	6.360		11.16	1137.5	57.932		22.03	2248.4	114.41		31.93	3255.4	168.90	
	06:50	7.632		14.29	1456.7	74.187		28.07	2881.8	145.75		34.93	3581.9	181.40	
	08:50	8.904		16.81	1713.6	87.275		32.36	3299.3	168.03		41.34	4204.8	214.15	
• Area (cm2): 19.63	06:00	10.160													
	FACTOR DE CONVERSION DE "KN" A "Kg" =				101.971621										



RESULTADOS					
ENSAYO CBR (Numero De Golpes):	12	25	56		
Densidad Seca Prom. (kg/cm ³):	2.025	2.041	2.172		
Penetracion : 1"	34.343	91.488	114.855		
* Metodo De Compactacion:	ASTM D-1557	PROCTOR		CBR FINAL	
	Metodo : "C"	Humedad Optima :	7.55%	Penetracion:	1"
* Velocidad De Penetracion (mm/min):	1.27	Max. Dens. Seca (kg/cm ³):	2.15	100% MDS	114.9%
		95% De La MDS :	2.043	95% MDS	95.0%
				M.D.S. (kg/cm ³):	2.172
					2.063

GRAFICA





ANEXO 02: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOMALLAS EGB.

MACCAFERRI**1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA
GEOMALLA BIAJIAL EXTRUIDA MACGRID EGB.**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GEOMALLA BIAJIAL EXTRUIDA MACGRID EGB.

1.0 MATERIALES.

El material para refuerzo será una geomalla biaxial extruida de polipropileno, con resistencia a la tracción longitudinal y transversal, indicada para refuerzo y estabilización de suelos.

La geomalla debe ser químicamente inerte, debe ofrecer una gran resistencia a la degradación causada por los rayos ultravioleta, y una óptima interacción en todo tipo de terreno.

2.0 MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN.

Las geomallas extruidas deberán ser provistas en rollos embalados en bolsas de polietileno. Dicho embalaje no deberá ser removido hasta el momento de la instalación. Los rollos de geomalla deberán ser almacenados en ambientes cubiertos, limpios y secos, en pilas no superiores a 3.0 metros de altura, y encima de ellos no deberá ser colocada ninguna sobrecarga. Debido a su peso, los rollos podrán necesitar de izaje mecánico para su traslado; en este caso se deberá realizar el movimiento con sumo cuidado, previniendo daños en el material.

Las geomallas extruidas deberán ser instaladas de acuerdo con las especificaciones del proyecto y los planos respectivos, en los cuales se deberá señalar el sentido de la instalación.

La geomalla deberá ser desenrollada por partes y en la dirección de instalación como se indica en los planos. La parte libre de la geomalla deberá ser fijada por estacas o pesos en la posición exacta prevista en el diseño. Se desenrolla entonces cuidadosamente la parte restante asegurándose que no se formen ondulaciones (no se deberá lanzar el relleno sobre la geomalla con ondulaciones). Cuando el material esté totalmente desenrollado, el final del rollo deberá ser estirado y fijado por estacas o pesos. Las geomallas adyacentes necesitan de traslapes laterales. El traslape deberá de ser como mínimo de 60cm.

MACCAFERRI
AMÉRICA LATINA

Maccaferri se reserva el derecho de revisar todas
especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las
características de los productos fabricados.

www.maccaferri.com.pe

Sistema de Gestión de Calidad
Certificado de Conformidad con la
norma ISO 9001:2008

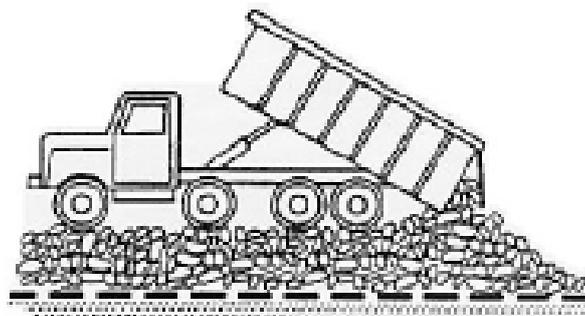
ISO 9001

MACCAFERRI

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GEOMALLA BIAXIAL EXTRUIDA MACGRID EGB.

Se deberá evitar en todo momento el contacto directo de los equipos mecánicos con las geomallas (vea figura 01), se debe de mantener un mínimo de 15cm de cobertura entre los neumáticos o las orugas y las geomallas.

Figura 01: Correcto colocado del material de cobertura y la Geomalla.



Fuente: Maccaferri.

Verificar que las propiedades del relleno satisfagan las especificaciones del proyecto y el drenaje sea adecuado en todas las etapas de la construcción. No trate de remover los hundimientos de los surcos de las ruedas, al contrario rellénelos con más material y compacte para regularizar la superficie antes de aplicar las capas asfálticas. Tal comportamiento mantendrá el estado de pretensado del refuerzo (vea figura 02).

Figura 02: Hundimiento de los surcos de las ruedas.



Fuente: Maccaferri.

3.0 CERTIFICACIÓN Y ACEPTACIÓN.

Para asegurar la calidad de la materia prima, los procesos del fabricante y el producto final, se deberá exigir que el proveedor, así como el fabricante del producto a instalarse, posean la Certificación ISO 9001:2000



Maccaferri se reserva el derecho de revisar todas las especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

www.maccaferri.com.pe

Empresa de Gestión de Calidad Certificada de Conformidad con la Norma ISO 9001:2000



MACCAFERRI

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GEOMALLA BIAXIAL EXTRUIDA MACGRID EGB.

Los materiales despachados a obra serán acompañados por un Certificado de Calidad original del fabricante.

4.0 MÉTODO DE MEDICIÓN.

La geomalla deberá ser medida en metros cuadrados (m²) contabilizados de las secciones indicadas en los planos y/o de las indicadas por escrito por la Supervisión.

5.0 BASES DE PAGO.

Las cantidades aceptadas de geomalla deberán ser pagadas al precio unitario por metro cuadrado indicado en el contrato.

6.0 ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS REFERENCIALES.

Tabla 01: Análisis de costos unitarios referenciales de geomalla EGB.

1.0.-	Geomalla Biaxial Extruida EGB					
	REND/día	UNIDAD				TOTAL (US\$ UNIDAD)
	1,000.00	m ²				0.00
1.- MANO DE OBRA						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
	Capataz	hh	0.50	0.004	0.00	0.00
	Operario	hh	1.00	0.008	0.00	0.00
	Oficial	hh	1.00	0.008	0.00	0.00
	Peón	hh	2.00	0.016	0.00	0.00
				Sub Total =		0.00
2.- MATERIALES						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
	Geomalla Biaxial Extruida EGB	m ²		1.05	0.00	0.00
				Sub Total =		0.00
3.- EQUIPOS						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
	Herramientas	%		3%	0.00	0.00
				Sub Total =		0.00

Fuente: Maccaferri.

Las características de la geomalla deberán ser conforme a las siguientes hojas técnicas:



Maccaferri se reserva el derecho de tener estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

www.maccaferri.com.pe

Sistema de Gestión de Calidad
Certificado de Conformidad con la Norma ISO 9001:2008

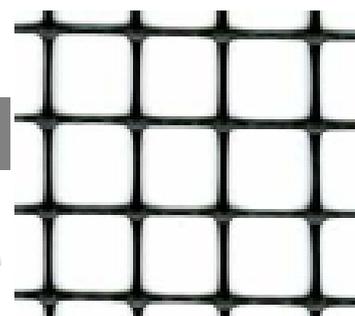


MacGrid® EGB 20

Geomalla Biaxial Extruida

Características técnicas

MacGrid® EGB 20 es una geomalla biaxial extruida de polipropileno, indicada para refuerzo y estabilización de suelos.



Propiedades Físicas	Unidades	Ensayo	EGB 20
Abertura nominal de la malla longitudinal (MD) ⁽¹⁾	mm		38
Abertura nominal de la malla transversal (TD) ⁽¹⁾	mm		38
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Propiedades Mecánicas	Unidades	Ensayo	EGB 20
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	KN/m	ASTM D 6637	20.0
Resistencia transversal a la tracción (TD)	KN/m	ASTM D 6637	20.0
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6637	7.0
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6637	7.0
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6637	14.0
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6637	14.0
Eficiencia de las juntas	%	GRI GG2	93
Rigidez Flexural	mg-cm	ASTM D 1388	1,000,000
Espesor mínimo de la costilla Longitudinal (MD)	mm	ASTM D 1777	1.30
Espesor mínimo de la costilla Transversal (TD)	mm	ASTM D 1777	1.00
Estabilidad de las Aperturas	m-N/mg	COE Method	0.70

Presentación del Rollo	Unidades	Ensayo	EGB 20
Ancho del rollo	m		3.95
Largo del rollo	m		50

(1) La tolerancia de las dimensiones de la abertura es de ±2mm.

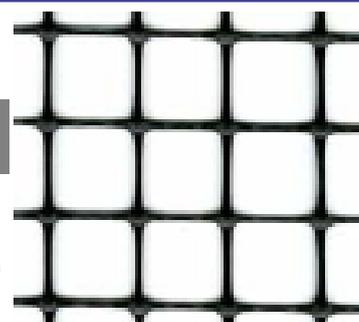
Las datos técnicos e informaciones indicadas en la presente Hoja Técnica están basados en la más reciente información disponible y pueden estar sujetos a variaciones, debido a modificaciones de los procesos productivos y de la política comercial.

MacGrid® EGB 30

Geomalla Biaxial Extruida

Características técnicas

MacGrid® EGB 30 es una geomalla biaxial extruida de polipropileno, indicada para refuerzo y estabilización de suelos.



Propiedades Físicas	Unidades	Ensayo	EGB 30
Abertura nominal de la malla longitudinal (MD) ⁽¹⁾	mm		38
Abertura nominal de la malla transversal (TD) ⁽¹⁾	mm		38
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Propiedades Mecánicas	Unidades	Ensayo	EGB 30
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	KN/m	ASTM D 6837	30.0
Resistencia transversal a la tracción (TD)	KN/m	ASTM D 6837	30.0
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6837	10.5
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6837	10.5
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6837	21.0
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6837	21.0
Eficiencia de las juntas	%	GRI G02	93
Rigidez Flexural	mg-cm	ASTM D 1358	3,500,000
Espesor mínimo de la costilla Longitudinal (MD)	mm	ASTM D 1777	2.00
Espesor mínimo de la costilla Transversal (TD)	mm	ASTM D 1777	1.50
Estabilidad de las Aberturas	m-Nidag	COE Method	1.40

Presentación del Rollo	Unidades	Ensayo	EGB 30
Ancho del rollo	m		3.95
Longitud del rollo	m		50

(1) La tolerancia de las dimensiones de la abertura es de ± 2mm.

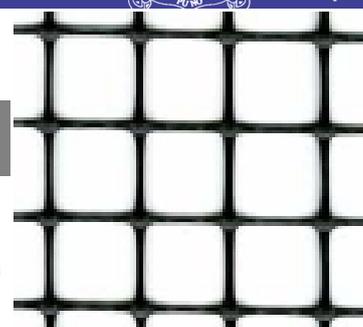
Los datos técnicos e informaciones indicadas en la presente Hoja Técnica están basados en la más reciente información disponible y pueden estar sujetos a variaciones, debido a modificaciones de los procesos productivos y de la política comercial.

MacGrid® EGB 40

Geomalla Biaxial Extruida

Características técnicas

MacGrid® EGB 40 es una geomalla biaxial extruida de polipropileno, indicada para refuerzo y estabilización de suelos.



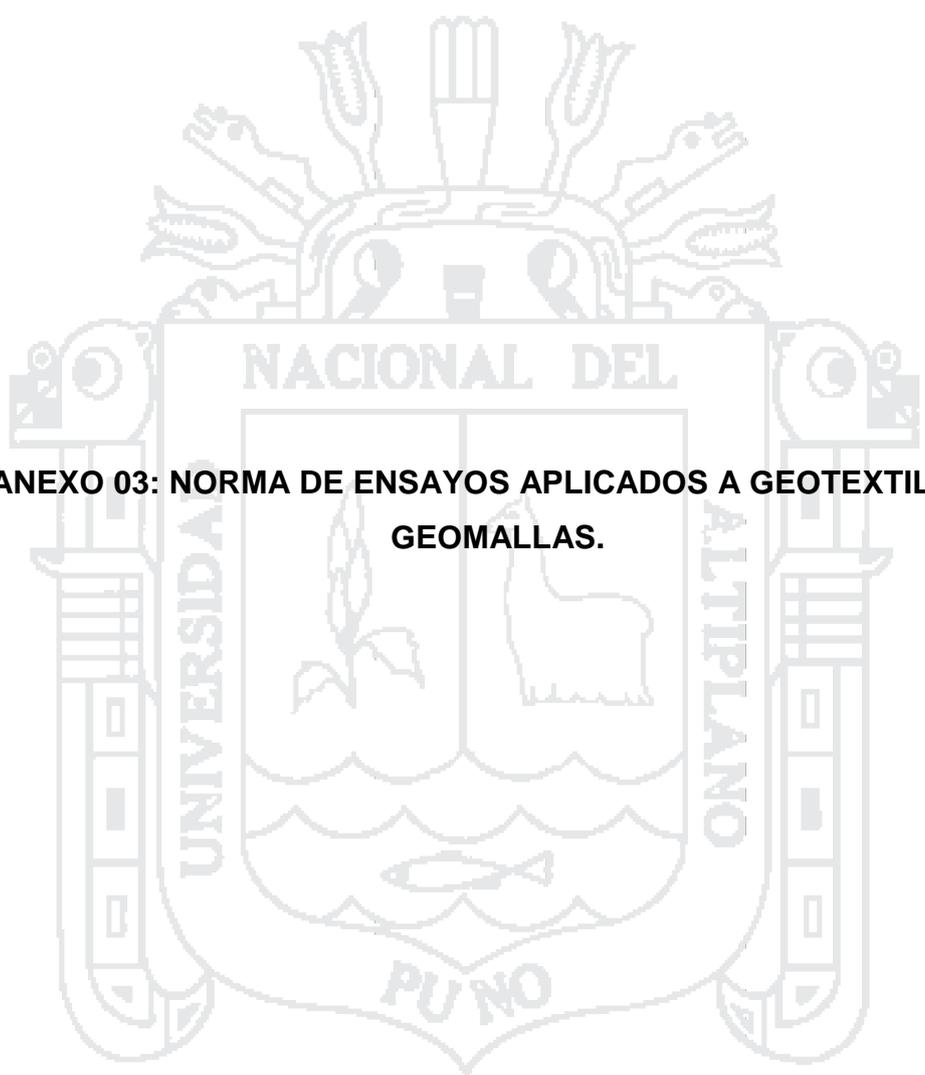
Propiedades Físicas	Unidades	Ensayo	EGB 40
Abertura nominal de la malla longitudinal (MD) ⁽¹⁾	mm		34
Abertura nominal de la malla transversal (TD) ⁽¹⁾	mm		38
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Propiedades Mecánicas	Unidades	Ensayo	EGB 40
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	KN/m	ASTM D 6837	40.0
Resistencia transversal a la tracción (TD)	KN/m	ASTM D 6837	40.0
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6837	14.0
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6837	14.0
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6837	28.0
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6837	28.0
Eficiencia de las juntas	%	GRI GG2	93
Rigidez Flexural	ng-cm	ASTM D 1388	10,000,000
Espesor mínimo de la costilla Longitudinal (MD)	mm	ASTM D 1777	2.60
Espesor mínimo de la costilla Transversal (TD)	mm	ASTM D 1777	1.60
Estabilidad de las Aperturas	m-N/kg	COE Method	2.10

Presentación del Rollo	Unidades	Ensayo	EGB 40
Ancho del rollo	m		3.05
Largo del rollo	m		50

(1) La tolerancia de las dimensiones de la abertura es de ±2mm.

Los datos técnicos e informaciones indicadas en la presente Hoja Técnica están basados en la más reciente información disponible y pueden estar sujetos a variaciones, debido a modificaciones de los procesos productivos y de la política comercial.



**ANEXO 03: NORMA DE ENSAYOS APLICADOS A GEOTEXILES Y
GEOMALLAS.**



II. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Para justificar el uso de un geotextil en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio, que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar.

Existen diferentes normativas dependiendo del país donde estas se apliquen, en este capítulo se hace referencia a las normas colombianas del INVIAS basadas en las normas dadas por la ASTM, organización fundada en 1898, sin fines de lucro que ofrece un foro mundial para el desarrollo y publicación de estándares de consenso voluntarios para materiales, productos, sistemas y servicios. En cada norma se explicara el concepto fundamental del ensayo, equipo utilizado y el procedimiento, con el fin de entender la importancia que tienen en las diferentes aplicaciones de los geotextiles.

Como complemento a los ensayos de laboratorio y en la búsqueda de una correcta utilización de los geosintéticos, en Latinoamérica se han desarrollado algunas especificaciones para la instalación de los mismos, dentro de las que podemos citar en el Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2013), en sus secciones:

- Sección 511: Geotextiles (Tablas de especificaciones mínimas para cada aplicación).
- Sección 414: Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil (guía de construcción e instalación, valores de resistencias referidas a la sección 511).
- Sección 512: Subdrenes con geotextil y material granular (guía de construcción e instalación, valores de resistencias referidas a la sección 511).



**CAPÍTULO 2: NORMAS DE ENSAYO,
ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.**



- Sección 513: Geotextil para pavimentación (guía de construcción e instalación, valores de resistencias referidas a la sección 511).

II.1 NORMAS DE ENSAYOS.

II.1.1 GEOTEXTILES:

Tabla 2.1: métodos para determinar diferentes pruebas a Geotextiles.

METODO	CONCEPTO	REFERENCIAS
MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACIÓN DE GEOTEXTILES (MÉTODO GRAB) ASTM D-4632, INV E - 901	Esta norma consiste en aplicar a muestras de geotextil es tejidos y no tejidos una carga que se incrementa continua mente en sentido longitudinal, hasta alcanzar la rotura. Los valores para la carga de rotura (tensión grab) y la elongación (elongación grab) del espécimen de ensayo se obtienen de las escalas o diales de las maquinas, de diagramas de registro autográficos o de computadores interconectados. Esta norma determina una propiedad índice. La norma incluye los procedimientos para medir la carga de rotura y la elongación mediante el método grab, tanto en estado seco como en estado húmedo; sin embargo, el ensayo normal mente se realiza en seco a menos que se especifique de otra manera.	ASTM D 4632-91 ICONTEC 1998 (C16.1 05/83)
MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO DE GEOTEXTILES, GEOMEMBRANAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS ASTM D-4833, INV E - 902	Esta norma establece el método para determinar el índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados y consiste en colocar un espécimen sin tensión, entre las placas circulares del dispositivo anular de sujeción de la máquina de ensayo. Se aplica una fuerza en la parte central, mediante una barra de acero sólido, conectada al indicador de carga, hasta que se rompa el espécimen. La máxima fuerza registrada corresponde a la resistencia al punzonamiento.	ASTM D 04833 ICONTEC 3299 (C16.168/91)
MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL RASGADO TRAPEZOIDAL DE GEOTEXTILES ASTM D-4S33, INV E - 903.	Este método de ensayo es un índice que permite determinar la fuerza requerida para continuar o propagar un rasgado en geotextiles tejidos, no tejidos, tejidos de punto y telas estratificadas, por el método trapezoidal. Esta norma describe el procedimiento para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles. Este método corresponde a una propiedad índice y no ofrece la información suficiente para considerarse un criterio de diseño en todas las aplicaciones de geotextiles.	ASLM D4S33 ICONTEC 2003 (C16.11 3/84)



CAPÍTULO 2: NORMAS DE ENSAYO, ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.

 <p>MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESTALLIDO DE GEOTEXTILES (MÉTODO DEL DIAFRAGMA HIDRAULL COMULLEN BURST) ASTM D-37B6, INV E - 904</p>	<p>La resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles tejidos es determinada básicamente por las propiedades de las cintas o elementos que los constituyen, los cuales están sujetos por las mordazas. En geotextiles no tejidos, debido a que las fibras están dispuestas de una forma más o menos aleatoria y son capaces de reorientarse en dirección a la carga aplicada, la máxima resistencia al rasgado trapezoidal de la nueva reorientación se logra cuando se desarrolla una tensión mayor que la requerida para romper una o más fibras simultáneamente.</p> <p>Esta norma tiene por objeto determinar la resistencia de los geotextiles tejidos y no tejidos al estallido, empleando el método de ensayo de diafragma hidráulico (mu llen burst). Esta norma determina una propiedad índice y consiste en prensar un espécimen de geotextil sobre un diafragma expandible. El diafragma es expandido por presión de fluido hasta el punto de rotura del espécimen. La diferencia entre la presión total requerida para romper el espécimen y la presión requerida para inflar el diafragma se reporta como la resistencia al estallido.</p> <p>nota: para los geotextiles tejidos se recomienda usar el ensayo de CBR modificado Gri Gsl -86 para determinar la resistencia al estallido.</p>	<p>ASLMD 3786-87 ICONTEC 2.678 (C3 1.051/87)</p>
<p>MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA DE LOS GEOTEXTILES POR MEDIO DE LA PERMITIVIDAD ASTM D-4491, INV E - 905</p>	<p>Este método de ensayo proporciona procedimientos para determinar la conductividad hidráulica (permeabilidad al agua) de los geotextiles en términos de permisividad bajo condiciones de ensayo estandarizadas, sin someter el espécimen a carga normal.</p>	<p>ASTM D4491 - 92 ICONTEC 2002</p>
<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL ESPESOR NOMINAL DE GEOTEXLLES Y GEOMEMBRANAS ASTM D-5199, INV E - 906</p>	<p>El espesor es una de las propiedades físicas básicas usadas en el control de la calidad de muchos geotextiles y geomembranas. Para el círculo de algunos parámetros de geotextiles y geomembranas se requiere calcular el valor del espesor, como en el caso de los coeficientes de permeabilidad, esfuerzo a tensión (índice), ya que el espesor no es un indicador del desempeño en campo y por lo tanto no se recomienda para especificación.</p> <p>El espesor de geotextiles y geomembranas puede variar considerablemente dependiendo de la presión aplicada al espécimen durante su medida. Los cambios observados en la disminución del espesor ocurren cuando se aplican incrementos en la presión. Para minimizar la variación se usara un tamaño de muestra y presión aplicada para asegurar que todos los resultados son comparables como se indicara en este método específico.</p>	<p>ASTM D 5199-91</p>
<p>MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE ABERTURA APARENTE</p>	<p>Este método de ensayo consiste en colocar un espécimen de geotextil en un marco de tamiz y sobre él se colocan unas partículas de cristal graduadas. El conjunto se agita enérgicamente para inducir el paso de las partículas a través del geotextil. El procedimiento se repite para el mismo</p>	<p>ASTM D 4751 - 95 ICONTEC</p>



CAPÍTULO 2: NORMAS DE ENSAYO, ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.



<p>(TAA) DE UN GEOTEXTIL ASTM D-4751, INV E - 907</p>	<p>espécimen con varios tamaños de partículas de cristal hasta determinar el tamaño de abertura aparente (TAA). Esta propiedad también se conoce como AOS (Apparent Opening Size). Al usar un geotextil como un medio para retener partículas de suelo, se necesita una compatibilidad entre el geotextil y el suelo adyacente. Este método de ensayo es usado para indicar el TAA en un geotextil. Donde se refleja la dimensión de la abertura más grande disponible para que un suelo pueda atravesarlo.</p>	
<p>MÉTODO DE MUESTREO DE GEOSINTÉTICOS PARA ENSAYOS ASTM D-4354 Y 4439, INV E - 90B</p>	<p>En esta práctica se dan las instrucciones correspondientes para dividir un despacho en lotes y la determinación del número de unidades de producción en un lote muestra. El número o método para determinar el número de especímenes para ser ensayados de la muestra de laboratorio están establecidos por el método de ensayo específico, que evalúa la propiedad del geosintético. Esta práctica cubre dos procedimientos para el muestreo de geosintéticos para ser ensayados. Se requiere que las instrucciones de toma de muestras de laboratorio y especímenes de ensayo sean parte de cada método de ensayo para geosintéticos.</p>	<p>ASTM D 4354 - 89 ASTM D4439</p>
<p>PRACTICA PARA ESTABLECER LA CONFORMIDAD DE ESPECIFICACIONES DE GEOSINTÉTICOS ASTM D.- 4759 Y 4439, INV E - 909</p>	<p>Esta práctica establece el procedimiento para determinar la conformidad de las propiedades de los geosintéticos frente a unas especificaciones establecidas por parte del diseñador. Esta práctica ofrece una manera con la que un comprador puede determinar la conformidad de las propiedades de un geosintético, obteniendo la aprobación o rechazo de un producto según la especificación de los materiales. Esta práctica ha sido desarrollada con un énfasis especial para la puesta en marcha y realización de un estricto programa de control de calidad, del que todo geosintético es sometido antes de ser despachado, situación que debe ser verificada por parte del interventor responsable de la obra.</p>	<p>ASTM D 4759 - 88 (Reaprobada 1992) ASTM D4439</p>
<p>MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR EL DETERIORO DE GEOTEXTILES A LA EXPOSICIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA Y AGUA, (APARATO DEL TIPO ARCO XENÓN) ASTM D-4355, INV E - 910</p>	<p>Este método cubre la evaluación de la disminución de la resistencia a la tensión de geotextiles expuestos a luz ultravioleta y al agua. El aparato para la exposición a la luz y al agua, emplea como fuente de luz un arco de xenón. Los geotextiles son elaborados con diferentes procesos y formulaciones de polímeros. Haciendo que posean diferentes sensibilidades a la radiación ultravioleta. Esta radiación proveniente del sol, cambia según el tiempo de exposición, el ángulo de inclinación sobre el horizonte; condiciones topográficas, Atmosféricas y la geografía del lugar. El ensayo que usa el arco de xenón no puede simular todas estas variables, por lo que se debe relacionar directamente este ensayo a la luz artificial, con resultados de ensayos de exposición directa al sol para cada geotextil específico, al igual que para cada lugar.</p>	<p>ASTM D 4355- 92</p>
<p>MÉTODO ESTANDAR PARA DETERMINAR LA RETENCIÓN</p>	<p>Esta norma consiste en medir la capacidad de retención asfáltica de los geotextiles de repavimentación la cual se define como el volumen de cemento asfáltico retenido por geotextiles</p>	<p>ASTM D 6140- 00</p>



CAPÍTULO 2: NORMAS DE ENSAYO, ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.



Geosoft
PAVCO

<p>DE ASFALTO DE GEOTEXTILES USADOS EN REPAVIMENTACIONES ASFÁLTICAS ASTM D-61 40, INV E - 91 1</p>	<p>de repavimentación por unidad de área del espécimen después de ser sumergido en cemento asfáltico. El uso de este método está dado para establecer un valor índice para proveer criterios estándar y una base para reportes uniformes.</p> <p>Los especímenes de ensayo son pesados individualmente antes de ser sumergidos en cemento asfáltico que será usado para la capa superior. El cemento asfáltico se mantiene a una temperatura específica. Después de ser sumergidos, los especímenes son colgados para ser secados en horno por un periodo de tiempo especificado en el horno a la misma temperatura. Después de haber sido completado el proceso de ser los especímenes sumergidos y secados, cada espécimen es pesado y la retención asfáltica es determinada.</p> <p>Este método de ensayo se refiere al procedimiento para determinar la retención de asfalto para geotextiles. geotextiles de repavimentación son usados en un sistema de membrana textil como inter capa en pavimentos previa a la colocación de una capa asfáltica superior.</p>	<p>En esta norma se dan las instrucciones para determinar la masa por unidad de área mediante la medida del peso de los especímenes de ensayo de dimensiones conocidas, obtenidos de lugares variados sobre el ancho total de la muestra de laboratorio. Los valores obtenidos se promedian para obtener la masa promedio por unidad de área de la muestra de laboratorio, la que a su vez se usara para determinar el valor mínima promedio por rollo de lote, como resultado de la evaluación comparativa con los otros valores correspondientes de las muestras del lote.</p> <p>Este método de ensayo es utilizado para determinar si un geotextil cumple con la masa por unidad de área establecida por las especificaciones técnicas de un proyecto. Este método también puede ser utilizado para establecer la conformidad de un material dentro de las actividades de control de calidad durante el proceso industrial de producción. el equipo requerido para realizar este ensayo es una balanza, calibrada y con capacidad de hasta 5000 g con una precisión de 0.01 g.</p>	<p>ASTM D 5261-92</p>
<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO ESTÁTICA DE GEOTEXTILES USANDO UN PISTÓN DE PRUEBA DE 50 MM DE DIÁMETRO ASTM D-6241 , INV E - 91 3</p>	<p>Esta norma establece el procedimiento para determinar la resistencia al punzonamiento estático de los geotextiles tomando una muestra que es sujeta por medio de abrazaderas sin ser tensionada entre placas circulares y es asegurada en una máquina de tensión o compresión, o ambas. Una fuerza es ejercida en el centro de la parte que esta sin apoyar por un pistón de acero fijo al indicador de carga hasta que ocurre la ruptura. La fuerza máxima registrada es el valor de la resistencia al punzonamiento.</p> <p>Esta metodología de ensayo es un índice usado para medir la fuerza requerida para punzonar un geotextil y/o productos relacionados. El tamaño relativamente grande del pistón provee una fuerza multidireccional en el geotextil.</p>	<p>ASTM D 6241 - 99</p>	



CAPÍTULO 2: NORMAS DE ENSAYO, ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.



<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE FRICIÓN SUELO – GEOSINTETICO Y GEOSINTETICO - GEOSINTETICO POR EL MÉTODO DE CORTE DIRECTO ASTM D 5321 - 02</p>	<p>La resistencia al corte entre un geosintético y un suelo, u otro material. Es determinado colocando el geosintético y una o más superficies de contacto, como un suelo, dentro de la caja de corte directo. Una fuerza normal constante y representativa del nivel de esfuerzos es aplicada sobre la muestra y una fuerza tangencial o cortante es aplicada al aparato, para que una sección de la caja se mueva en relación a la otra sección, la fuerza cortante es tomada en función del desplazamiento horizontal entre las secciones de la caja de corte.</p> <p>La prueba es desarrollada con una mínima de tres diferentes esfuerzos normales, seleccionados por el usuario, para modelar las condiciones apropiadas de campo. Los va lores tomados de esfuerzo cortante son graficados contra los esfuerzos normales aplicados usados en la prueba los datos de la prueba son representados por la línea de falla cuya inclinación es el coeficiente de fricción entre los materiales y el punto de corte en el eje de las ordenadas será el valor de adhesión. Este método de prueba cubre el procedimiento para determinar la resistencia al corte de un geosintético contra un suelo, o geosintético contra geosintético, bajo una tasa constante de deformación. El método de prueba se lleva a cabo para indicar el desempeño de los materiales seleccionados modelando las condiciones de campo. Los resultados obtenidos por este método, pueden ser limitados en la medida de su aplicabilidad en las condiciones específicas consideradas para el ensayo.</p>	<p>ASTM D 5321 - 02 ASTM D 698 ASTM D 1557 ASTM D 3080</p>
<p>METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TASA DE FLUJO Y LA TRANSMISIVIDAD HIDRÁULICA DE UN GEOSINTETICO UTILIZANDO UNA CABELA CON STANTE ASTM D 4716 - 03</p>	<p>La tasa de flujo por unidad de ancho es determinada midiendo la cantidad de agua que pasa por un espécimen de prueba en un intervalo específico de tiempo bajo un esfuerzo normal y un gradiente hidráulico específico.</p> <p>La transmisividad hidráulica debería ser determinada solo por pruebas que exhiben una tasa de flujo line al por unidad de ancho contra el gradiente relacionado, es decir, flujo laminar.</p>	<p>ASTM D 4716 - 03</p>
<p>MEDIDA DEL POTENCIAL DE COLMATACIÓN DE UN SISTEMA SUELO - GEOTEXLLL POR LA VARIACIÓN DEL GRADIENTE HIDRÁULICO ASTMDS10L -90.</p>	<p>Este método de ensayo es aplicado para determinar el comportamiento que tiene un sistema suelo – geotextil frente al efecto de la colmatación en la variación de la permeabilidad con el paso del tiempo. El ensayo requiere una cámara de filtración vertical, un filtro al cual se le aplicara el ensayo y el suelo con el cual se quiera ensayar el filtro.</p> <p>A este sistema se le hará circular agua a diferentes gradientes hidráulicos y sele medirá en diferentes intervalos de tiempo las alturas piezométricas y los caudales para así determinar el taponamiento y la permeabilidad del filtro.</p>	<p>ASTM D 5 101-90</p>

Fuente: Extracción del manual de Geosoft Pavco, capítulo 2.



CAPÍTULO 2: NORMAS DE ENSAYO, ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.



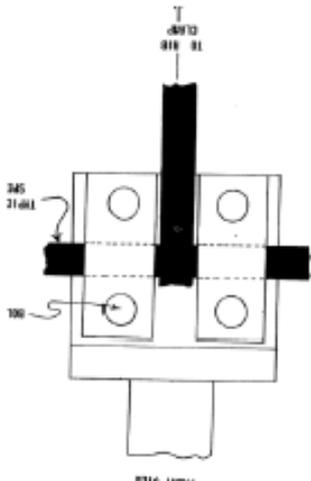
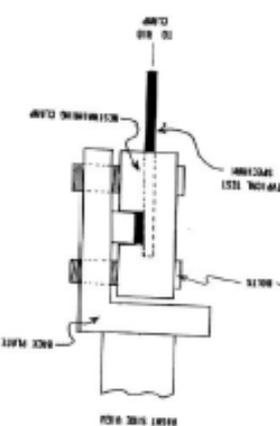
<p>RESISTENCIA A LA TENSION</p>	<p>Este ensayo se realiza para determinar la resistencia a la tensión y el comportamiento a la elongación de una costilla o de un conjunto de éstas, de una geomalla biaxial, el resultado del mismo puede utilizarse como referencia para el rollo completo de geomalla, indicando siempre la dirección del mismo en la que se realizó el ensayo. Para la realización de este ensayo se deben identificar dos tipos de costillas propias de la geomalla biaxial, las costillas longitudinales y las transversales. El procedimiento consiste en aplicar una fuerza de tensión constante sobre la muestra midiendo al mismo tiempo la fuerza aplicada y la deformación o elongación de la misma, a una velocidad de cincuenta milímetros por minuto, hasta que esta falle.</p>	<p>Figura 2.4: Costilla de geomalla biaxial utilizada para ensayo.</p> 
<p>RESISTENCIA DE LA UNIONES O NUDOS</p>	<p>Este procedimiento se utiliza para determinar la resistencia de una unión también llamada nudo o nodo, de una geomalla biaxial. Los resultados de éste pueden ser comparados con los del ensayo de la resistencia a la tensión, de la misma muestra. La unión o nudo se define como la interconexión de las costillas longitudinales y transversales de una geomalla biaxial, proporcionando estabilidad dimensional así como un mecanismo de transferencia de cargas o esfuerzos.</p>	<p>Figura 2.6: Abrazadera rectangular para sujeción de nodo.</p> 

Figura 2.5: Sección de abrazadera rectangular para sujeción de nodo.



Fuente: Extracción del manual de Geosoft Pavco, capítulo 2.

Geosoft®
PAVCO

CAPÍTULO 2: NORMAS DE ENSAYO, ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.



**ANEXO 04: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA DV.
HUANCANÉ – CHUPA, “PUNO”.**



5.- DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

CARRETARA ARAPA – CHUPA (PU114) – DV HUANCANE (EMP PE 34H), TRAMO I

Dentro de los métodos de diseño disponibles para pavimentos y lo solicitado en las necesidades técnicas del Proyecto, podemos citar los siguientes:

- Método de la AASHTO – 1993 de los EEUU
- Método del Asphalt Institute – 1991 de los EEUU.

5.1 METODOS

a.5.1 Método de la AASHTO - 93, de los EEUU.

El diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras empleando el método AASHTO, requiere del uso de nomogramas y catálogos de diseño.

La pérdida de serviciabilidad ($\Delta PSI = 1.8$) para superficies de rodaduras a nivel de MACS: Mezclas Asfáltica en Caliente de Superficie, teniendo en cuenta que la cantidad de tráfico proyectado, se considera como serviciabilidad inicial $PSI_i = 3.8$, y la terminal como $PSI_t = 2.0$.

a.5.2 Método del Asphalt Institute – 1991 de los EEUU.

Este capítulo presenta procedimientos para determinar el espesor de la estructura pavimento consistente en concreto asfáltico de superficie, superficie de asfalto emulsionado (el tratamiento superficial), base de concreto asfáltico, base emulsionada de asfalto, y base no tratada de agregado o sub base.

Principios de diseño: los espesores resultantes satisfacen dos criterios diferentes de tensión, la tensión por compresión vertical en la superficie de la sub rasante, y la tensión horizontal en la parte inferior de la capa de asfalto. Los espesores mostrados en las gráficas de la A-1 a la A-36, representan los dos mayores espesores asociados con los criterios. El programa HWY del Instituto de Asfalto también provee una solución computarizada para los procedimientos del diseño de espesor mostrados en el manual.

Los niveles de tráfico de EAL, $= 5 \times 10^5$ hasta los que exceden 10^7 son incluidos en las gráficas de diseño. Los pavimentos diseñados para EAL mayores representan casos especiales y deberían estar hechos (o verificados) con el programa de computadora DAMA. Los diseños para EAL mayores que 3×10^6 deberán considerarse candidatos para futuros recapados de nivelación o construcción por etapas.



Procedimiento del Diseño

- Los pasos en el procedimiento del diseño son:
Se selecciona o determina datos de entrada.
 - (a) Valor de tráfico, EAL
 - (b) Módulo elástico de la Subrasante, Mr.
 - (c) Tipo de Superficie y base.
- Luego se determina espesores del diseño para las condiciones específicas descritas por los datos de entrada. De ser el caso se puede preparar un diseño de construcción por etapas.
- Luego se realiza unos análisis económicos de las diversas soluciones y como último paso se selecciona el diseño final.

5.2 ANALISIS DEL TRANSITO CON FINES DE DISEÑO DEL PAVIMENTO.

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos.

El procedimiento para el cálculo de los factores destructivos ha sido el siguiente:

- La demanda o volumen de tráfico (IMDa), requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2tn.de peso, con neumáticos con presión de 80 lb/pulg².
- El volumen existente en el tramo, IMDa considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.
- Este volumen de demanda tiene una composición de distintos tipos de vehículos, según los diversos tramos viales.
- El carril de diseño del pavimento de una carretera de dos carriles, considerará solo el 50% del IMDa.
- Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:
 - Censos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un periodo consecutivo de 7 días (5 día de semana + sábado



MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ARAPA - CHUFA (PUI14) - DV HUANCANE
(EMP PE 34E), TRAMO I

- + domingo), como mínimo, en una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.
- El estudio podrá ser complementado con Información, de variaciones mensuales, proveniente de estaciones de conteo permanente del MTC, cercanas al tramo en estudio, que permita el cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA).

Con los factores destructivos del pavimento corregidos por presión de inflado de llantas, el IMDA y las tasas de crecimiento del tráfico se ha calculado la cantidad acumulada de ejes equivalentes a 8.2 toneladas. El cálculo se ha efectuado para dos periodos. El primer periodo comprende el año de puesta en marcha del proyecto (2013) hasta el año 2028, es decir 15 años de vida útil del horizonte de evaluación del proyecto. Para el cálculo de los ejes acumulados equivalentes a 8.2 toneladas se ha usado la siguiente fórmula:

Representan las aplicaciones de Ejes simples de Carga Equivalente ESAL (W18-ESAL's). Es el número de pasadas de un eje simple y ruedas duales de 8.2 ton (18 kips) de peso, que produce sobre el pavimento. La determinación de las proyecciones del tráfico se calcula con la fórmula del ESAL's, la cual se detalla a continuación:

$$\text{ESAL's} = \text{Nrep de EE}_{8.2\text{tn}} = \sum \left[\text{EE}_{\text{dise-carril}} \times 365 \times ((1+t)^n - 1) \right] / t$$

- $\text{EE}_{\text{dise-carril}}$ = EE x Factor direccional x Factor carril.
- EE = N° de vehículos según tipo x factor vehículo x factor de presión de llantas.

Donde:

- Nrep de EE 8.2 tn = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton.
- $\text{EE}_{\text{dise-carril}}$ = Ejes equivalentes por día para el carril de diseño.
- 365 = Número de días del año.
- t = Tasa de proyección del tráfico, en centésimas.
- EE = Ejes equivalentes.
- Factor direccional = 0.5, corresponde a carreteras de dos direcciones por calzada (recomendable).



MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ARAFA - CHUPA (PU114) - DV HUANCANE (EMP PE 34H), TRAMO I

- Factor carril - 1, corresponde a un carril por dirección o sentido
- Factor de presión de llantas - En función al censo.

Tabla 5.1: Esal de Diseño.

TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL (%)	1.10%	PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)	20 AÑOS				
TIPO DE VEHICULO	Nº Vehículo 2 sentidos	Nº Vehículo 1 sentido	Nº tránsito	Factor Carril	ESAL Carril de Diseño	Factor de Crecimiento	ESAL DE DISEÑO
AUTOS Y CAMIONETAS	52	26	948	1.000	0.949	22.25	21.08627
B2	13	6.5	2372.5	0.58	846.1	22.25	187158.800
B3	2	1	308	1.75	638.75	22.25	14199.4125
C2	8	4	1480	3.68	5417.6	22.25	119540.648
C3	5	2.5	912.5	2.58	2388.625	22.25	51330.71375
381052	0	0	0	4.58	0	22.25	0
>=050	3	1.5	547.5	4.5	2384.25	22.25	52234.0775
ESAL							421179.671
ESAL							4.21E+08

Fuente: Cuadros en el Volumen del Estudio de Tráfico.

5.3 ANALISIS ESTADISTICO DE VALORES DE CBR

Los resultados de Laboratorio de las pruebas del Valor Relativo de Soporte (CBR) y de la clasificación de suelos permitió determinar la sección homogénea representativa, los CBRs han sido analizados mediante el Método del Instituto del Asfalto y el promedio de los CBRs que determina valores conservadores.

A continuación se describe el resultado del análisis estadístico de Valores Relativos de Soporte (CBR) de los tramos homogéneos.

Tabla 5.2: Análisis Estadístico de CBR.

Valores Obtenidos con el Método Japonés	Dev. Huancané - Chupa Km. 0+000 – Km. 32+760
Valor Promedio de CBR (%)	10.00
Valor del CBR máximo (%)	26.00
Valor del CBR mínimo (%)	2.60
CBR Inst. Asfalto (%)	5.40
CBR de Diseño (%)	10.00

Fuente: Resumen de Cuadro de Ensayos de CBR.

Se debe de mencionar que los valores de CBR son determinados al 95% de la compactación. Así mismo se ha considerado el valor de CBR de diseño del 10 %

Módulo de Resiliencia efectivo del suelo de fundación (MR)

Es un parámetro que a diferencia del CBR, referido a un ensayo de punzonamiento, trata de simular el efecto dinámico de las cargas vehiculares. La equivalencia entre ambos está definida en la Guía AASHTO para valores de CBR menores de 7.20 por medio de la fórmula de Heukelom y Klomp: $MR (psi) = 1500 \times CBR$.



**MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ARAPA - CHUPA (PU114) - DV HUANCANE
(EMP PE 34H), TRAMO I**

Para valores mayores a 7.20 hay diferentes relaciones. Una de las más usadas es la llamada fórmula Sudafricana: $MR \text{ (psi)} = 3000 \text{ CBR}^{0.65}$

Las correlaciones empleadas para la determinación de los módulos resilientes son las siguientes:

- MR = $((\text{CBR} / 0.0624)^{1/1.179}) / 0.007$, para suelos, CBRs < 48 %
- MR = $3000 \times (\text{CBR})^{0.65}$ para suelos cuyo $7.2 \% < \text{CBRs} < 20\%$
- MR = $1500 \times (\text{CBR})$ para suelos cuyo CBRs $\leq 7.2 \%$

Para el caso de diseño del pavimento el Modulo de Resiliencia efectivo es:

TRAMO: 0+000 - 32+760

$$MR \text{ (psi)} = 3000 \times (\text{CBR})^{0.65} = 3000 \times (10)^{0.65} = 13,401$$

Para el caso de diseño del Mejoramiento de Subrasante el Modulo de Resiliencia efectivo es:

$$MR \text{ (psi)} = 1,500 \times (\text{CBR}) = 1500 \times (5.4) = 8,100$$

5.4 DATOS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO

- Período de diseño - Por Etapas: 1ra Etapa 10 años y 2da Etapa 10 años.
- Una sola Etapa: 15 años.
- Repeticiones Ejes Eq. de 8.2 Ton.- Una sola Etapa: Desvío Huancané – Chupa.
- ESAL 7.535 E+05 Repeticiones para 15 años.
- Índice de Serviciabilidad terminal = 1.8 para MACS.
- Valor Relativo de Soporte (CBR) = 10.00
- Valor Relativo de Soporte (CBR) - MSR = 5.40.
- Coeficiente de Carpeta Asfáltica = 0.38
- Coeficiente de Capa Granular CBR=80% = 0.135
- Coeficiente de Capa Granular CBR=60% = 0.12
- Coeficiente de Capa Granular CBR=25% = 0.0405
- La Base Granular se está diseñando con un CBR de 75% al 100% de la M.D.S. del Próctor Modificado.

Material triturado de la cantera Río Cabanillas-Isla (pedras chancadas)

- La Sub base Granular se está diseñando con un CBR de 40% al 100% de la M.D.S. del Próctor Modificado.



MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ARAPA - CHUPA (PU114) - DV HUANCANE (EMP FE 34H), TRAMO I

5.5 DISEÑO DEL PAVIMENTO

A continuación se pone a consideración los Diseños de los Pavimentos, AASHTO e INSTITUTO DEL ASFALTO para el tramo homogéneo. Además se realizará el Diseño del Mejoramiento de Sub rasante por el Método del Cuerpo de Ingenieros de USA.

5.5.1 Diseño del Pavimento - Método AASHTO - 1993

El diseño es basado en los resultados obtenidos de campo mediante métodos destructivos; es decir caracterización físico-mecánica de los materiales del terreno de fundación. El método AASHTO – 1993 Incluye en la metodología parámetros que no han sido consideradas en las versiones anteriores, las que son basadas principalmente en recientes Investigaciones. A continuación se presentan dichos parámetros.

- Módulo de Resistencia efectivo del material de fundación (m_r).
- Nivel de Confiabilidad (R)
- Desviación Estándar, para Pavimentos flexibles (S_o)
- Variación total del Índice de Serviciabilidad ($D_{FSI} = p_t - p_o$).
- Coeficiente de Drenaje, de acuerdo a la calidad del material (m_1)

Para obtener el Número Estructural se emplearon los siguientes datos:

- M_R - Está de acuerdo al tramo establecido
- N_{E2} - EAL obtenidos e Indicados líneas arriba.
- R - 90 % (Nivel de Confiabilidad)
- Z_R - - 1.282
- S_o - 0.45 (desviación standard; para pavimentos flexibles)
- P_t - 1.8 (Índice de serviciabilidad Terminal con TSB y MACS)
- D_{FSI} - 3.8 - 2.0 = 1.8

Los valores CBR convertidos a Módulos Resilientes son los siguientes:

- MR - 3000 x (CBR)^{0.45}, para suelos cuyo 7.2 % < CBRs < 20%
- MR - 1500 x (CBR), para suelos cuyo CBRs ≤ 7.2%

Tabla 5.3: CBR y Modulo Resiliente de Diseño.

CARACTERÍSTICA	CBR al 95% MDS	MODULO RESILIENTE
Km. 0+000 - Km. 32+750	10.00 %	13,401
Para Mejoramiento de Sub rasante (MSR)	5.40%	8,100

Fuente: Elaboración Propia.



MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ARAPA - CHUPA (FUI14) - DV HUANCANE (EMP PE 34H), TRAMO I

Tabla 5.4: Espesores obtenidos a nivel MACS son los siguientes.

Características	Carretera: TRAMO Desv. Huancané – Chupa Km. 0+000 – Km. 32+760 <u>Una Sola Etapa</u>
	Una Sola Etapa: 20 años
Periodo de Diseño "SN"	2.380
Superficie Rodadura: MACS	5.00cm.
Base Granular Triturada	15.00cm.
Sub Base Granular	20.00cm.

Fuente: Cuadro de Cuadros N° 13 y 14 De Los Ensayos.

5.5 Diseño de Mejoramiento de Subrasante

El mejoramiento (reemplazo) de la subrasante será con el espesor mínimo de dicha capa que aumentará la resistencia de soporte de la subrasante existente (CBR=5.40%), a la resistencia de soporte de la subrasante mejorada (CBR= 10.00%).

Para periodo de diseño de 20 años:

- $SN_{CBR=5.40\%} = a_1h_1 + a_2h_2 + a_3h_3 + a_4h_4 = 3.010$
- $SN_{CBR=10.00\%} = a_1h_1 + na_2h_2 + a_3h_3 = 2.380$
- $SN_{\text{Sub rasante Mejorada}} = a_4h_4 = 0.63$

Según el Gráfico de cálculo de: $a_4 = 0.0405$ (*)

(*)Relación basada en datos CBR – Espesor, obtenidos por el Cuerpo de Ingenieros de USA.

$$0.0405 \cdot h_4 = 0.63 \rightarrow h_4 = 0.630 / 0.0405 = 15.66$$

Espesor = 15.00cm.

El espesor obtenido del estudio es menor que el propuesto por la geometría del trazo:

$$15.00\text{cm (Espesor del Estudio)} < 20.00 \text{ (Espesor Trazo)}$$

5.7 ESPESORES RECOMENDADOS

a.5.7 Los espesores recomendados a nivel de MACS es el obtenido por el método AASHTO de EE.UU para una vida de diseño de 20 años:

Tabla 5.5: MACS: Mezcla Asfáltica En Caliente De Superficie

Valores para 15 Años	Desv. Huancané - Chupa Km. 0+000 - Km. 32+760
MACS	05.00 cm.
Base Granular Triturada	15.00 cm.
Subbase Granular	20.00 cm.

Fuente: Elaboración Propia.



**MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ARAPA - CHUPA (PU114) - DV HUANCANE
(EMP PE 34H), TRAMO I**

Recomendación: Se está recomendando la estructura con espesores para 20 años, recomendando una evaluación del pavimento al final del 5to. Año de vida de diseño para indicar las nuevas recomendaciones del tipo de mantenimiento y si fuese el caso la colocación de una capa de protección a partir del año 6 hasta los 10 años, es de indicar si tráfico aumenta o se genera, el pavimento ya necesita espesores mayores a 5.00cm.

b.5.7 El Mejoramiento de Sub rasante mínimo en los sub tramos críticos (por suelos, drenaje y deterioros severos) será con el espesor mínimo siguiente:

Tabla 5.6: Mejoramiento De La Sub rasante.

Mejoramiento de Sub rasante (Espesor mínimo)	
TRAMO	Km. 0+000 – Km. 24+000
Espa.	15.00 cm. Y 20 cm.

Fuente: *Elaboración Propia.*

**HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
METODOLOGIA AASHTO 1993**

Proyecto	+	Mejoramiento de la carretera Anapa - Chus (PU 114)- Dv. Huancane (EMP PE 94H).
Tramo	+	Tramo I
Fecha	+	Marzo Del 2016.
Diseño Nro.	+	0001

ECUACION DE CALCULO

$$\text{Log}_{10}(D_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 2.0} \right]}{0.4 + \frac{1.024}{(SN + 1)^{0.08}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(M_R) - 8.07 \quad \text{----- (a)}$$

Donde:

- SN = número estructural requerido por la sección de carretera.
- W₁₈ = número de ejes equivalentes de 80 kN (18,000 lb), en el periodo de diseño.
- Z_r = desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R, de diseño).
- S_o = error estándar por efecto del tráfico y comportamiento.
- ΔPSI = variación del índice de serviciabilidad.
- M_R = módulo resiliente de la subrasante medida.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \text{----- (b)}$$

Donde:

- a₁ = coeficiente de la capa I (1/pulg.).

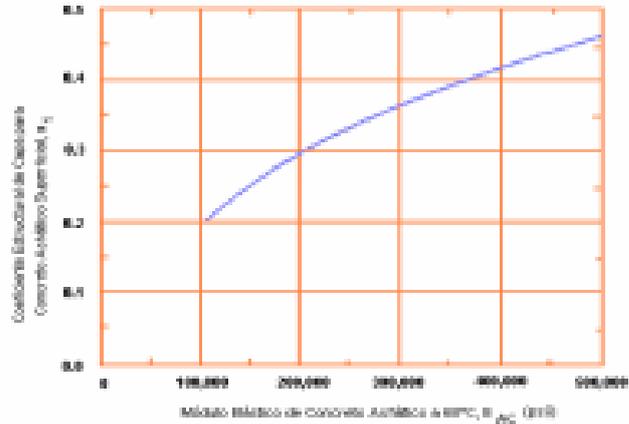


Figura 1: Carta para calcular el coeficiente estructural de concreto asfáltico de gradación densa. (Minaya & Ordoñez, 2006).

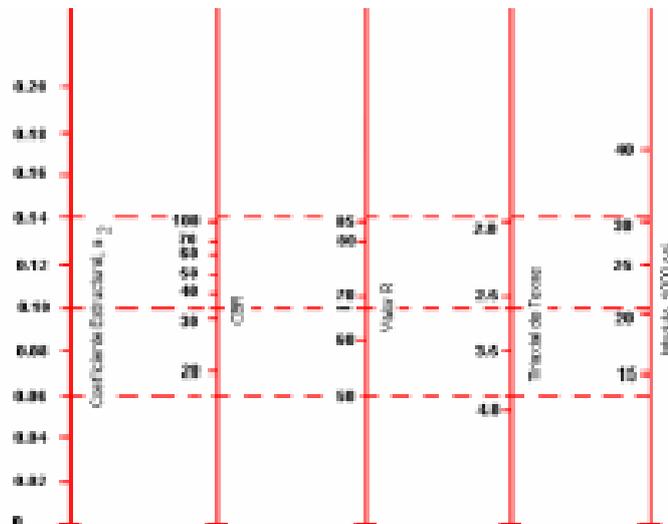


Figura 2: Variación de coeficiente de capa de base granular (a2), con variación de los parámetros de resistencia. (Minaya & Ordoñez, 2006).

HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	
METODOLOGIA AASHTO 1993	
Proyecto	Mejoramiento de la carretera Anapa - Chua (PU 114)- Dv. Huancane (EMP PE 34H).
Tramo	Tramo I
Fecha	Marzo Del 2016.
Diseño Nro.	0001

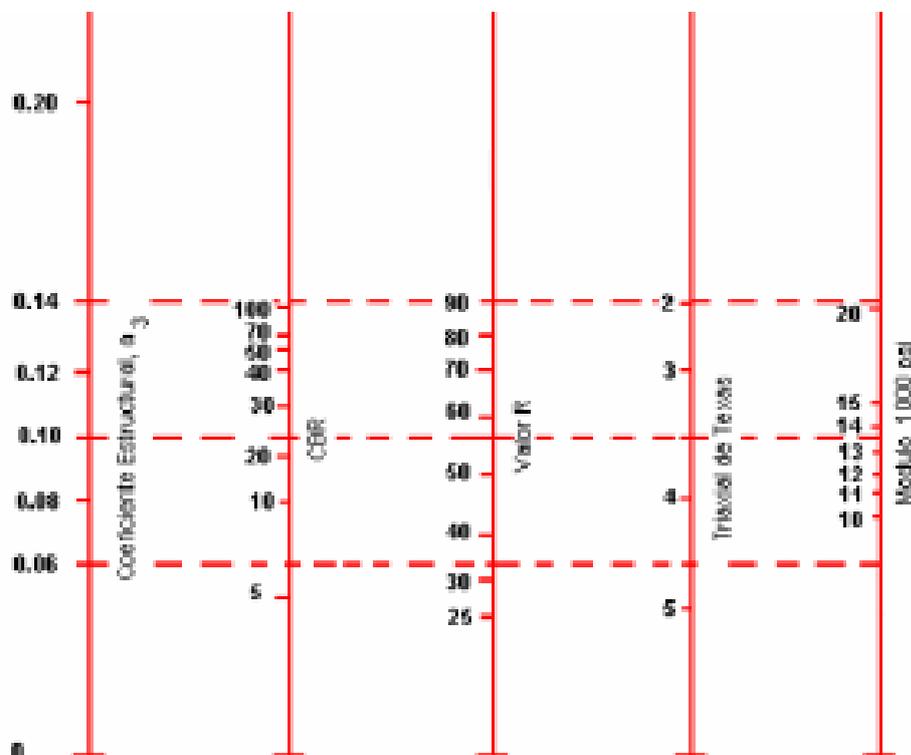


Figura 3: Variación de coeficiente de capa de sub base granular (a_2), con la variación de los parámetros de resistencia (Minaya & Ordoñez, 2006).

- D_s = espesor de la capa I (pulg.).
- m_1 = coeficiente de drenaje de la capa I (adimensional).

Tabla 1: condiciones de drenaje y coeficiente de drenaje recomendados, m.l.

condiciones de drenaje		% de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la			
Calidad de drenaje	Retiro de agua dentro de :	Menos que 1%	1 - 5%	5 - 25%	mayor que 25 %
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	el agua no drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: (Minaya & Ordoñez, 2006).

Parámetros de diseño y recomendaciones de AASHTO.

a) Período de Diseño.

Tabla 2: Períodos típicos de diseño.

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

Fuente: (Minaya & Ordoñez, 2006).

HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	
METODOLOGIA AASHTO 1993	
Proyecto	Mejoramiento de la carretera Arepa - Chus (PU 114)- Dv. Huancane (EMP PE 94H).
Tramo	Tramo I
Fecha	Marzo Del 2016.
Diseño No.	0001

b) Factor de confiabilidad, R.

Tabla 3: Niveles sugeridos de confiabilidad, R.

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

Fuente: (Minaya & Ordoñez, 2006).

c) Desviación Estandar Normal (Z_R).

Tabla 4: Desviación estandar, Z_R

Confiabilidad R, %	Desviación Estandar Normal, Z _R
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: (Minaya & Ordoñez, 2006).

d) Pérdida de serviciabilidad.

varía de :

0 (carretera imposible de transitar) a 5 (carretera perfecta)

$$\Delta PSI = p_i - p_f$$

Donde:

p_i = índice de serviciabilidad inicial

p_f = índice de serviciabilidad final, que es el más bajo índice tolerable antes de la rehabilitación

e) Módulo resiliente efectivo del suelo.

$$M_e [psi] = 1500 \times CBR \quad \dots a$$

$$M_e [kPa] = 10342 \times CBR \quad \dots b$$

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

HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
METODOLOGÍA AASHTO 1993

Proyecto : Mejoramiento de la carretera Arepa - Choa (PU 234)-Dv. Huancane (IMP PE 24H).
 Tramo : Tramo I
 Fecha : Mayo Del 2016.
 Diseño Nro. : 3

Datos:

n = Período de diseño, 30 años
 Ms = Mód. resiliente subyacente, 15000 psi ;
 W₁₈ = ESAL de diseño, 753500
 PSI_i = Serviciabilidad inicial 3.0
 PSI_f = Serviciabilidad final 2
 ΔPSI = Δ del índice de serviciabilidad, 1.0
 B = Confianza 90% tabla 3
 Z₀ = Desv. Est. Normal -1.282 tabla 4
 S₀ = Error estándar 0.45 [AASHTO 1993 recomienda valores entre 0.40 y 0.50 para pavimentos flexibles]

Cálculo del Número Estructural:

Según la ecuación (a) de cuyo resultado : SN_{EQUIVA} = 2.53 iterando

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_0 S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1.024}{(SN + 1)^{1.9}}} + 2.32 \log_{10}(M_s) - 8.07$$

5.88 = 5.88 ok!!!

Diseño de Espesores

• m= coeficiente de drenaje de la capa i (adimensional).

- Drenaje de base granular. m = 1 tabla 1
- Drenaje de sub base granular. m = 1.1 tabla 1

• Coeficientes de Capas:

Tabla 5: coeficientes de capas.

	E	CBR	as	Min	Max
1.- Carpeta asfáltica.	E = 45000 Psi		as = 0.64 pulg.-1		Figura 1
2.- Base granular.	CBR = 80%		as = 0.134 pulg.-1	27500 psi	Figura 2
3.- Sub base granular.	CBR = 40%		as = 0.12 pulg.-1	17500 psi	Figura 3
4.- subyacente.	CBR = 10.0%		as = 15000.0 psi		Dato

Fuente: Elaboración Propia.

II.- Primer Método: por Espesores Mínimos

La guía recomienda los siguientes espesores en función del tránsito:

Tabla 6: Espesores mínimos recomendados.

ESAL	Concreto Asfáltico 1.0 [o tratamiento superficial]	Base Granular
> 50 000		4
50 001 - 150 000	2	4
150 001-500 000	2.5	4
5 00 001-2 000 000	3	6
2 000 001-7 000 000	3.5	6
> 7 000 000	4	6

Fuente: (Minaya & Ordóñez, 2008).

D₁ = 3 pulg Espesor de carpeta asfáltica
 D₂ = 6 pulg Espesor de base granular

Reemplazando estos valores en la ecuación (E):

SN = 2.53
 SN = as D₁ + as D₂ m = as D₁ m₁
 D₁ = 6.4 pulg

Figura 4 : Diseño de Pavimento Flexible AASHTO , metodo 1.



Fuente: Elaboración Propia.

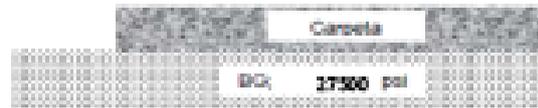
HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
METODOLOGÍA AASHITO 1993

Proyecto : Mejoramiento de la carretera Arepa - Chua (PU 144)- Dr. Huancayo (DMP PE 340).
 Tramo : Tramo I
 Fecha : Marzo Del 2016.
 Diseño No. : 1.

II.- Segundo Método: donde los espesores mínimos son referenciales

a) Se asume, que la carpeta asfáltica se cimentará sobre la base granular con módulo resiliente de : 27500 psi

Figura 5 : Diseño de Pavimento flexible AASTHO Carpeta Asfáltica , metodo 2.



Fuente: (Minaya & Ordóñez, 2006).

Según la ecuación (a) se obtuvo que:

$$SN_{requerido 2} = 2.00$$

Como se sabe:

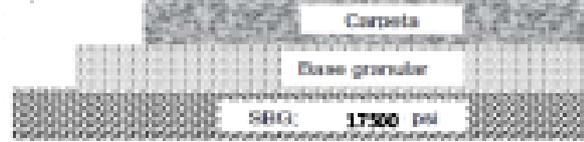
$$SN_{requerido 2} = a_1 D_1$$

$$D_1 = \frac{SN_{requerido 2}}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{2.00}{0.44} = 4.545 \text{ pulg}$$

b) Se asume, que la base granular se cimentará sobre la sub base granular con módulo resiliente: 17500 psi

Figura 6 : Diseño de Pavimento flexible AASTHO Base Granular , metodo 2.



Fuente: Elaboración Propia.

Según la ecuación (a) se obtuvo que:

$$SN_{requerido 2} = 2.39$$

Como se sabe:

$$SN_{requerido 2} = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2$$

$$D_1 = 2.9 \text{ pulg}$$

c) Se asume, que la sub base granular se cimentará sobre la subrasante con módulo resiliente de : 15000 psi

Figura 7 : Diseño de Pavimento flexible AASTHO Subbase Granular , metodo 2.



Fuente: Elaboración Propia.

Según la ecuación (a) se obtuvo que:

$$SN_{requerido 2} = 2.93$$

Como se sabe:

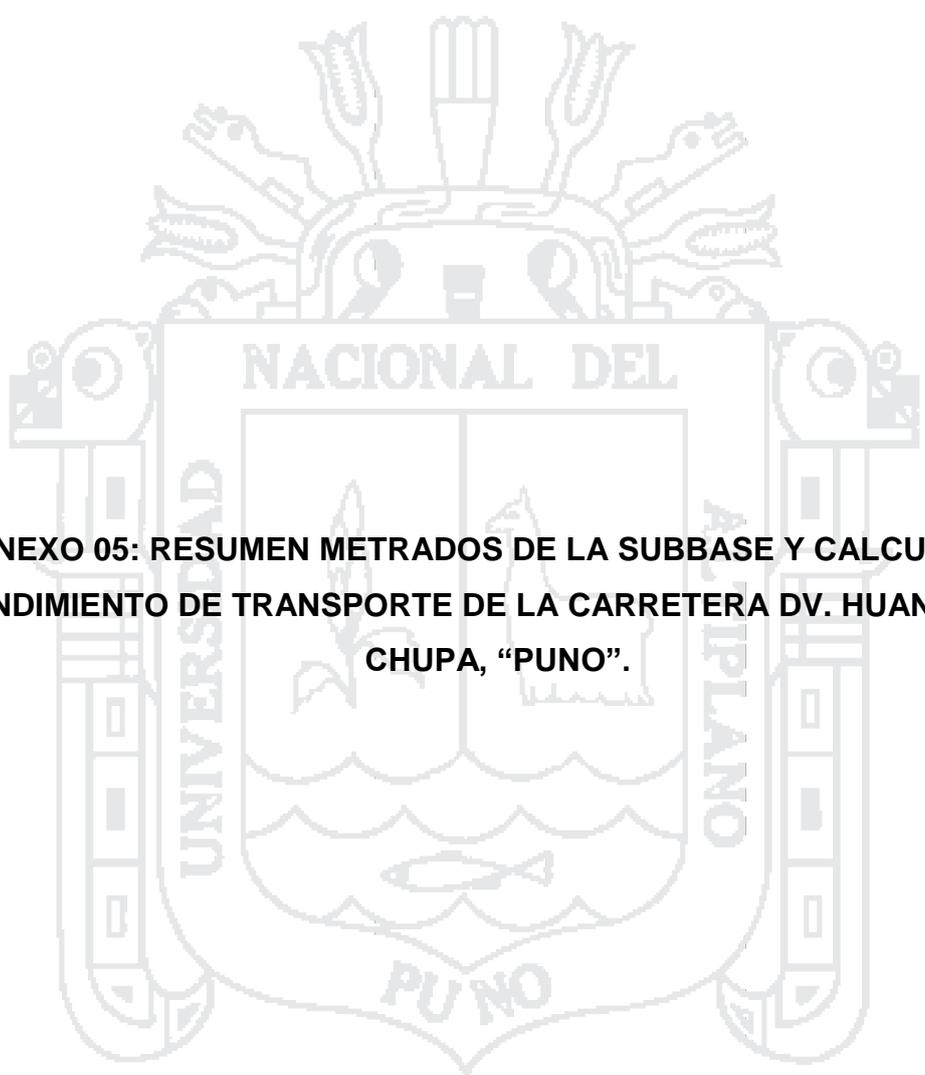
$$SN_{requerido 2} = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

$$D_1 = 1.066666 \text{ pulg}$$

Figura 8 : Diseño de Pavimento flexible AASTHO , metodo 2.



Fuente: Elaboración Propia.



**ANEXO 05: RESUMEN METRADOS DE LA SUBBASE Y CALCULO DE
RENDIMIENTO DE TRANSPORTE DE LA CARRETERA DV. HUANCANÉ –
CHUPA, “PUNO”.**



GOBIERNO REGIONAL PUNO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA

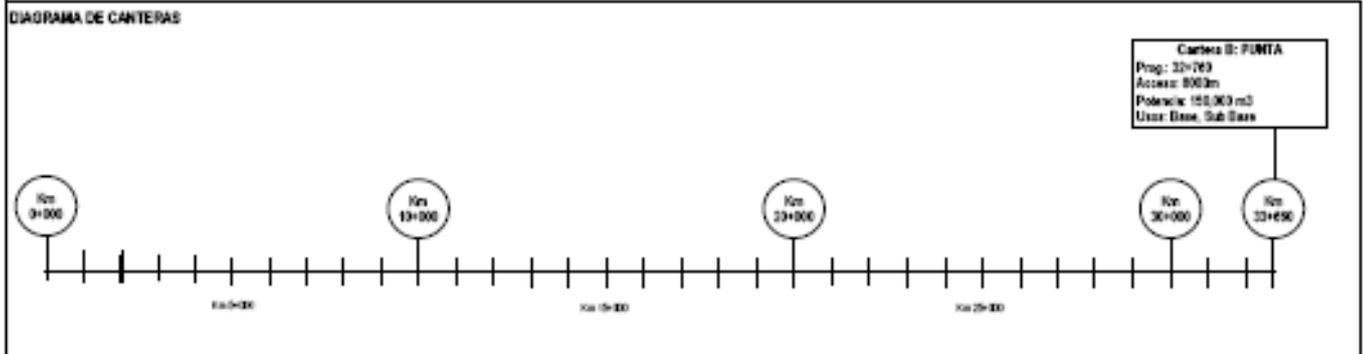
HOJA DE METRADOS

02.05.05 TRANSPORTE DE MATERIAL SUB BASE PARA D <= 1.00 KM

02.05.06 TRANSPORTE DE MATERIAL SUB BASE PARA D > 1.00 KM

SUB BASE (e = 0.20 m.)

CANTERAS :	
B. PUNTA :	Prog 32+760 , e = 800.00 m
MEZCLA: 1. PUNTA (100%)	



PROGRESIVA		LONGITUD (m)	VOLUMEN M3	VOL. SUEL M3	CANTERA A M3	C.C. KM	C.C. - CANT. A KM	MOMENTO A M3 KM	TOTAL M3 KM	OBSERVACIONES
FM	FM									
0+000	1+000	1,000.00	1,778.24	2,220.31	2,220.31	0+500	40.260	80,380.48	80,380.48	CANTERA B: LA PUNTA
1+000	2+000	1,000.00	1,789.27	2,210.34	2,210.34	1+500	39.260	86,777.80	86,777.80	CANTERA B: LA PUNTA
2+000	3+000	1,000.00	1,800.17	2,201.48	2,201.48	2+500	38.260	86,523.60	86,523.60	CANTERA B: LA PUNTA
3+000	4+000	1,000.00	1,810.39	2,194.40	2,194.40	3+500	37.260	87,392.77	87,392.77	CANTERA B: LA PUNTA
4+000	5+000	1,000.00	1,793.12	2,241.40	2,241.40	4+500	36.260	81,273.16	81,273.16	CANTERA B: LA PUNTA
5+000	6+000	1,000.00	1,795.03	2,245.04	2,245.04	5+500	35.260	79,190.07	79,190.07	CANTERA B: LA PUNTA
6+000	7+000	1,000.00	1,798.89	2,248.91	2,248.91	6+500	34.260	77,037.51	77,037.51	CANTERA B: LA PUNTA
7+000	8+000	1,000.00	1,810.70	2,263.39	2,263.39	7+500	33.260	75,279.94	75,279.94	CANTERA B: LA PUNTA
8+000	9+000	1,000.00	1,850.31	2,324.14	2,324.14	8+500	32.260	74,976.76	74,976.76	CANTERA B: LA PUNTA
9+000	10+000	1,000.00	1,788.41	2,235.52	2,235.52	9+500	31.260	69,882.20	69,882.20	CANTERA B: LA PUNTA
10+000	11+000	1,000.00	1,787.93	2,234.91	2,234.91	10+500	30.260	67,628.49	67,628.49	CANTERA B: LA PUNTA
11+000	12+000	1,000.00	1,801.44	2,251.80	2,251.80	11+500	29.260	65,887.70	65,887.70	CANTERA B: LA PUNTA
12+000	13+000	1,000.00	1,810.67	2,263.34	2,263.34	12+500	28.260	63,962.06	63,962.06	CANTERA B: LA PUNTA
13+000	14+000	1,000.00	1,789.81	2,237.26	2,237.26	13+500	27.260	60,987.64	60,987.64	CANTERA B: LA PUNTA
14+000	15+000	1,000.00	1,781.66	2,227.07	2,227.07	14+500	26.260	58,482.89	58,482.89	CANTERA B: LA PUNTA
15+000	16+000	1,000.00	1,839.22	2,289.02	2,289.02	15+500	25.260	58,073.34	58,073.34	CANTERA B: LA PUNTA
16+000	17+000	1,000.00	1,815.95	2,269.94	2,269.94	16+500	24.260	55,968.81	55,968.81	CANTERA B: LA PUNTA
17+000	18+000	1,000.00	1,805.15	2,256.43	2,256.43	17+500	23.260	52,484.62	52,484.62	CANTERA B: LA PUNTA
18+000	19+000	1,000.00	1,791.41	2,239.26	2,239.26	18+500	22.260	49,846.93	49,846.93	CANTERA B: LA PUNTA
19+000	20+000	1,000.00	1,793.36	2,240.20	2,240.20	19+500	21.260	47,818.05	47,818.05	CANTERA B: LA PUNTA
20+000	21+000	1,000.00	1,775.11	2,218.88	2,218.88	20+500	20.260	44,954.56	44,954.56	CANTERA B: LA PUNTA
21+000	22+000	1,000.00	1,817.74	2,272.17	2,272.17	21+500	19.260	43,791.99	43,791.99	CANTERA B: LA PUNTA
22+000	23+000	1,000.00	1,827.50	2,409.37	2,409.37	22+500	18.260	43,995.12	43,995.12	CANTERA B: LA PUNTA
23+000	24+000	1,000.00	1,881.23	2,351.53	2,351.53	23+500	17.260	40,587.45	40,587.45	CANTERA B: LA PUNTA
24+000	25+000	1,000.00	1,881.92	2,327.40	2,327.40	24+500	16.260	37,843.46	37,843.46	CANTERA B: LA PUNTA
25+000	26+000	1,000.00	1,833.24	2,291.56	2,291.56	25+500	15.260	34,960.13	34,960.13	CANTERA B: LA PUNTA
26+000	27+000	1,000.00	1,804.58	2,255.72	2,255.72	26+500	14.260	32,196.59	32,196.59	CANTERA B: LA PUNTA
27+000	28+000	1,000.00	1,816.13	2,270.16	2,270.16	27+500	13.260	30,102.35	30,102.35	CANTERA B: LA PUNTA
28+000	29+000	1,000.00	1,840.54	2,300.67	2,300.67	28+500	12.260	28,206.23	28,206.23	CANTERA B: LA PUNTA
29+000	30+000	1,000.00	1,779.34	2,224.17	2,224.17	29+500	11.260	25,944.18	25,944.18	CANTERA B: LA PUNTA
30+000	31+000	1,000.00	1,781.28	2,226.61	2,226.61	30+500	10.260	22,844.97	22,844.97	CANTERA B: LA PUNTA
31+000	32+000	1,000.00	1,795.24	2,244.05	2,244.05	31+500	9.260	20,779.94	20,779.94	CANTERA B: LA PUNTA
32+000	32+760	760.00	1,337.30	1,671.62	1,671.62	32+880	8.380	14,008.18	14,008.18	CANTERA B: LA PUNTA
32+760	33+690	930.00	1,605.71	2,007.14	2,007.14	33+210	8.450	16,960.32	16,960.32	CANTERA B: LA PUNTA
		33,880.00	60,995.98	76,194.68	76,194.68				1,824,157.28	

RESUMEN		
Partida	02.05.05	D=1 Km. 76,194.68
Partida	02.05.06	D=1 Km. 1,747,882.38
		D.M.T. (Km) = 23.94



GOBIERNO REGIONAL PUNO

GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA



RENDIMIENTOS DE TRANSPORTE

PARTIDA	02.05.05	TRANSPORTE DE MATERIAL SUB BASE PARA D<=1.00 KM
Unidad	M3-KM	
Rendimiento	510 M3-KM/DIA	
DATOS GENERALES		
Velocidad Cargado	(Vc)	30.00 km/hr
Velocidad Descargado	(Vd)	40.00 km/hr
Tiempo de Viaje Cargado	(Tc) = 60d/Vc	2.00 x d
Tiempo de Viaje descargado	(Td) = 60d/Vd	1.50 x d
Volumen de la Tolva del Volquete	(a)	15.00 m3
Distancia media de transporte	(d)	1.00 km
CALCULO DE RENDIMIENTOS		
Tiempo de Cargado al Volquete	Tcv (Cargador de 200-250hp 4-4.1 yd3)	7.20 min
Tiempo de Descarga del Volquete	Tdv	2.00 min
Tiempo Útil : 8 hrs. x 90%	(b)	432 min
Rendimiento del cargador		1000 m3/dia
Tiempo de Ciclo del Volquete	Tciclo = Tcv+Tdv+Tc+Td	9.20 + 3.50 x d
Para d= 1.00 km, Ciclo=	(c)	12.70 min
Numero de ciclos	(e) = (b) / (c)	34.00
Volumen Transportado por el Volquete	(f) = (a) x (e)	510.00 m3/dia
Participación del cargador = Vol. Volquete / Vol. Cargador		0.51
RENDIMIENTO PARA UNA DISTANCIA d =		1.00 km
Esponjamiento del Material (Considerado en el Metrado)		0.0%
Rendimiento = (e) / Esponjamiento		510.00 m3-km/dia

PARTIDA	02.05.06	TRANSPORTE DE MATERIAL SUB BASE PARA D>1.00 KM
Unidad	M3-KM	
Rendimiento	1796 M3-KM/DIA	
DATOS GENERALES		
Velocidad Cargado		30.00 km/hr
Velocidad Descargado		40.00 km/hr
Tiempo de Viaje Cargado	(Tc)	2.00 x d
Tiempo de Viaje descargado	(Td)	1.50 x d
Volumen de la Tolva del Volquete	(a)	15.00 m3
Distancia de transporte	(d)	23.94 km
CALCULO DE RENDIMIENTOS		
Tiempo Útil : 8 hrs. x 95%	(b)	456 min
Tiempo de Ciclo del Volquete	Tciclo = Tc+Td	3.50 x d
Para d= 23.94 km, Ciclo=	(c)	83.79 min
Numero de ciclos	(e) = (b) / (c)	5
Volumen Transportado por el Volquete	(f) = (a) x (e)	75.00 m3/dia
RENDIMIENTO PARA UNA DISTANCIA d =		23.94 km
Esponjamiento del Material (Considerado en el Metrado)		0.0%
Rendimiento = (e) / Esponjamiento		1796 m3-km/dia



**ANEXO 06: TIEMPO DE EJECUCIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA
CARRETERA DV. HUANCANÉ – CHUPA, “PUNO”.**



6. Anexo 06 Cronograma de obra - Tesis. (Hoja A3)