

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE  
REFORZADO CON GEOMALLAS PARA LA  
REDUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL  
PAVIMENTO**

PRESENTADO POR :

HINOSGAR ALEXSANDROVICH HINOSTROZA MOLINA

AYACUCHO - PERÚ

2018

*A Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de investigación, quien es el principal artífice de nuestros objetivos y fin común.*

*A mis padres y hermanos por su paciencia y apoyo constante durante toda mi formación profesional, mi gran motivación para cumplir cada una de mis metas.*

*A Mg. Johan Hinostroza Yucra por su amistad y apoyo durante mi formación profesional.*

*A Sheccid, mi Lebenslangerschicksasschatz, quien me dado la dicha de ser padre.*

*A mis hijas Zoé y Gala, mis mágicas princesas, que con sólo una sonrisa me alegran la existencia.*

# Agradecimientos

*Al Mg. Augusto Alza docente de la Pontificia Universidad Católica del Perú, quien contribuyo con la concepción de la idea principal de la presente tesis.*

*A mi asesor, Mg. Hemerson Lizarbe Alarcón, quien estuvo presto a apoyarme desde el inicio de esta investigación y que gracias a sus sugerencias y orientación es que decidí seguir adelante en esta investigación, a quien considero un modelo de docente universitario.*

*Al Ing. Victor Portal Quicaña por su colaboración, sugerencias y amistad, quien se ha dedicado a incitar la investigación en la ingeniería geotécnica.*

*Al Ing. Hugo Vilchez Peña por su apoyo constante y los aportes a la presente tesis.*

*A Vladimir Lopez por la información acerca del proyecto en estudio, a Vladimir Aquise por la información brindada sobre las Geomallas de Maccaferri y a mis amigos, que de alguna manera han colaborado con el desarrollo de la presente tesis.*

# Índice general

Índice general	III
Índice de tablas	VII
Índice de figuras	IX
Índice de siglas	XII
Resumen	XIII
Abstrac	XIV
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes bibliográficos . . . . .	1
1.2. Planteamiento del problema . . . . .	1
1.2.1. Problema principal. . . . .	2
1.2.2. Problemas secundarios. . . . .	2
1.3. Justificación . . . . .	2
1.4. Importancia . . . . .	3
1.5. Objetivos . . . . .	3
1.5.1. Objetivo principal. . . . .	3
1.5.2. Objetivos secundarios. . . . .	3
1.6. Hipótesis . . . . .	4
1.6.1. Hipótesis principal. . . . .	4
1.6.2. Hipótesis secundarias. . . . .	4
1.6.3. Variables e indicadores. . . . .	4
1.7. Metodología de investigación . . . . .	5
1.7.1. Tipo de investigación . . . . .	5
1.7.2. Nivel de investigación . . . . .	5

1.7.3.	Diseño de la investigación . . . . .	5
1.7.4.	Herramienta de procesamiento de datos . . . . .	5
1.7.4.1.	Análisis y modelamiento . . . . .	5
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
2.1.	Pavimentos . . . . .	6
2.1.1.	Tipos de pavimentos . . . . .	6
2.1.2.	Pavimentos flexibles . . . . .	6
2.1.3.	Estructura clásica de un Pavimento flexible . . . . .	10
2.1.4.	Estructura del pavimento flexible . . . . .	11
2.1.5.	Definición y función de las capas del pavimento flexible . . . . .	11
2.1.5.1.	Terraplén . . . . .	12
2.1.5.2.	Subrasante . . . . .	12
2.1.5.3.	Subbase . . . . .	12
2.1.5.4.	Base . . . . .	12
2.1.5.5.	Carpeta . . . . .	13
2.2.	Asfalto . . . . .	13
2.2.1.	Comportamiento del Asfalto . . . . .	13
2.3.	Geosintéticos . . . . .	16
2.3.1.	Tipos geosintéticos . . . . .	16
2.3.1.1.	Geotextiles . . . . .	16
2.3.1.2.	Geomallas . . . . .	18
2.3.1.3.	Geonet . . . . .	18
2.3.1.4.	Geomembranas . . . . .	19
2.3.2.	Tipos Geomallas . . . . .	20
2.3.2.1.	Geomalla uniaxial . . . . .	20
2.3.2.2.	Geomalla biaxial . . . . .	21
2.3.2.3.	Mecanismos de refuerzo de las geomallas . . . . .	22
2.4.	Pavimentos reforzados con geomallas . . . . .	26
2.4.1.	Geomalla como refuerzo de la subrasante . . . . .	27
2.4.2.	Geomalla como refuerzo de la base o Subbase . . . . .	29
2.5.	Métodos de diseño de pavimento flexible . . . . .	30
2.5.1.	Pavimento flexible sin refuerzo . . . . .	30
2.5.1.1.	Método AASHO 1962 . . . . .	30
2.5.1.2.	Método AASHTO 1993 . . . . .	30

2.5.2.	Pavimento flexible reforzado . . . . .	31
2.5.2.1.	Método AASHTO R-50 . . . . .	31
2.6.	Diseño de pavimento flexible reforzado . . . . .	32
2.6.1.	Diseño para la extensión de períodos de diseño . . . . .	32
2.6.1.1.	Diseño con TBR . . . . .	32
2.6.1.2.	Diseño con LCR . . . . .	33
2.6.2.	Diseño para la reducción de la estructura del pavimento . . . . .	33
2.6.2.1.	Diseño con BCR . . . . .	33
2.6.2.2.	Diseño con TBR . . . . .	35
2.6.2.3.	Diseño con LCR . . . . .	36
2.6.2.4.	Método de diseño de Giroud y Han . . . . .	39
2.7.	Análisis de elementos finitos . . . . .	40
2.7.1.	Método de elementos finitos 3D . . . . .	41
2.7.2.	Modelamiento y estrategias de enmallado . . . . .	41
2.7.3.	Método de elementos finitos 2D . . . . .	42
2.7.4.	Modelo del Pavimento . . . . .	42
<b>3.</b>	<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>45</b>
3.1.	Metodología . . . . .	45
3.2.	Datos del proyecto . . . . .	46
3.2.1.	Características técnicas del proyecto . . . . .	46
3.2.2.	Clasificación de la via . . . . .	46
3.2.2.1.	Sistema Nacional De Carreteras (SINAC) . . . . .	46
3.3.	Diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 1993 . . . . .	48
3.3.1.	Datos de diseño original . . . . .	48
3.3.2.	Diseño del pavimento flexible original . . . . .	54
3.3.3.	Rediseño del pavimento flexible . . . . .	56
3.4.	Diseño para la reducción de la estructura del pavimento . . . . .	57
3.4.1.	Diseño de pavimento flexible con LCR . . . . .	57
3.4.2.	Diseño de pavimento flexible con TBR . . . . .	58
3.4.3.	Diseño de pavimento flexible con BCR . . . . .	59
3.4.4.	Reducción de la estructura del pavimento flexible . . . . .	60
3.5.	Diseño para la extensión de períodos de diseño . . . . .	60
3.5.1.	Diseño con TBR . . . . .	61
3.5.2.	Diseño con LCR . . . . .	61

3.6.	Diseño de pavimento flexible reforzado por fabricantes de geomallas . . .	62
3.6.1.	Reducción de la estructura del pavimento . . . . .	62
3.6.2.	Extensión de períodos de diseño . . . . .	63
3.7.	Análisis de elemento finitos . . . . .	64
3.8.	Modelamiento del pavimento flexible . . . . .	64
3.8.1.	Modelo de pavimento flexible reducido . . . . .	71
3.8.2.	Refuerzo entre la subrasante y subbase del pavimento flexible .	73
3.8.3.	Refuerzo entre la subbase y base del pavimento flexible . . . . .	76
3.9.	Análisis del costo de la obra . . . . .	78
3.9.1.	Nuevo presupuesto del costo de la obra . . . . .	78
3.9.2.	Variación del presupuesto del costo de la obra . . . . .	78
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>79</b>
4.1.	Resultado del análisis . . . . .	79
4.1.1.	Estructura del pavimento flexible reforzado . . . . .	79
4.1.1.1.	Deformación vertical del pavimento flexible . . . . .	80
4.1.1.2.	Esfuerzo verticales del pavimento flexible . . . . .	81
4.1.1.3.	Esfuerzo horizontal del pavimento flexible . . . . .	83
4.1.1.4.	Esfuerzo cortante del pavimento flexible . . . . .	85
4.2.	Contratación de la hipótesis . . . . .	86
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>88</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>
	<b>Anexos</b>	<b>94</b>
	<b>Anexo A. Diseños y Presupuestos</b>	<b>94</b>
	<b>Anexo B. Información del proyecto: “Mejoramiento de la Carretera Abra Toccto – Condorccochoa (Ruta Nacional Pe-32a)”</b>	<b>115</b>
	<b>Anexo C. Otros</b>	<b>136</b>

# Índice de tablas

2.1. Condiciones de diseño de la via - Alza (2016). . . . .	28
2.2. Tipos de Beneficios - Alza (2016) . . . . .	28
2.3. Categorías de Sub rasante - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014). . . . .	29
3.1. Nivel de confiabilidad - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) . . . . .	48
3.2. Tipos de trafico pesado - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) . . . . .	49
3.3. Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) . . . . .	50
3.4. Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) . . . . .	51
3.5. Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) . . . . .	52
3.6. Calidad del Drenaje - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) . . . . .	53
3.7. Coeficiente de Drenaje ( $m$ ) para Bases y SubBases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) . . . . .	53
3.8. Diseño de pavimento flexible con $\Delta PSI = 2.00$ - Expediente técnico del GRA (2013) . . . . .	54
3.9. Rediseño de pavimento flexible con $\Delta PSI = 1.50$ - Elaboración propia	56
3.10. Diseño de Pavimento flexible reforzado usando el coef. LCR - Elaboración propia . . . . .	58

3.11. Diseño de pavimento flexible reforzado usando el coef. TBR - Elaboración propia . . . . .	59
3.12. Estructura de pavimento reducida - Elaboración propia . . . . .	63
3.13. Reducción de la estructura del pavimento - Elaboración propia . . . . .	63
3.14. Porcentaje de ahorro de material en la estructura de pavimento - Elaboración propia . . . . .	63
3.15. Extensión de períodos de diseño - Elaboración propia . . . . .	64
3.16. Propiedades de los materiales según su clasificación SUCS - Bowles (1980)	66
3.17. Propiedades de los materiales - Elaboración propia . . . . .	66
3.18. Rigidez axial de la geomalla - Elaboración propia. . . . .	67
3.19. Requerimientos agregado grueso - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013). . . . .	69
3.20. Requerimientos agregado fino - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013). . . . .	70
3.21. Valor Relativo de Soporte (CBR %) - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013). . . . .	70
3.22. Requerimientos de la Subbase Granular - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013). . . . .	70

# Índice de figuras

2.1. Pavimento flexible - Rico y Del Castillo (1984) . . . . .	10
2.2. Estructura general de un pavimento flexible - Elaboración propia . . . . .	11
2.3. Cambio en el comportamiento del asfalto en función de la temperatura. - Morea(2011) . . . . .	14
2.4. Esquema de deformaciones en el tiempo. - Morea(2011) . . . . .	15
2.5. Deformaciones en el tiempo para pavimento reforzado con geomalla y geotextil. - Alza (2016) . . . . .	15
2.6. Geotextil multi-filamento - Alza (2016) . . . . .	17
2.7. Geotextil bandalette - Alza (2016) . . . . .	17
2.8. Geotextil no tejido - Alza (2016) . . . . .	18
2.9. Geonet biaxial - Alza (2016) . . . . .	19
2.10. Geonet triaxial - Alza (2016) . . . . .	19
2.11. Geomembranas - Campaña (2011) . . . . .	20
2.12. Geomalla uniaxial - Alza (2016) . . . . .	21
2.13. Geomalla biaxial - Alza (2016) . . . . .	22
2.14. Modelo de Boussinesq - Sanchez (2012) . . . . .	22
2.15. Pavimento con carga vehicular - Elaboración Propia . . . . .	23
2.16. Distribución de esfuerzos en el pavimento - Elaboración Propia . . . . .	23
2.17. Confinamiento lateral - Caballeros (2006) . . . . .	24
2.18. Mejoramiento de capacidad de soporte - Caballeros (2006) . . . . .	25
2.19. Efecto de zapato de nieve - Caballeros (2006) . . . . .	25
2.20. Membrana tensionada - Caballeros (2006) . . . . .	26
2.21. Espesor de capa base Vs. CBR de la subrasante para 10 Millones de ESALs - Titan TE-BX series geogrids (2012). . . . .	34
2.22. Espesor de capa base Vs. CBR de la subrasante para 50 Millones de ESALs - Titan TE-BX series geogrids (2012). . . . .	34
2.23. TBR Vs. CBR de la subrasante - Tenax (2010). . . . .	35

2.24. TBR Vs. ESAL - Shih-Hsie (2006). . . . .	36
2.25. LCR Vs. CBR de la subrasante - PAVCO (2012). . . . .	37
2.26. LCR Vs. CBR de la subrasante - Bostd geosynthetics (2014). . . . .	37
2.27. LCR Vs. CBR de la subrasante - Tenax (2010). . . . .	38
2.28. LCR Vs. CBR de la subrasante - Zannoni (2016). . . . .	38
2.29. Modelo de Elementos Finitos - Flores (2012) . . . . .	41
2.30. Modelo tridimensional de 20 nodos - Flores (2012) . . . . .	42
2.31. Modelo bidimensional - Flores (2012) . . . . .	42
2.32. Discretización del pavimento a estudiar - Flores (2012) . . . . .	43
2.33. Discretización de un pavimento - Calvarano L., Leonardi G., Palamara R. (2017) . . . . .	43
2.34. Visualización de resultados - Calvarano L., Leonardi G., Palamara R. (2017) . . . . .	44
3.1. Diseño de sección tipo I - Expediente técnico del GRA (2013) . . . . .	55
3.2. Diseño de sección tipo II - Expediente técnico del GRA (2013) . . . . .	55
3.3. Diseño de sección tipo III - Expediente técnico del GRA (2013) . . . . .	56
3.4. Estructura rediseñada del pavimento flexible - Elaboración propia . . . . .	57
3.5. Pavimento flexible reducido y reforzado con geomalla - Elaboración propia	60
3.6. Pavimento flexible sin refuerzo y reforzado - Elaboración propia . . . . .	67
3.7. Fases de construcción del pavimento/Modelo 2, - Elaboración propia . . . . .	71
3.8. Desplazamiento vertical/Modelo 1, Pavimento flexible sin refuerzo - Ela- boración propia . . . . .	72
3.9. Desplazamiento vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Ela- boración propia . . . . .	72
3.10. Desplazamiento vertical/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Ela- boración propia . . . . .	73
3.11. Desplazamiento vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado- Elabo- ración propia . . . . .	74
3.12. Esfuerzo vertical/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia . . . . .	74
3.13. Esfuerzo vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	75
3.14. Esfuerzo horizontal/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elabo- ración propia . . . . .	75

3.15. Esfuerzo horizontal/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	76
3.16. Desplazamiento vertical Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	76
3.17. Esfuerzo vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	77
3.18. Esfuerzo horizontal/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración Propia . . . . .	77
4.1. Mecanismo de refuerzo en un pavimento flexible con geomallas - Fuente: Berg (2000) . . . . .	79
4.2. Desplazamiento vertical máximo al centro de la carga/Modelo 2 - Fuente: Elaboración propia . . . . .	80
4.3. Desplazamiento vertical - Leonardi y Palamara (2017) . . . . .	81
4.4. Esfuerzo vertical sin refuerzo/Modelo 2 - Elaboración propia . . . . .	82
4.5. Esfuerzo vertical, reforzado entre la Subrasante y la Subbase/Modelo 2 - Elaboración propia . . . . .	82
4.6. Esfuerzo vertical, reforzado entre la Subbase y la Base/Modelo 2 - Elaboración propia . . . . .	83
4.7. Esfuerzo horizontal/Modelo 2/Corte AA-BB,Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	83
4.8. Esfuerzo horizontal - Corte AA/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia . . . . .	84
4.9. Esfuerzo horizontal - Corte AA/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	84
4.10. Esfuerzo horizontal - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia . . . . .	85
4.11. Esfuerzo horizontal - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	85
4.12. Esfuerzo cortante - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia . . . . .	86
4.13. Esfuerzo cortante - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia . . . . .	86

# Índice de siglas

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
SINAC	: Sistema Nacional de Carreteras
GRA	: Gobierno Regional de Ayacucho
AASHTO	: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes.
ASTM	: Sociedad Americana de prueba de Materiales.
ESAL	: Carga equivalente del eje simple
$W_{18}$	: Numero de ejes equivalentes acumulados.
$W_{18(\text{Reforzado})}$	: Número de ejes equivalente reforzado
R	: Parámetro de confiabilidad
$Z_R$	: Desviación estándar normalizada
$S_o$	: Desviación estándar global.
$M_R$	: Módulo de resiliencia del material usado.
PSI	: Índice de Serviciabilidad Presente
$\Delta\text{PSI}$	: Diferencia entre los índices de servicios inicial y final.
$P_o$	: Serviciabilidad Inicial
$P_t$	: Serviciabilidad Final o Terminal
SN	: Numero Estructural
$a_i$	: Coeficientes estructurales de las capas del pavimento.
$D_i$	: Espesores de las capas del pavimento.
$m_i$	: Coeficiente de drenaje para bases y subbases
MIF	: Factor de mejora del módulo de elasticidad.
CBR	: Relación de Soporte de California.
BCR	: Reducción de la Capa Base.
TBR	: Relación del Trafico-Beneficio.
LCR	: Relación del coeficiente de capa
HDPE	: Polietileno de alta densidad
LDPE	: Polietileno de baja densidad

# Resumen

Debido al crecimiento demográfico se viene realizando la construcción de nuevas vías de acceso, donde las dimensiones de la estructura del pavimento flexible son un factor sustancial en el costo del proyecto, por lo que se han desarrollado métodos para disminuir la estructural del pavimento flexible, uno de estos métodos consiste en reforzar el pavimento mediante el uso de geomallas para mejorar el suelo, generando un confinamiento lateral y aumentar su resistencia a la tensión.

La presente investigación consiste en realizar el diseño del pavimento flexible reforzado para reducir la estructura del pavimento, donde se busca determinar los aportes de la geomalla como refuerzo y si es o no una alternativa económicamente viable sin disminuir la capacidad estructural de la vía proyectada. Asimismo, usar la metodología de diseño establecido en la norma AASHTO R-50, donde los resultados fueron comprobados con otras investigaciones internacionales y mediante un Análisis de elementos Finitos con el software Plaxis.

Con este propósito se realizó dos modelos bajo los mismos parámetros de diseño: el primero un pavimento flexible sin refuerzo (sección convencional) ; mientras que la segunda un pavimento flexible reforzado con geomallas biaxiales. Asimismo, esta investigación se enfocara en el proyecto: “Mejoramiento De Carretera Abra Toccto – Condorecocha (Ruta Nacional Pe-32a)”, que permitirá disminuir costos en la construcción del pavimento.

Los diseños de la presente investigación puede ser respaldado por los diseños hechos por: MACCAFERRI, TENSAR y PAVCO, empresa reconocidas a nivel Nacional e Internacional dedicadas a ventas de productos geosintéticos e investigación para el desarrollo de nuevos productos como parte de las solución a los problemas de ingeniería.

**PALABRAS CLAVES:** Pavimento, reforzado, geomalla, esfuerzo.

# Abstrac

Due to the population growth, the construction of new access roads has been carried out, where the dimensions of the structure of the flexible pavement are a important factor in the cost of the project, reason why methods have been developed to diminish the structure of the flexible pavement , One of these methods reinforce the pavement using geogrids to improve the soil, generating a lateral confinement and increase its resistance to stress.

The present research consists in realizing the design of the reinforced flexible pavement to reduce the pavement structure, where it is sought to determine the contributions of the geogrid as reinforcement and whether or not it is an economically viable alternative without reducing the structural capacity of the road projected. Likewise, using the design methodology established in the AASHTO R-50 , where the results are verified with other international investigations and through an analysis of the Finite elements with the software Plaxis.

For this purpose, the models were made under the same design parameters: the first was a flexible floor without reinforcement (conventional section); The second is a flexible pavement reinforced with biaxial geogrids. Likewise, this research Look upon the project: "Improvement of Open Road Tocco - Condorccochoa (National Route Pe-32a)", than reduce costs in the construction of the pavement.

The present research designs can be backed by: MACCAFERRI, TENSAR and PAVCO, a nationally and internationally recognized company dedicated to sales of geosynthetics and development of new products as part of the solution to engineering problems.

## **KEYWORDS:**

Pavement, reinforced, geogrid, stress.

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes bibliográficos

El diseño de pavimentos depende de muchos factores, uno de ellos es la capacidad de soporte de los suelos, que al ser bajo tiende a crear espesores en la estructura de pavimento mayores, por lo que se tiene que usar métodos para mejorar el suelo, uno de estos métodos consiste en reforzar el pavimento, con lo que el suelo mediante confinamiento lateral y tiende a aumentar su resistencia a la tensión.

Desde los años 60 se viene desarrollando materiales para poder reforzar suelo, entre los cuales están los polímeros, geosintéticos, etc. Es con el uso de geosintéticos que hasta la fecha se ha logrado no solo un refuerzo en suelos blandos sino un mejoramiento a nivel estructural del pavimento, estos métodos se vienen difundiendo ampliamente en todo el mundo demostrando su eficiencia en el mejoramiento de la subrasante y la base granular.

### 1.2. Planteamiento del problema

A nivel nacional, debido al crecimiento demográfico se viene realizando la construcción de nuevas vías de acceso para que así pueda existir un mejor flujo vehicular y disminuir el deterioro que sufre el pavimento, nuevas técnicas han surgido desde entonces tratando de solucionar diversos problemas que sufren los pavimentos en distintas condiciones, una de estas es el uso de geosintéticos, que sirve para el mejoramiento de los suelos.

En el Perú el uso de geosintéticos en la construcción de pavimentos se está tornando una solución algo común ya que su diseño responde a los problemas que tiene

el pavimento, por lo se requiere que estos cumplan con las normas técnicas peruanas aprobadas recientemente, los geosintéticos se vienen usando como separación, filtración, drenaje, impermeabilización y refuerzo, es de esta ultima, en la cual nos enfocaremos para poder generar una mejor solución en el diseño de pavimentos, ya que esta investigación quiere mostrar claramente el método de diseño de pavimentos reforzado con geomallas.

Esta investigación se enfocara en el uso de geomallas para disminuir la estructura del pavimento flexible usando la metodología AASHTO, esta solución permitirá disminuir costos en la construcción del pavimento, esta investigación se aplicara usando los datos del proyecto: "Mejoramiento De Carretera Abra Toccto – Condorccochoa (Ruta Nacional Pe-32a)".

### **1.2.1. Problema principal.**

- Grandes espesores en las capas de la estructura del pavimentos generara un mayor costo en la construcción de carreteras.

### **1.2.2. Problemas secundarios.**

- La contaminación de materiales granulares(base) y finos(subrasante) puede modificar los CBR de la estructura del pavimento.
- La mala distribución de esfuerzos generados por el trafico originara la disminución de la vida útil del pavimento flexible.
- La automatización del diseño de pavimentos generara mayores alternativas para la estructura del pavimento en menor tiempo.

## **1.3. Justificación**

Dada la importancia de tener vias con mayor duración, se han venido creando nuevas soluciones que permitan tener pavimentos con mayor durabilidad y que conserven sus propiedades mecánicas en el tiempo.

La tecnología de los Geosintéticos ha permitido la introducción y aplicación de nuevas metodologías de diseño y construcción. Para esta aplicación, los geosintéticos sirven para optimizar el uso de los recursos, tiempo y dinero.

Cuando una geomalla es instalado entre la subrasante y la capa base, esta aporta una resistencia la cual hace que el pavimento dure mas o se reduzca el espesor de la capa base, la geomalla además mejora la distribución de la fuerza en la estructura de nuestro pavimento, este sistema puede retardar también el desarrollo algún tipo de falla.

La presente investigación tiene como finalidad mostrar la diferencia de espesores de la estructura del pavimento flexible, diseñado por la Norma Peruana actual y la metodología AASHTO para pavimentos reforzados.

## **1.4. Importancia**

En nuestro país las vías terrestres son el medio más utilizadas para poder desplazarnos dentro de nuestro territorio, para lograr un recorrido en menor tiempo se hace uso de todo tipo de carreteras, estas son diseñadas para soportar el una cantidad de vehículos, he ahí la importancia de realizar un buen diseño de estas carreteras para garantizar su desempeño y durabilidad.

La estructura de un pavimento tiene la finalidad de permitir el tránsito vehicular, el pavimento está conformado por una o varias capas, es ahí donde se producen los mayores costos, al tener que usar capas de mayores espesores, el uso de geosintéticos en pavimentos tiende a generar menores espesores y mantener o mejorar la duración del pavimento por sus propiedades mecánicas.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo principal.**

- Realizar el diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas para reducir los espesores de la estructura del pavimento.

### **1.5.2. Objetivos secundarios.**

- Evitar la mezcla del material granular de la base con el fino de la subrasante para mantener la estructura del pavimento.
- Determinar el ESALs nuevo para el incremento de la vida útil del pavimento al usar geomallas.

- Creación de una hoja de calculo para diseño de pavimentos reforzado y la reducción de espesores en el estructura del pavimento.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis principal.**

- El uso de geomallas en el diseño de pavimento flexible permitirá reducir los espesores de las capas de la estructura del pavimento.

### **1.6.2. Hipótesis secundarias.**

- El uso de geomallas puede evitar la contaminación de materiales granulares(base) y finos(subrasante).
- Las geomallas distribuirán mejor las fuerzas generadas por el tránsito vehicular, generando un ESAL mayor, causando un alargamiento en la vida útil del pavimento.
- Una aplicación para la reducción de espesores, generara mayores alternativas para la estructura del pavimento en menor tiempo y menor numero de errores.

### **1.6.3. Variables e indicadores.**

Los parámetros que consideraremos para realizar la presente investigación serán las propiedades mecánicas de las geomallas. Las variables a considerar son:

- SN (Número estructural)
- SNr (Número estructural reforzado)
- TBR (Relación del tráfico-beneficio)
- LCR (Relación del coeficiente de capa)
- BCR (Reducción de la Capa Base)
- Espesores de las capas del pavimento
- Deflexiones verticales

## **1.7. Metodología de investigación**

La metodología que se empleara se basará en las normas AASHTO y otras para el uso de geomallas como parte de la estructura del pavimento, para lo cual nos valdremos de las especificaciones técnicas de los fabricantes, y constara de las siguientes fases.

- Recopilación bibliográfica sobre geosintéticos y sus distintas aplicaciones al area de pavimentos, así como el diseño del mismo.
- Determinación las propiedades mecánicas que influyen en el diseño del pavimento flexible.
- Determinación en que condiciones se debe usar geomallas como solución para pavimentos reforzados.

### **1.7.1. Tipo de investigación**

- El tipo de investigación será cuantitativo.

### **1.7.2. Nivel de investigación**

- El nivel de la investigación sera descriptivo - explicativo, ya que pretende describir la metodología que permitirá reducir espesores en la estructura del pavimento a partir de estudios previos hechos por AASHTO.

### **1.7.3. Diseño de la investigación**

- La investigación se realizara a partir del manual AASHTO R-50, para diseño de pavimento flexible reforzado y corroborada con el Análisis de elementos finitos, por lo que el diseño de la investigación será transversal.

### **1.7.4. Herramienta de procesamiento de datos**

#### **1.7.4.1. Análisis y modelamiento**

- Microsoft Excel
- Plaxis

# Capítulo 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Pavimentos

El pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos entre el nivel superior de la subrasante y la superficie de rodadura, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme de color y textura apropiados, resistente a la acción de tránsito, intemperismo y otros agentes perjudiciales; así como de transmitir adecuadamente los esfuerzo a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial[31].

#### 2.1.1. Tipos de pavimentos

Según Valenzuela (1993) la clasificación de pavimentos está sujeta a las limitaciones relativas; sin embargo, históricamente, los pavimentos han sido divididos en dos tipos:

**Pavimentos Flexibles.-** Consiste de una carpeta relativamente delgada construida sobre unas capas(base y subbase), apoyándose este conjunto sobre la subrasante compactada, de manera que la subbase, base y la carpeta, son los componentes estructurales de este tipo de pavimento.

**Pavimentos Rígidos.-** Consiste de una losa de concreto hidráulico, una capa subbase entre la losa y la subrasante compactada.

#### 2.1.2. Pavimentos flexibles

El pavimento flexible, que está compuesto por subbase, base y carpeta asfáltica, debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del

tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir los esfuerzos a las cargas del tránsito[31].

Según Rico y Del Castillo (1984) las características principales que debe cumplir un pavimento flexible son las siguientes:

**Resistencia estructural.-** La primera condición que debe cumplir el pavimento es, soportar las cargas impuestas por el tránsito dentro del nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto. Las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en toda la estructura. La metodología teórica para el análisis de resistencia de los pavimentos es proporcionada por la Mecánica de Suelos y es sabido que en ese campo las teorías de falla de mayor aceptación hoy son las de esfuerzo cortante; como consecuencia, en el estudio de los pavimentos flexibles suele considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural; correspondientemente, la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental. En los suelos con resistencia potencial, la repetición de las cargas puede llegar a provocar el colapso; asimismo, también la interpenetración de partículas granulares en las capas de suelo más fino.

La resistencia de los materiales que forman los pavimentos es importante desde dos puntos de vista.

1. En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.
2. En cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y el terraplén, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez al terraplén a niveles convenientes.

**Deformabilidad.-** Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman las capas del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho. Dentro de este, la subrasante (capa inferior), es mucho más deformable que las capas superiores. Desde este punto de vista la deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente profundos, pues es relativamente fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que actúan en ellas.

En los pavimentos las deformaciones interesan, como es usual en la ingeniería, desde dos puntos de vista.

1. Las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla.
2. Un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases, una de ellas es la elástica, que son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas dentro de la tecnología, bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles.

**Durabilidad.-** Las incertidumbres prácticas ligadas a la durabilidad de un pavimento flexible son grandes y difíciles de tratar. Será difícil definir cuál es la durabilidad deseable que haya de lograrse en un caso dado. Evidentemente esta está ligada a una serie de factores económicos y sociales; en una obra modesta, la duración del pavimento puede ser mucho menor que la del camino, con tal de que la serie de reconstrucciones que entonces se requieran valgan menos que el costo inicial de un pavimento, más el valor que pueda darse a las interrupciones de servicio a que las reconstrucciones den lugar; por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

**Costo.-** Como todas las estructuras de ingeniería un pavimento representa un balance entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad en general, y el costo. Un diseño correcto será el que llegue a satisfacer los requerimientos necesarios del servicio a costo mínimo.

De hecho, la primera alternativa se tiene al elegir el tipo de pavimento a emplear en cada caso; los pavimentos rígidos, flexibles o semirrígidos son ventajosos o inconvenientes según los casos, hablando comparativamente.

En general los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco, pero su costo de construcción es alto y están circunscritos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más costosa.

**Requerimientos de conservación.-** Respecto a su conservación, los factores climáticos influyen decisivamente en la vida de los pavimentos, por lo que el proyecto ha de tomarlos en cuenta para su previsión, a fin de que la conservación sea una tarea razonable; sin embargo, es obvio que tales factores involucran muchos elementos de difícil estimación, a pesar de lo cual ésta debe intentarse siempre, conjugando la experiencia precedente con una buena información de las condiciones locales.

La intensidad del tránsito también se refleja en el aspecto que ahora se analiza; se trata ahora de prever el crecimiento futuro, tanto del número como del tipo de los vehículos circulantes.

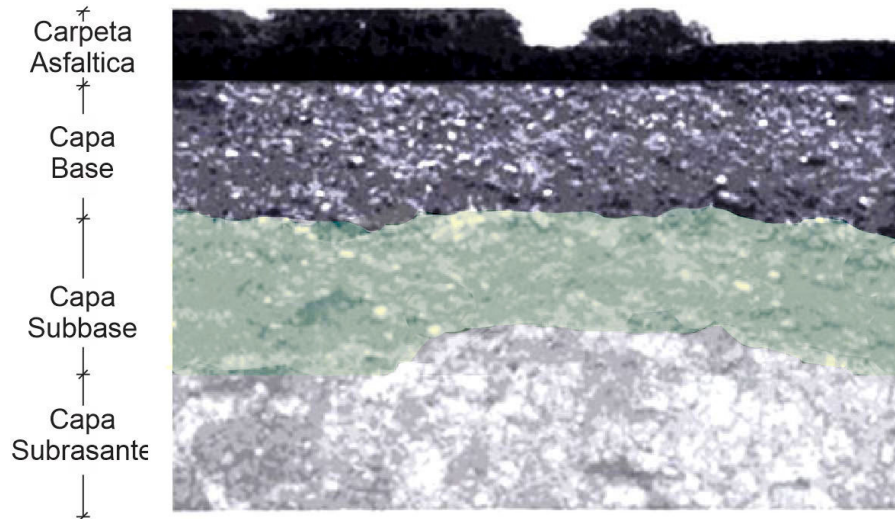
Las condiciones de drenaje y subdrenaje de la vía terrestre son seguramente uno de los puntos más importantes para definir tanto la vida de un pavimento, como su necesidad de conservación. El proyecto de aquellos elementos debe considerarse en muchas ocasiones como formando parte del diseño del pavimento, pues forma con él un todo integral inseparable, así como la degradación estructural de los materiales constitutivos por carga repetida.

Es fundamental que los requerimientos de conservación sean resueltos con buen juicio y experiencia, pues es un hecho comprobado que los descuidos en este terreno se reflejan rápidamente en una conservación costosa y aun en la necesidad de reconstrucciones.

**Comodidad.-** En grandes autopistas y caminos de primer orden, los problemas y métodos del diseño de los pavimentos deben verse afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad del proyecto. Evidentemente dentro de este requisito quedan incluidos muchos otros, donde la seguridad es el más importante; la estética y su efecto en las reacciones psicológicas del conductor merece también consideración. Las deformaciones longitudinales de un pavimento, por ejemplo, pueden constituir problema contra la comodidad, independientemente de que, desde un punto de vista estrictamente mecánico, representen poco o nada de deficiencia estructural o riesgo de falla. En caminos de especificaciones altas, el proyectista deberá elevar su nivel de exigencia, haciendo intervenir en su criterio consideraciones de esta índole, que no figuran en otros caminos más modestos, en que menores velocidades de operación o intensidades de tránsito hacen estos problemas menos críticos.

### 2.1.3. Estructura clásica de un Pavimento flexible

Según Rico y Del Castillo (1984), el sistema con que típicamente se estructuran la mayor parte de los pavimentos flexibles que se construyen en la actualidad y con el cual se trata de establecer una nomenclatura para discutir el papel que se asigna a cada una de las diversas capas es el que se muestra en la siguiente figura:



**Figura 2.1:** Pavimento flexible - Rico y Del Castillo (1984)

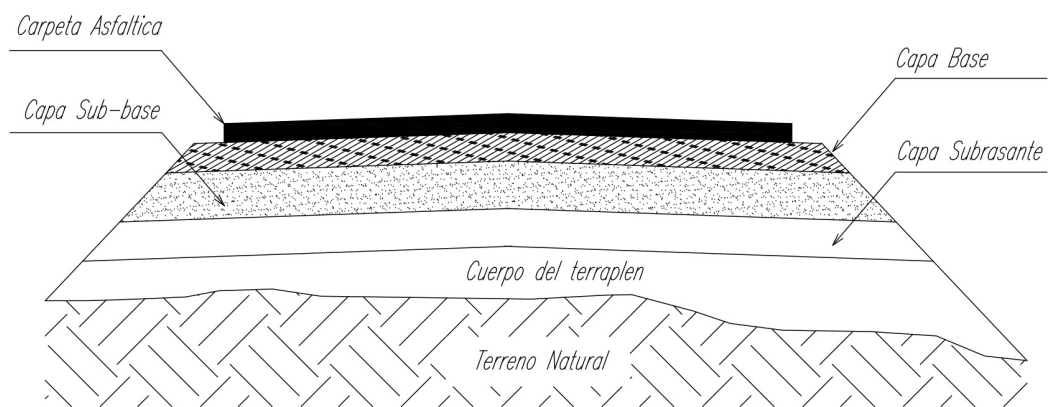
La Figura 2.1, muestra una estructuración típica (clásica) para una sección de pavimento flexible. Bajo una carpeta bituminosa, formada típicamente por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, que constituye la superficie de rodamiento propiamente dicha, se disponen casi siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas: una base, de material granular y una subbase, formada, preferentemente, también por un suelo granular, aunque el requisito obligue menos que en la base, en el sentido de poderse admitir suelos de menor calidad, con mayor contenido de finos y menor exigencia en lo que se refiere a la granulometría; la razón es, el mayor alejamiento de la subbase de la superficie de rodamiento, por el que le llegan esfuerzos de menor intensidad[24].

Bajo la subbase se dispone casi universalmente presente otra capa, denominada subrasante, todavía con menores requisitos de calidad mínima que la subbase, por la misma razón, pero cuyo fundamental papel mecánico y económico se discute cada vez menos[24].

#### 2.1.4. Estructura del pavimento flexible

Valenzuela (1993), describe la estructura de un pavimento flexible incluyendo aquellas capas que no forman parte del pavimento estrictamente pero que forman parte de la sección de un camino y que trabajan en conjunto con las capas suprayacentes (Figura 2.2).

Bajo una carpeta bituminosa, formada típicamente, por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, que constituye la superficie de rodamiento propiamente dicha, se disponen casi siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas; una base de material granular y una sub-base, formada preferentemente, también por suelo granular, aunque el requisito obligue menos que en la base, en el sentido de poder admitir suelos de menor calidad, la razón es el mayor alejamiento de la sub-base de la superficie de rodamiento, por lo que llegan esfuerzos de menor intensidad[31].



**Figura 2.2:** Estructura general de un pavimento flexible - Elaboración propia

De esto podemos decir que el pavimento esta conformador por capas de mejor calidad y mayor costo cuanto más cerca se encuentra a la superficie de rodadura[31].

#### 2.1.5. Definición y función de las capas del pavimento flexible

Valenzuela (1993) nos da las siguientes definiciones respecto a las capas del pavimento flexible, también nos muestra funciones que cumple la estructura de un pavimento flexible incluyendo aquellas capas que no forman parte del pavimento estrictamente pero que forman parte de la sección de un camino, y estas son las siguientes:

#### **2.1.5.1. Terraplén**

En algunos casos será necesario realizar la construcción de un terraplén, este será utilizada únicamente en porciones de camino, cuya función principal es dar la altura necesaria para alojar las obras de drenaje[31].

#### **2.1.5.2. Subrasante**

Tiene múltiples funciones como la de recibir y resistir las cargas del tránsito transmitidas por la capa de pavimento y transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores, evita que se contaminen las capas del pavimento cuando el cuerpo del terraplén o el terreno natural sea de material fino o arcilloso[31].

#### **2.1.5.3. Subbase**

Para muchos, una de las principales funciones de esta capa en un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirse en parte por una sub-base de menor calidad, aun cuando esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento, pues, normalmente cuanto menor sea la calidad del material colocado será mayor el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos, Su función es la de resistir las cargas de tránsito y transmitir las adecuadamente, actuar como dren para desalojar el agua que se infiltra a través de las capas superiores e impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedentes del terraplén[31].

#### **2.1.5.4. Base**

Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la comentada para el caso de la sub-base, pues permite reducir el espesor de la carpeta que viene a ser la capa más costosa. Pero la función fundamental de esta capa consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar[31].

### **2.1.5.5. Carpeta**

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textural y color convenientes para resistir los efectos abrasivos del tráfico hasta donde sea posible ya que estará en contacto directo con él, además debe impedir hasta cierta medida el paso del agua a las capas inferiores[31].

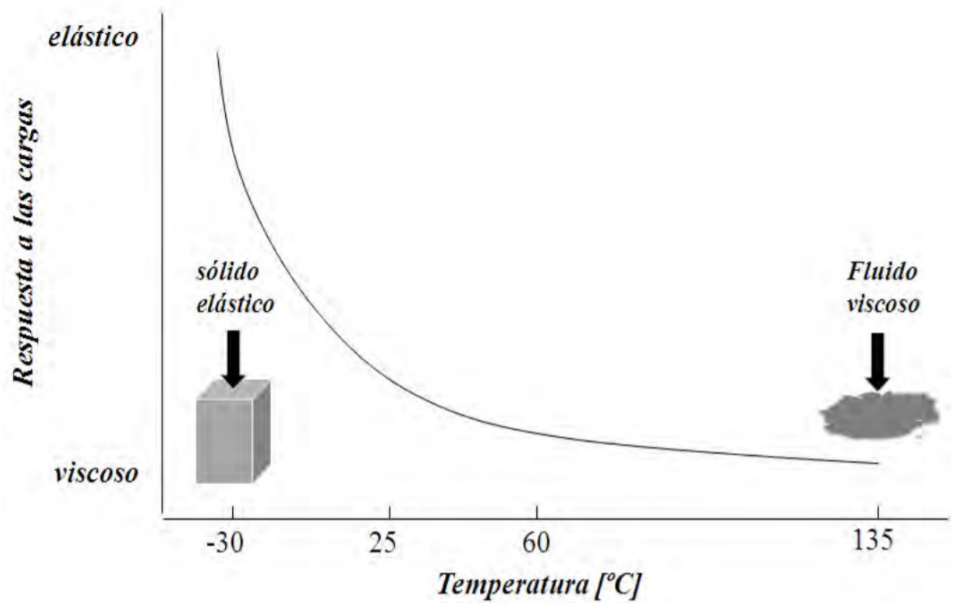
## **2.2. Asfalto**

Las propiedades reológicas del asfalto dependen de las proporciones en que están presentes sus componentes, las cuales varían de acuerdo con el origen de los crudos de petróleo. El comportamiento reológico del ligante tiene una influencia significativa en las propiedades de la mezcla asfalto-agregado (ahuellamiento, fatiga y susceptibilidad térmica). Para describir el comportamiento reológico del asfalto se debe realizar mediciones de viscosidad a diferentes temperaturas[8].

Los principales problemas que se presentan en los pavimentos asfálticos en servicio son la resistencia a la fatiga y la deformación permanente, como consecuencia de una inadecuada dosificación ligante-agregado, sus interacciones, el método y la temperatura de colocación, mezclado y compactación de la mezcla asfáltica. Las propiedades deseables en las mezclas asfálticas son: resistentes al desplazamiento, a la fatiga, al deslizamiento, a la deformación plástica, impermeables, durables, grado adecuado de flexibilidad. Asimismo, El desempeño, durabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica depende directamente de las propiedades del ligante y el agregado, su interrelación, y de los procesos de elaboración, colocación y compactación[8].

### **2.2.1. Comportamiento del Asfalto**

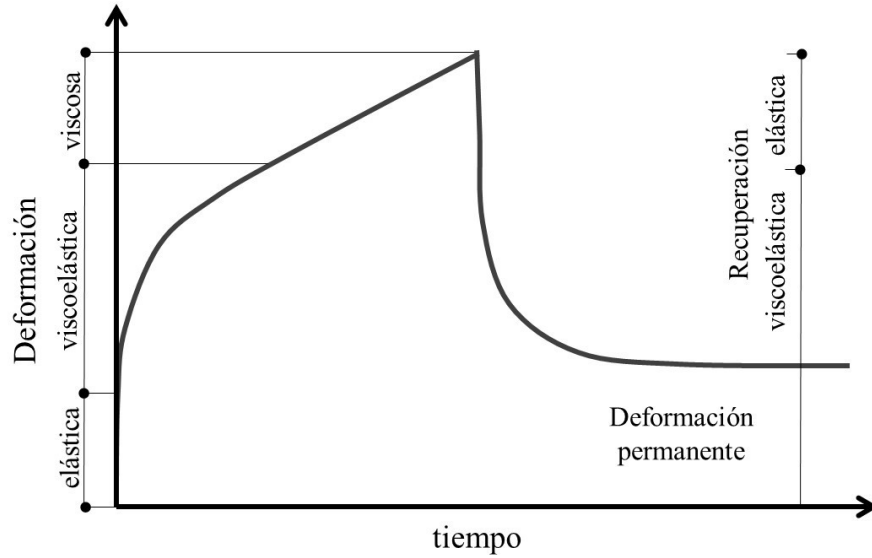
El asfalto tiene una propiedad que varía con la temperatura. A bajas temperaturas el ligante tiene el comportamiento de un sólido elástico mientras que a altas temperaturas el mismo es el de un fluido viscoso puro. En el medio se produce una transición entre los dos estados presentando un comportamiento visco-elástico, Figura 2.3. Debido a esto es importante tener en cuenta las condiciones de temperatura a las que será expuesto el pavimento, a bajas temperaturas se tendrá una mezcla que puede sufrir fisuración y a altas temperaturas ahuellamientos[18].



**Figura 2.3:** Cambio en el comportamiento del asfalto en función de la temperatura. - Morea(2011)

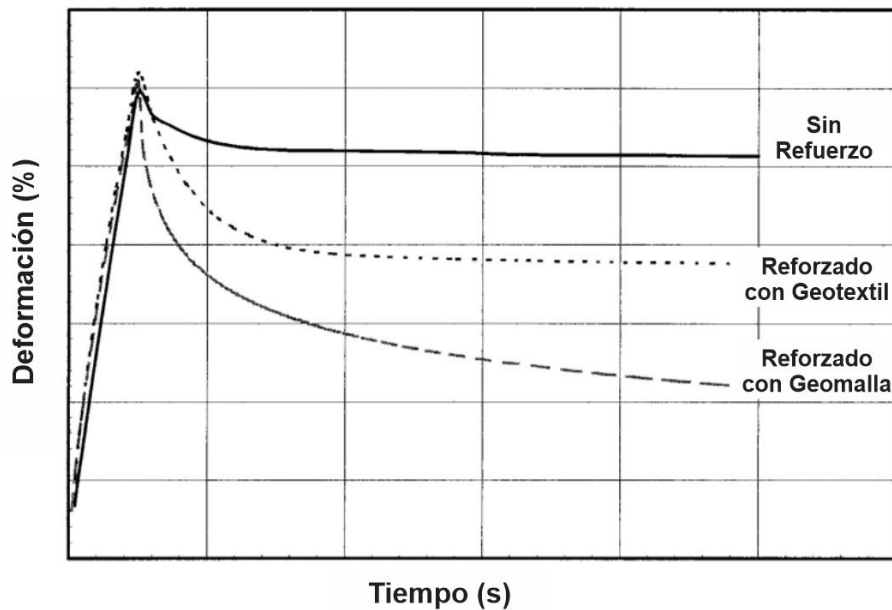
El ahuellamiento de las mezclas asfálticas débiles es un fenómeno asociado a las altas temperaturas para el pavimento, y es más probable que ocurra en verano, a estas temperaturas el asfalto se comporta más como un fluido viscoso que como un sólido elástico, por lo que aumenta la componente plástica de deformación del mismo y aumentan en consecuencia las deformaciones remanentes. Este comportamiento del ligante se traslada a la mezcla. Si la rigidez del ligante no es suficiente, no es capaz de sujetar las partículas de agregado en su sitio y éstas pueden moverse compactando el esqueleto hacia una configuración más densa, pudiendo ocurrir exudaciones y deformaciones excesivas en la superficie.

Según Morea(2011), las deformaciones del ligante pueden dividirse en tres componentes: una deformación elástica, una deformación visco-elástica retardada y una deformación viscosa pura (Figura 2.4). A cada una de estas deformaciones se les puede asociar una energía. Por tanto, la energía involucrada en el proceso de deformación ( $W$ ) tendrá una componente elástica, una visco-elástica retardada y una viscosa pura. La magnitud de la energía visco-elástica retardada depende del tiempo de aplicación de la carga y de relajación que disponga el material para recuperar la deformación, mientras que la parte viscosa es la energía que contribuye a las deformaciones permanentes de la mezcla.



**Figura 2.4:** Esquema de deformaciones en el tiempo. - Morea(2011)

Por tanto, el pavimento, el asfalto, y por ende la mezcla, tiene un comportamiento viscoelástico a temperaturas de servicio y las deformaciones resultan una combinación de deformaciones elásticas y plásticas (o viscosas) producto del tránsito. Cada vez que se aplica una carga tiene lugar, aunque sea en una mínima medida, una deformación permanente. Las cargas cíclicas entregan energía deformando la superficie del pavimento. Una fracción de esa energía se recupera en forma elástica y la otra es disipada en forma de calor y flujo.



**Figura 2.5:** Deformaciones en el tiempo para pavimento reforzado con geomalla y geotextil. - Alza (2016)

Si bien el asfalto tiene un comportamiento viscoelástico, se asumirá un comportamiento lineal para el asfalto, debido a que nos ceñiremos en los lineamientos establecidos por distintos investigadores que toman en cuenta el reforzamiento con geomallas y cuyas publicaciones son: “Modelamiento de Elementos Finitos del Pavimento Flexible Reforzado con Geomalla”, G. Leonardi & R. Palamara (2017); “Modelamiento de Elementos Finitos de caminos no pavimentados reforzadas con geosintéticos”, Lidia Sarah Calvarano & Giovanni Leonardi & Rocco Palamara (2017) y “Modelamiento numérico del suelo reforzado con geomalla debajo de la base de la zapata usando análisis de elementos finitos”, Ahmed M. Gamal & Adel M. Belal (2016).

## **2.3. Geosintéticos**

Un producto planar manufacturado de material polimérico usado en contacto con: suelos, rocas, tierra, u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, al mismo tiempo que forma parte integral de un proyecto hecho por el hombre[15]. Los geosintéticos son productos 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[6].

La fabricación de los geosintéticos comprende procedimientos de extrusión, tecnología textil o sino una combinación de los 2 procesos mencionados es decir: textil y plástica.

Campana (2011), define los compuestos básicos que forman los geosintéticos que se derivan de fibras artificiales, compuestos de polímeros como: Polipropileno, Poliéster y Polietileno.

### **2.3.1. Tipos geosintéticos**

Existen muchas variedades de geosintéticos, entre los cuales están podemos mencionar los siguientes.

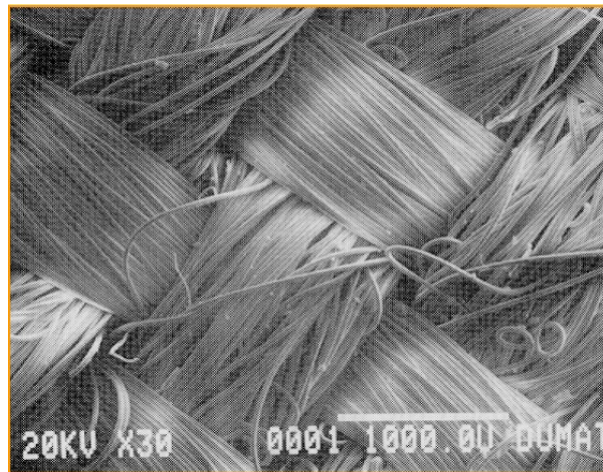
#### **2.3.1.1. Geotextiles**

Es un geosintético permeable que consiste exclusivamente de textiles. Los geotextiles son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros en sustitución de agregados graduados, como estabilizadores de suelos blandos y co-

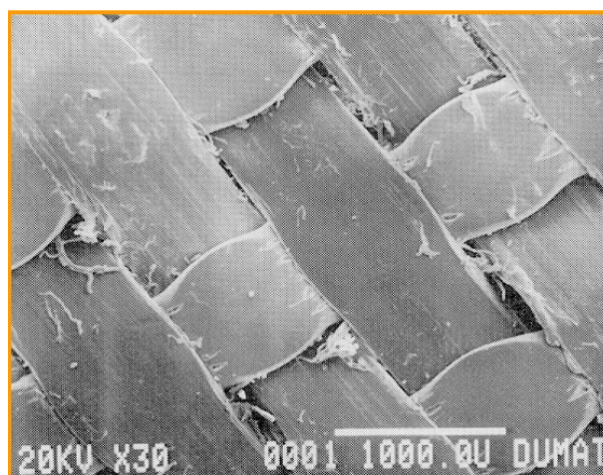
mo elementos para sustituir la erosión de suelos, que se utiliza en contacto con el suelo(tierra,piedras,etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas[6]. Por su tipo de fabricación se puede clasificar en dos, tejidos y no tejidos:

**Tejidos.-** Son estructuras planas y regulares producidas a través del entrelazamiento, generalmente en ángulos rectos, de dos o más juegos de hilos en dos direcciones referenciales, Figura 2.6 y 2.7, que constituyen así los hilos de urdidura (paralelos al sentido de producción) y los hilos de la trama (perpendiculares a los hilos de urdidura)[7].

Los geotextiles tejidos pueden distinguirse en función de la sección de las fibras, subdividiéndose en geotextiles tejidos de tipo monofilamento, multifilamento y del tipo “bandalette “(cintas achatadas)



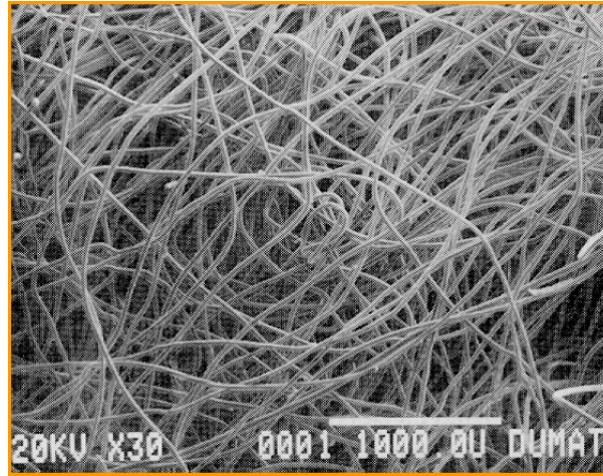
**Figura 2.6:** Geotextil multi-filamento - Alza (2016)



**Figura 2.7:** Geotextil bandalette - Alza (2016)

**No tejidos.-** Son estructuras planas formadas por fibras o filamentos, orientados aleatoriamente, interligados por procesos mecánicos, térmicos o químicos, Figura 2.8.

Por la extensión de sus fibras, pueden ser de fibras cortas o de filamentos continuos[7]. Generalmente estos son geotextiles que tienen altas fuerzas a la tensión, alto módulo y baja elongación[6].



**Figura 2.8:** Geotextil no tejido - Alza (2016)

### 2.3.1.2. Geomallas

Las geomallas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, la principal función de las geomallas es de refuerzo. Un material geosintético que consiste de juegos de costillas paralelas conectadas, con aperturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante[7].

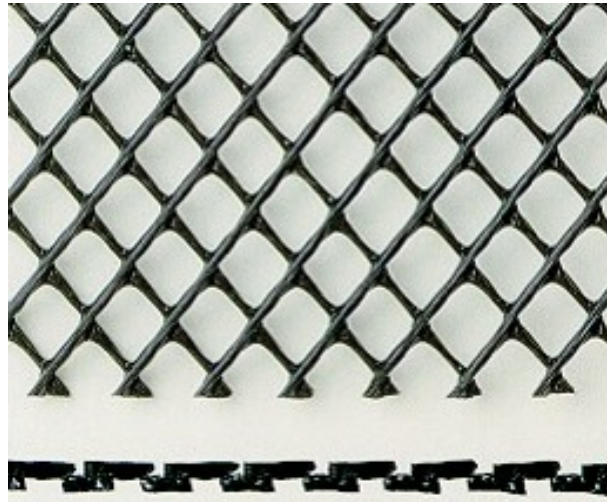
Podemos clasificar las geomallas por el proceso de fabricación en extruídas, tejidas y soldadas, estudiaremos las extruídas que son fabricadas con polietileno de alta densidad o polipropileno y cuyos conceptos detallaremos más adelante.

### 2.3.1.3. Geonet

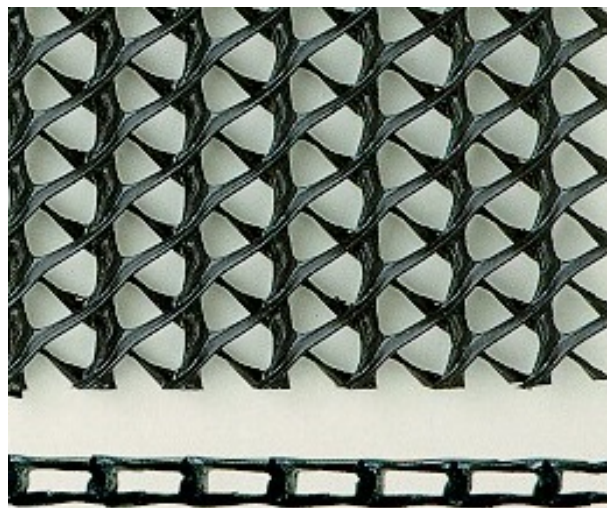
Un material geosintético que consiste en una serie de juegos de costillas paralelas, integralmente conectados a un ángulo dado, para el drenaje de líquidos y gases. Son geosintéticos mono funcionales, diseñados específicamente como sistemas de drenaje. Su principal uso es bajo barreras de impermeabilización primarias, para la conducción de fugas a los sistemas de detección y colección de las mismas[6].

Según Campaña (2011), la geonet es un geosintético utilizado como dren. Es usada en sustitución de los drenes granulares debido a su alta capacidad de drenaje planar detrás de muros y placas de contención de concreto, como capa de detección de fugas en sistemas multi-capas de impermeabilización por ejemplo, en rellenos sanitarios,

pudiendo ser biaxial(Figura 2.9) o triaxial(Figura 2.10), siendo el biaxial el tipo mas común de geonet, también tienen la capacidad de soportar elevados esfuerzos normales.



**Figura 2.9:** Geonet biaxial - Alza (2016)



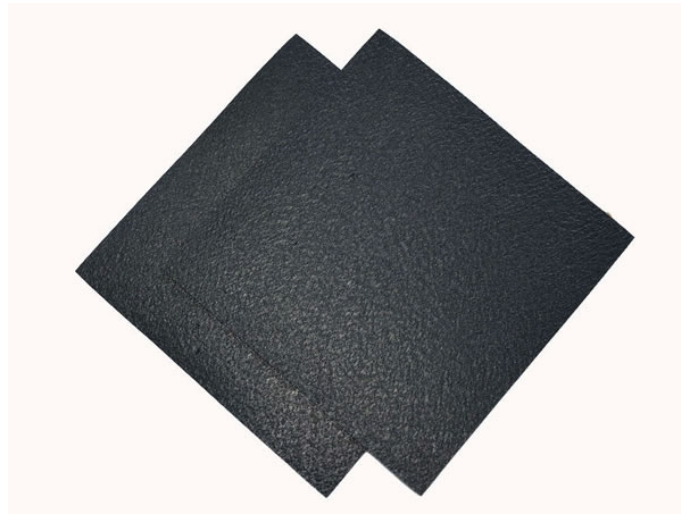
**Figura 2.10:** Geonet triaxial - Alza (2016)

#### **2.3.1.4. Geomembranas**

Las geomembranas se definen como un material de recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos(Figura 2.11). Las geomembranas son fabricadas a partir de polímeros como es el HDPE, LDPE o PVC los cuales permiten efectuar uniones entre láminas por medio de fusión térmica o química sin alterar las propiedades del material[6].

La norma ASTM D4439 la define como membrana sintética de muy baja permeabilidad usada como barrera o revestimiento de un material geotécnico, para el control

de la migración de fluidos, en un proyecto, estructura o sistema hecho por el hombre.



**Figura 2.11:** Geomembranas - Campaña (2011)

### **Geomembranas PVC (Cloruro de polivinilo)**

Las membranas de PVC son películas flexibles e impermeables que se fabrican bajo dos procesos cada uno con capacidad de brindar soluciones de recubrimientos en obras de ingeniería, con refuerzo textil o sin refuerzo, se han utilizado en obras como recubrimiento de piscinas, tanques de agua, para almacenamiento de líquidos, por su alta flexibilidad o para el recubrimiento de túneles; membranas texturizadas para desarrollar más fricción con el suelo cuando los taludes a recubrir tienen pendientes importantes[6].

### **Geomembranas HDPE (Polietileno de alta densidad)**

Láminas impermeables que por su composición y características mecánicas y físicas presentan mayor durabilidad y resistencia, al ser fabricada para contrarrestar los rayos ultravioletas[6].

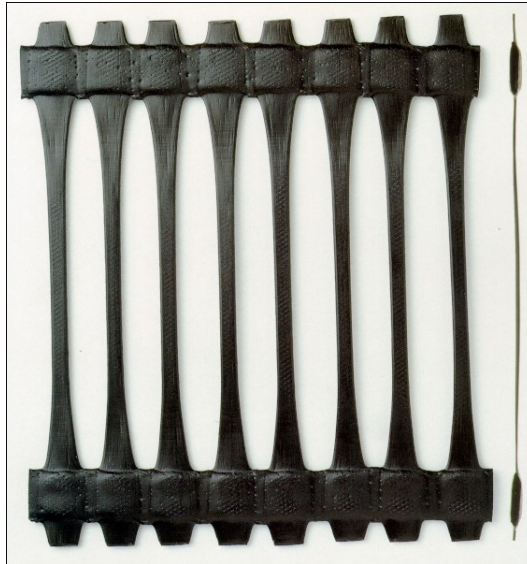
## **2.3.2. Tipos Geomallas**

### **2.3.2.1. Geomalla uniaxial**

Las geomallas uniaxiales poseen toda su capacidad alineada en una única dirección(Figura 2.12), con juntas transversales, éstas se utilizan en aplicaciones donde se conoce a ciencia cierta la dirección de aplicación de la carga, soportando así grandes cargas de tracción en la dirección del rollo, por ejemplo en el refuerzo de taludes y muros, fabricadas principalmente con polietileno. Estas suelen utilizarse como un refuerzo

primario del suelo, brindándole resistencia al mismo, permitiendo en el caso de taludes, tomar ángulos de inclinación prácticamente verticales[5].

Actúan mediante dos mecanismos, por un lado, transfieren las tensiones resistentes al suelo por el empuje pasivo que se genera en los miembros transversales de la misma, y por el otro lado, crean esfuerzos de fricción entre el suelo y sus superficies horizontales, creando un refuerzo eficaz[5].



**Figura 2.12:** Geomalla uniaxial - Alza (2016)

#### **2.3.2.2. Geomalla biaxial**

Las geomallas biaxiales poseen capacidad de carga en ambas direcciones(Figura 2.13), aproximadamente perpendiculares entre sí, y se utilizan para refuerzos con cargas en direcciones variables, por ejemplo carreteras[5].

Estas son fabricadas principalmente con resinas selectas de polipropileno, son química y biológicamente inertes y muy resistentes a procesos degenerativos de los suelos, además de ser resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección del plano. Dentro de las geomallas biaxiales pueden diferenciarse otros dos grupos, las geomallas rígidas y las geomallas flexibles. Las primeras son aquellas fabricadas de polipropileno, y las segundas fabricadas generalmente con fibras de poliéster unidas en los puntos de encuentro mediante diferentes métodos de tejido con un revestimiento generalmente de PVC[5].

La función más importante que debe cumplir la geomalla biaxial es de refuerzo de las capas de la estructura de pavimento flexible, ayudando efectivamente a soportar las cargas vehiculares sobre la misma, ya sea durante el proceso constructivo, o bien

durante su funcionamiento[5].

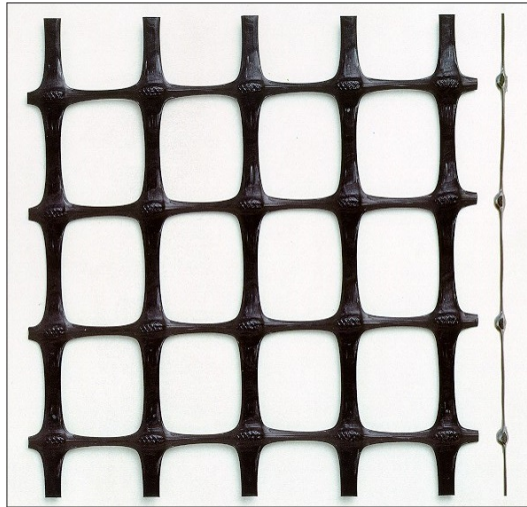


Figura 2.13: Geomalla biaxial - Alza (2016)

### 2.3.2.3. Mecanismos de refuerzo de las geomallas

El comportamiento de un pavimento asfáltico bajo la acción de las cargas de tránsito puede ser caracterizado, considerando que está formado por material isótropo, homogéneo y elástico lineal; asimismo, este debe tener un área infinitamente grande y una profundidad infinita con una superficie plana sobre la cual se aplican las cargas, además, por medio de esta se usa la teoría elástica para determinar esfuerzos, deformaciones[26].

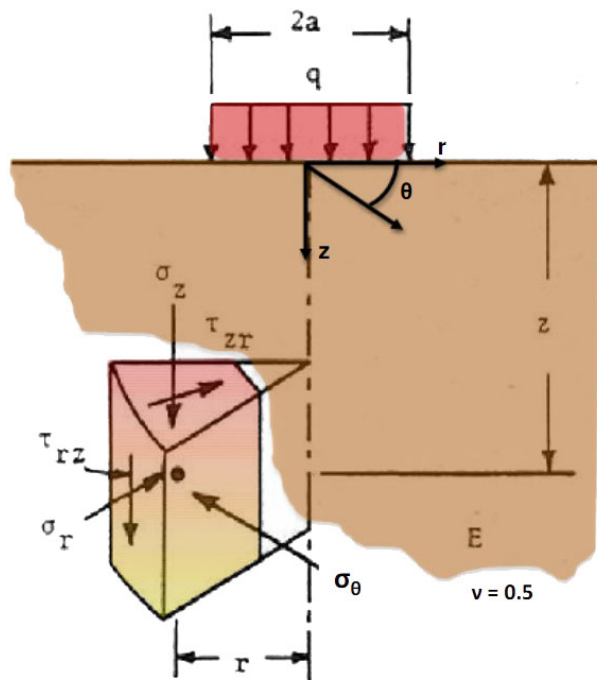
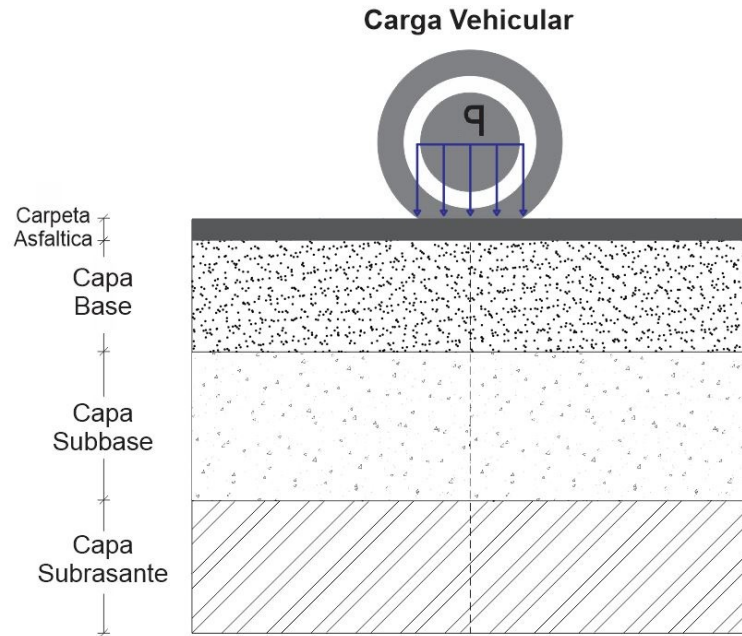


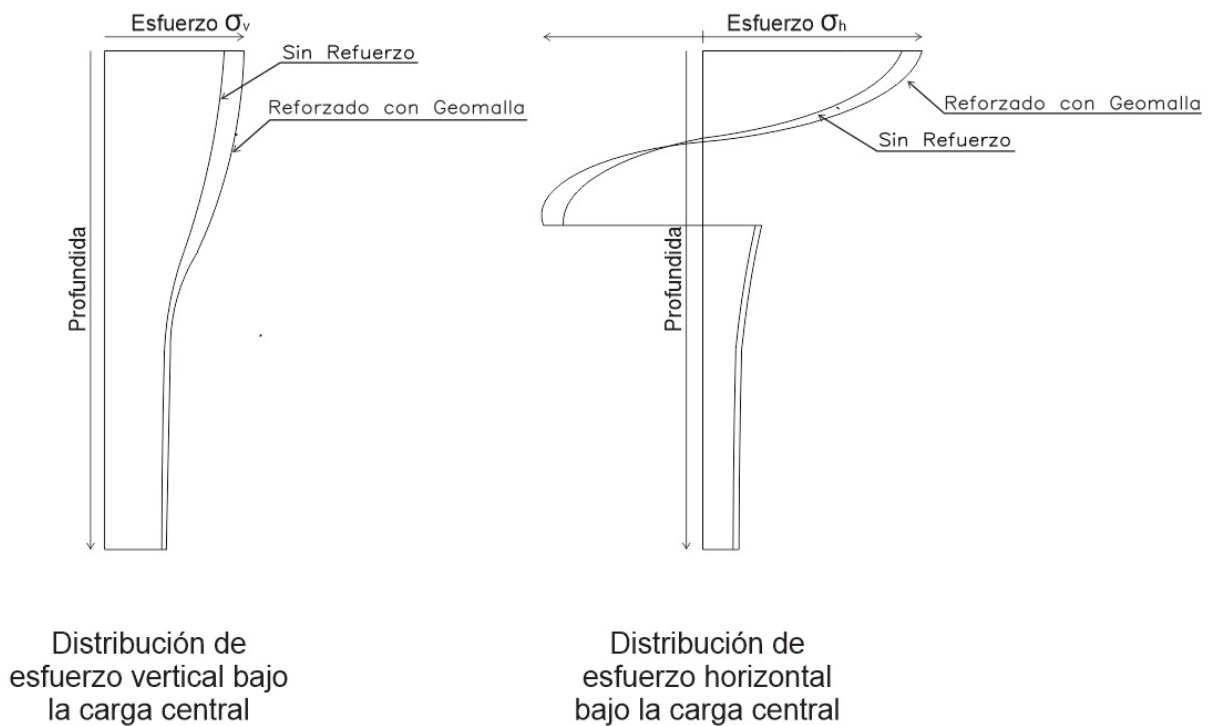
Figura 2.14: Modelo de Boussinesq - Sanchez (2012)

En la Figura 2.14, se muestra el modelo de Boussinesq cuya solución se da en un sistema en coordenadas cilíndricas ( $r, \theta, z$ ) con origen en el centro y con una carga uniforme ( $q$ ) tipo circular de radio ( $a$ ), el módulo elástico ( $E$ ) y la relación de Poisson ( $\nu$ ) del material.



**Figura 2.15:** Pavimento con carga vehicular - Elaboración Propia

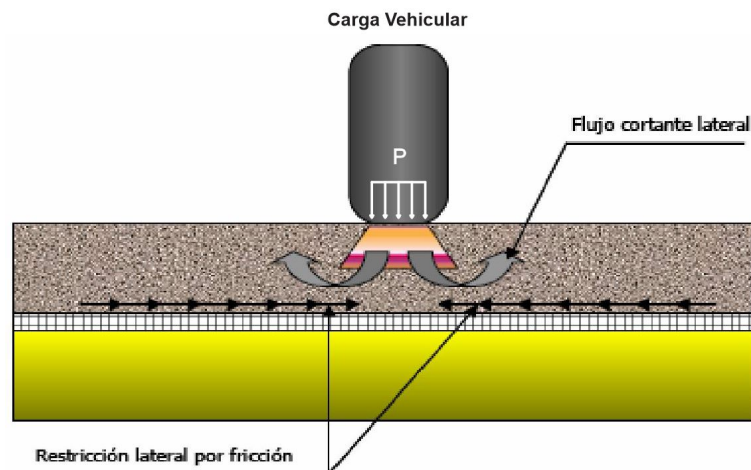
### DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS



**Figura 2.16:** Distribución de esfuerzos en el pavimento - Elaboración Propia

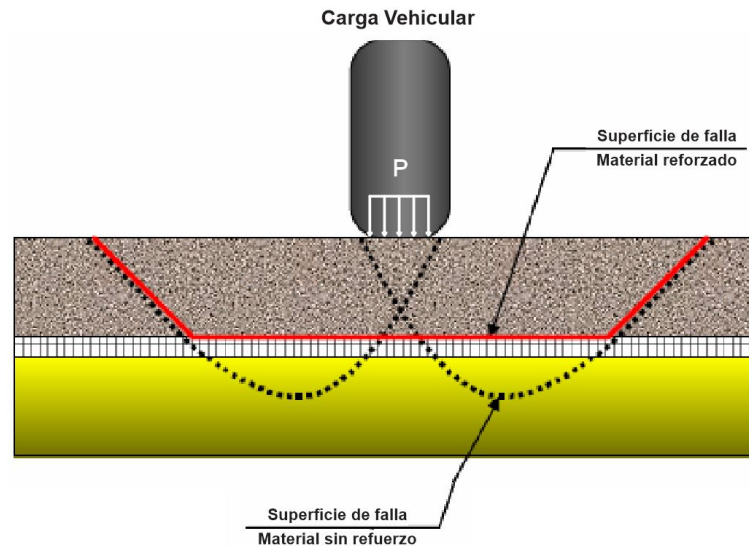
En la Figura 2.16, se muestra la distribución de esfuerzos horizontales y verticales en el pavimento flexible con y sin refuerzo, bajo el centro de la carga (Figura 2.15), en la cual se aprecia un incremento en los esfuerzo verticales y por ende una reducción en la deformación de la estructura del pavimento flexible reforzado. Asimismo, Orrego(2014) menciona tres principales mecanismos de refuerzo que son proporcionados por una geomalla biaxial o por una geomalla multiaxial que han sido definidos por Giroud y Noiray(1981).

**Confinamiento lateral.-** Este mecanismo se obtiene por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo, como se muestra en la Figura 2.17. Al aumentar el confinamiento lateral se crea una restricción lateral por fricción que impide el desplazamiento lateral de las partículas; asimismo, la fuerza cortante generada por el tráfico es resistida por las capas granulares y la geomalla. Esta carga, cuando se mide como fuerza por unidad de longitud, se denomina flujo de corte lateral. Estos aportes reducen las deformaciones verticales y los ahuellamientos en la superficie de rodadura[30].



**Figura 2.17:** Confinamiento lateral - Caballeros (2006)

**Mejoramiento de la capacidad de soporte.-** 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 2.18) disminuyendo los esfuerzos que el material no competente (suelo blando) debe soportar[21].



**Figura 2.18:** Mejoramiento de capacidad de soporte - Caballeros (2006)

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 2.19).



**Figura 2.19:** Efecto de zapato de nieve - Caballeros (2006)

**Membrana tensionada.-** Este mecanismo se origina cuando se presenta un ahuecamiento o deformación considerable debido a una carga vehicular sobre la vía (Figura 2.20); en estos esfuerzos son soportados por la resistencia a la tensión del refuerzo (Geomalla) [21]. Este efecto de membrana tensionada, desarrolla en el refuerzo una resistencia vertical y un confinamiento hacia abajo, aumentando la resistencia al corte [20].

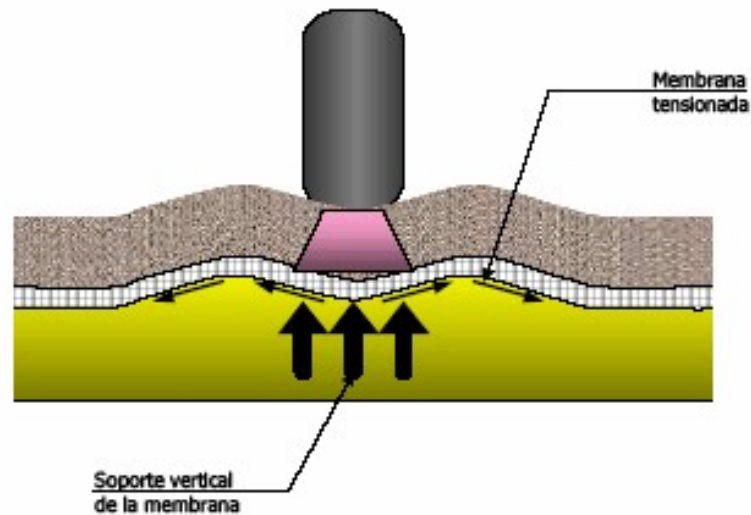


Figura 2.20: Membrana tensionada - Caballeros (2006)

Durante mucho se tiempo se consideró que este era el principal mecanismo de refuerzo. Sin embargo este mecanismo se activa para altos niveles de deformación, generalmente solo ocurre en vías no pavimentadas después de que la vía ha soportado un elevado número de cargas debido al tráfico. Esto se debe a que en vías pavimentadas, la deformación necesaria para movilizar este sistema de refuerzo es mucho mayor a la que se espera sin que se generen consecuencias perceptibles por el usuario[5].

Por esta razón, se considera que la aplicación de la geomalla como **mejoramiento de subrasantes**, se deberá considerar el mejoramiento de la capacidad portante y, en menor grado, el efecto de membrana tensionada. No obstante, para aplicaciones de **refuerzo de base del pavimento**, el confinamiento lateral es el mecanismo de refuerzo más importante[21].

## 2.4. Pavimentos reforzados con geomallas

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[6].

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. Esto se logra mediante la distribución de cargas de manera más eficiente, reduciendo la presión sobre la sub-rasante, mejorando de este modo su

desempeño, utilizando el mismo principio de las raquetas para nieve, que soportan el peso de un hombre sobre la nieve blanda, transformando la carga puntual en una carga distribuida[6].

### 2.4.1. Geomalla como refuerzo de la subrasante

En suelos blandos las subrasantes débiles representan un problema común en la construcción de pavimentos, el fallo de la misma conduce al deterioro rápido de la estructura del pavimento flexible, tradicionalmente, estas sub-rasantes débiles, pobres o contaminadas han sido removidas para ser reemplazadas con relleno de material importado, o bien estabilizadas químicamente. Sin embargo estas opciones son sumamente caras y consumen mucho tiempo durante el proceso constructivo[5].

Según Caballeros (2006), la incorporación de la geomalla incrementa la resistencia de la subrasante, formando una estructura de pavimento flexible más resistente, mejorando la compactación, reduciendo la oscilación y el punzonamiento maximizando la capacidad de carga de la subrasante, además de reducir costos y tiempos provocados por el movimiento de tierras[5].

En la medida en que la resistencia de la subrasante se incrementa, la aplicación de la geomalla va desde la estabilización hasta el refuerzo de la capa granular, Caballeros (2006) define la utilización de la geomalla en los siguientes rangos de CBR para la subrasante:

$0 \leq CBR < 2$  : Para permitir la construcción de una plataforma de trabajo (mejoramiento de la sub-rasante) y proteger la sub-rasante ante fallas por capacidad soporte.

$2 \leq CBR < 4$  : Para garantizar la estabilidad de las capas granulares.

$CBR \geq 4$  : Para reducir el espesor de las capas de base granular y aumentar la vida útil de la estructura del pavimento flexible.

Además, la Alza (2016) propone el uso de la Tabla 2.1 y 2.2

**Tabla 2.1:** Condiciones de diseño de la vía - Alza (2016).

SUBRASANTE	Espesor de Base/Subbase (mm)	Geomalla Extruida	Geomalla Tejida
Baja (CBR <3)	150-300	1	4
	300<	3	3
Moderada (3 < CBR <8)	150-300	1	4
	300<	2	4
Firme (CBR > 8)	150-300	3	4
	300<	2	2

1. Usualmente aplicable
2. Usualmente no aplicable
3. Aplicable para algunas (varias) condiciones
4. Insuficiente información hasta este momento

**Tabla 2.2:** Tipos de Beneficios - Alza (2016)

BENEFICIO	CONDICIÓN INICIAL DE LA SUBRASANTE		
	Baja (CBR <3)	Moderada (3 < CBR <8)	Firme (CBR > 8)
Refuerzo de la capa de subbase para reducir la sección de la vía.	1	2	3
Refuerzo de la capa de base para reducir la sección de la vía.	2	1	2
Refuerzo de la capa de subbase para incrementar el periodo de vida útil de la vía.	2	2	2
Refuerzo de la capa de base para incrementar el periodo de vida útil de la vía.	1	1	2

1. Usualmente es un beneficio que se consigue
2. Se alcanza este beneficio en algunas condiciones
3. Usualmente no se logra este beneficio

Asimismo, en la Tabla 2.3 se muestra los rangos de la sub rasante sobre las que se asienta el pavimento, las cuales están definidas por el MTC en seis (06) categorías de sub rasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

**Tabla 2.3:** Categorías de Sub rasante - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014).

Categorías de Sub rasante	CBR
S0: Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Sub rasante regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Sub rasante buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Sub rasante muy buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Sub rasante excelente	CBR ≥ 30%

## 2.4.2. Geomalla como refuerzo de la base o Subbase

Este tipo de refuerzo se ha definido como refuerzo en la capa granular, 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, las capas reforzadas con geomalla resisten este movimiento lateral y brindan un mejor desempeño a largo plazo[5].

La restricción al desplazamiento lateral hace referencia al confinamiento que restringe el desplazamiento del material granular ante la aplicación de cargas. Dado que la mayoría de los materiales utilizados para la construcción de pavimentos flexibles son esfuerzo – dependientes, la restricción al desplazamiento lateral hace que queden trabajando permanentemente a compresión, obteniendo como resultado un aumento en el módulo mecánico de la capa de base, lo que significa una mayor capacidad de soporte y de distribución de esfuerzo, por lo tanto, menores deformaciones sobre la subrasante[5].

Caballeros (2006) menciona que el refuerzo a tensión que ejerce la geomalla interactúa con el suelo esta en función del módulo de deformación elástico de la geomalla y de la restricción lateral al movimiento del suelo granular, utilizando para ello, de preferencia suelos granulares con mayor cantidad de partículas angulares, para obtener un mayor efecto de refuerzo como resultado de la interacción de las partículas y la geomalla. La relativa alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta. Una deformación lateral más pequeña de la base se traduce en menor deformación vertical de la superficie de

rodadura[5].

## **2.5. Métodos de diseño de pavimento flexible**

### **2.5.1. Pavimento flexible sin refuerzo**

#### **2.5.1.1. Método AASHO 1962**

El primer antecedente en el diseño de pavimentos según el método AASHTO se tiene con el AASHO Road Test que fue un ensayo realizado sobre pavimentos de determinadas características bajo diferentes cargas en Ottawa, Illinois entre 1958 y 1960. De estos ensayos se obtuvo información para ser aplicada en la metodología de diseño de pavimentos. Así aparece la AASHO “Guía provisional para el diseño de pavimento rígido y flexible” en 1962 que contenía procedimientos de diseño basados en modelos empíricos deducidos de datos recolectados en el AASHO Road Test. Luego aparece la “AASHTO Guía provisional para el diseño de estructuras de pavimento” en 1972, en 1986 aparece la “AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento” con muchas modificaciones con respecto a la de 1972(se tiene en cuenta la confiabilidad, módulos resilientes de materiales, coeficientes de drenaje y efecto de subrasantes expansivas o sometidas a congelación y deshielo) y finalmente, en 1993 fue hecha una versión revisada de “AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento”, y que en adelante se usa para el diseño de pavimentos flexibles[23].

#### **2.5.1.2. Método AASHTO 1993**

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito durante el período de diseño [5]

El propósito del modelo es el cálculo del Numero Estructural requerido (SN<sub>r</sub>), en base al cual se identifican y determinan los espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto[5].

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural (SN)” para el pavimento flexible y que pueda soportar el nivel de carga solicitado. El método proporciona la ecuación general 2.1 Para determinar el número estructural requerido, y que involucra los siguientes parámetros:

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}(M_R) - 8.07 \quad (2.1)$$

- $W_{18}$  : Numero de ejes equivalentes acumulados para el período de diseño.
- $R$  : El parámetro de confiabilidad (%).
- $Z_R$  : Desviación estándar normalizada.
- $S_0$  : La desviación estándar global.
- $M_R$  : Módulo de resiliencia del material usado para la subrasante(PSI).
- $\Delta PSI$  :Diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados.

## 2.5.2. Pavimento flexible reforzado

Antes de poder hablar del diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas, mencionaremos que el método de diseño comúnmente usado en el nuestro país, corresponde al AASHTO 93, cual se basa en la determinación del SN (Numero Estructural) y es a partir de este que se definen los espesores de las capas, estos mismos factores participaron en el diseño del pavimento con geomallas, cuyos datos serán usados durante el diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas.

### 2.5.2.1. Método AASHTO R-50

AASHTO ha trabajado dos guías con respecto al uso de geosintéticos para el refuerzo de bases granulares en estructuras de pavimentos flexibles: AASHTO PP-46 publicado en el año 2001, y AASHTO R-50 (2009), que es una versión actualizada y la última versión de este documento hasta el momento. Estos documentos tienen la finalidad de brindar una guía para el uso de estos materiales (se refiere, principalmente al uso de geotextiles y geomallas) cuando se busca incluir el aporte estructural que se

genera al colocar un refuerzo tanto en la base como en la subbase de la estructura del pavimento flexible[21].

Este método es compatible con el método tradicional presentado en AASHTO 1993 añadiendo algunos conceptos como son el BCR, TBR y LCR, que serán importantes para poder determinar los espesores reducidos de la estructura del pavimento, a continuación se detallan algunos conceptos:

**BCR (Reducción de la Capa Base):** Este es un factor que se define como la reducción, en porcentaje, es el espesor necesario para alcanzar una falla determinada con anterioridad bajo las mismas condiciones al comparar una sección reforzada con una no reforzada[1].

**TBR (Relación del Trafico-Beneficio):** Es el número que indica el incremento de números de ciclos de carga para alcanzar una falla previamente definida en comparación con el número de ciclos de carga medidos sobre una sección no reforzada. El TBR también es denominado TIF (factor de mejora del tráfico)[1].

**LCR (Relación del coeficiente de capa) :** Este factor se define como la relación de los coeficiente de capa de la capa granular reforzada y el coeficiente de la capa granular sin reforzar[22].

## 2.6. Diseño de pavimento flexible reforzado

### 2.6.1. Diseño para la extensión de períodos de diseño

Según Berg(2000), al mantener los espesores de las distintas capa del pavimento el número estructural de la sección reforzada aumenta. Este número estructural aumentado conduce a una vida útil prolongada del pavimento, para realizar una extensión de períodos de diseño podemos usar los siguientes métodos:

#### 2.6.1.1. Diseño con TBR

El TBR de diseño se puede utilizar para calcular un período de rendimiento extendido. Para el caso reforzado, el TBR se aplica para calcular un número equivalente reforzado ( $W_{18(Reforzado)}$ ) de aplicaciones de carga de un solo eje de 18 kip equivalentes[21]. El valor equivalente reforzado viene a ser el productor del numero de ejes equivalentes acumulados para el período de diseño y el factor TBR, tal como se muestra a continuación:

$$W_{18(Reforzado)} = W_{18(SinReforzar)} x T B R \quad (2.2)$$

### 2.6.1.2. Diseño con LCR

El LCR de diseño puede ser utilizado para calcular un período de rendimiento extendido. La relación de coeficientes de capas (LCR) de la capa de base se aplica a la ecuación del número estructural como se ve continuación, alternativamente se puede aplicar una LCR de diseño a la subbase:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 LCR + a_3 D_3 m_3 \quad (2.3)$$

Donde :

- **SN** : Número estructural del pavimento.
- $a_1, a_2, a_3$  : Son los coeficientes estructurales de las capas del pavimento.
- $D_1, D_2, D_3$  : Son los espesores de las capas del pavimento.
- $m_2, m_3$  : Son los coeficiente de drenaje para bases y subbases granulares.
- **LCR** : Relación del coeficiente de capa.

## 2.6.2. Diseño para la reducción de la estructura del pavimento

Para lograr la reducción de pavimentos se ha planteado diferentes métodos, estos logran reducir el espesor de la estructura del pavimento ya que el SN reforzado se hace equivalente al SN sin refuerzo[3], a continuación detallamos métodos usados para el diseño de pavimentos flexible reforzado con reducción de la estructura del pavimento.

### 2.6.2.1. Diseño con BCR

El BCR de diseño puede utilizarse para calcular un espesor reducido de la base o de la subbase, para proporcionar el mismo rendimiento que la estructura de pavimento no reforzada. El espesor de la capa de base reforzada  $D_{2(Reforzar)}$  se calcula sin una subbase como indica la siguiente ecuación[3]:

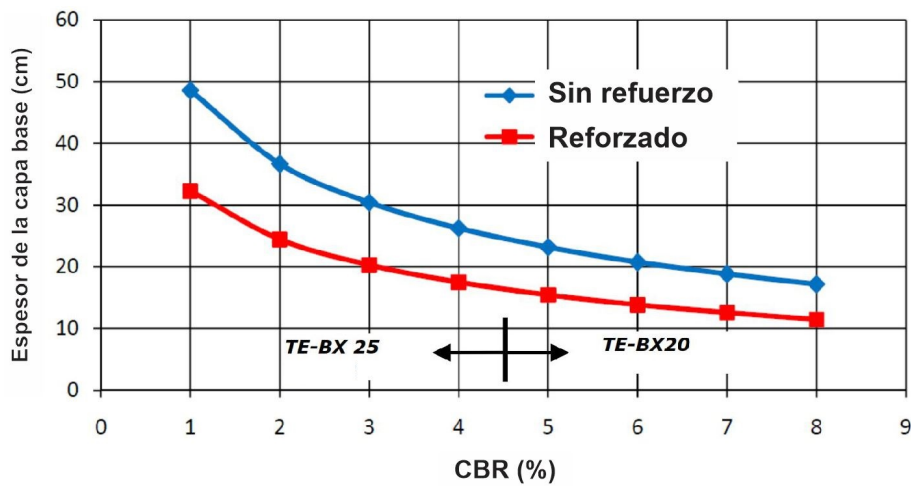
$$BCR = \frac{D_{2(SinReforzado)} - D_{2(Reforzar)}}{D_{2(SinReforzado)}} \quad (2.4)$$

$$D_{2(Reforzado)} = D_{2(SinReforzar)}x(1 - BCR) \quad (2.5)$$

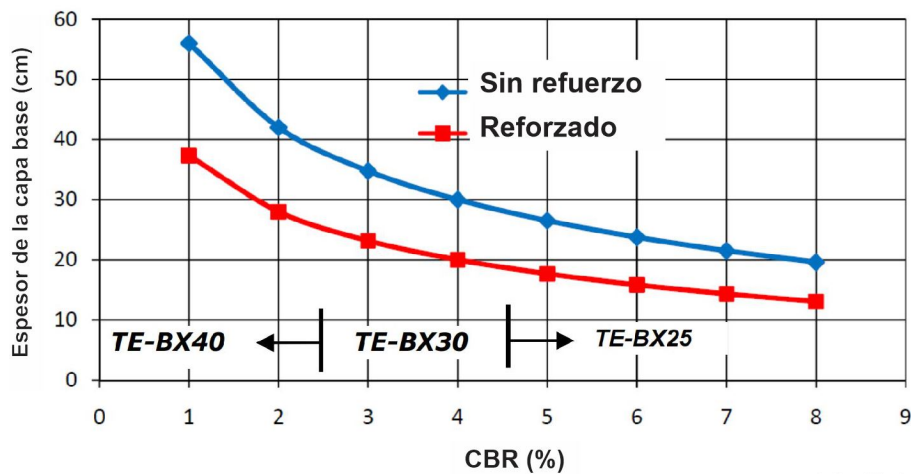
Donde :

- $D_{2(Reforzado)}$  : Espesor de la capa base reforzado con geomalla.
- $D_{2(SinReforzar)}$  : Espesor de la capa base sin refuerzo.
- $BCR$  : Reducción de la Capa Base.

Asimismo, se puede usar la Figura 2.21 y 2.22 para encontrar los espesor reducidos de la capa base. Recordar que el coeficiente BCR se halla a partir de pruebas de laboratorio y de campo donde se ensayan pavimentos con refuerzo y sin refuerzo.



**Figura 2.21:** Espesor de capa base Vs. CBR de la subrasante para 10 Millones de ESALs - Titan TE-BX series geogrids (2012).



**Figura 2.22:** Espesor de capa base Vs. CBR de la subrasante para 50 Millones de ESALs - Titan TE-BX series geogrids (2012).

### 2.6.2.2. Diseño con TBR

El TBR puede utilizarse para calcular un número estructural reforzado ( $SN_{Reforzado}$ ). El número estructural reforzado se calcula con el  $W_{18}$  en la ecuación de diseño del pavimento[3]. La reducción de la capa granular con el refuerzo se calcula con la ecuación 2.6:

$$D_{2(Reforzado)} = \frac{SN_{(Reforzado)} - a_1 D_1}{a_2 m_2} \quad (2.6)$$

Barry (2010), realiza el diseño de pavimento flexible reforzado igualando el  $SN_{(SinRefuerzo)}$  al  $SN_{(Reforzado)}$  usando un SN equivalente al TBR producto de la adición del refuerzo y que afecta directamente en el calculo final del  $SN_{(Reforzado)}$ , como se muestra a continuación en la ecuación 2.7:

$$SN_{(Reforzado)} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + SN_{TBR\text{equivalente}} \quad (2.7)$$

Orrego(2014), realiza el diseño de pavimento flexible reforzado haciendo uso de la ecuación 2.2 y logrando despejar el valor del  $W_{18(Reforzado)}$ , posterior a ello se continua con el diseño propuesto por AASHTO 1993.

Zornberg(2013), menciona que los geotextiles pueden tener un TBR que oscila entre 1.5 a 10 y para geomallas entre 1.5 y 70, esto ha sido determinado basándose en resultados de laboratorio y en pruebas de campo por distintos fabricantes de Geosintéticos. Asimismo, en la Figura 2.23 y 2.24 se muestran la gráfica de para hallar el TBR.

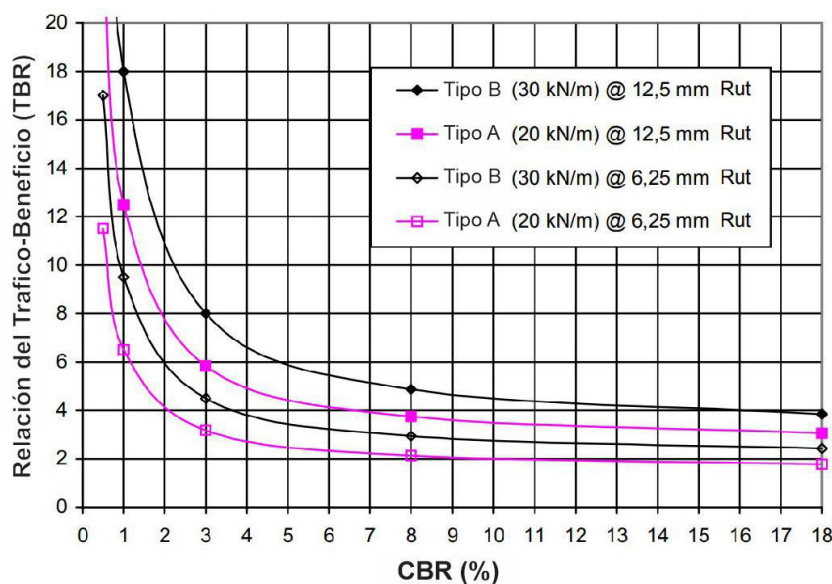


Figura 2.23: TBR Vs. CBR de la subrasante - Tenax (2010).

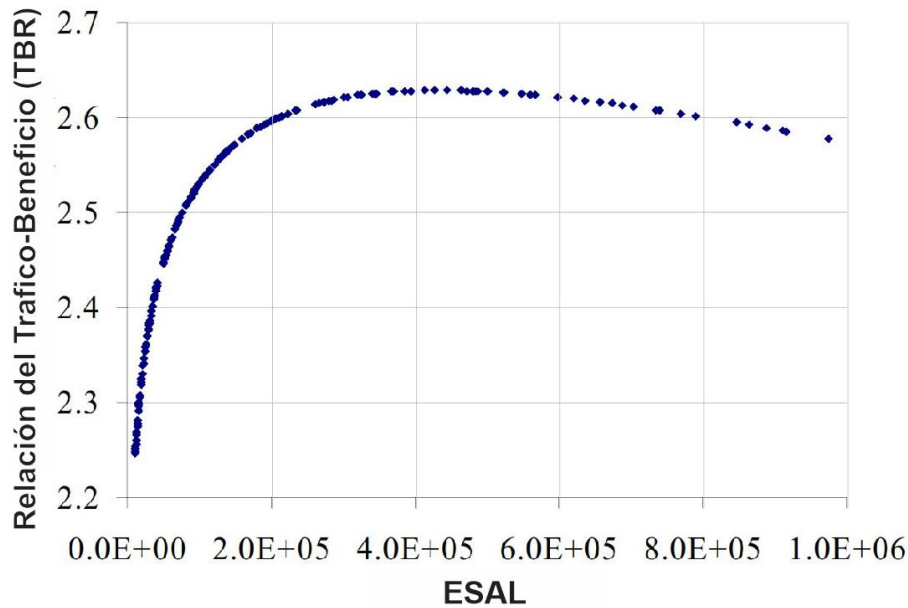


Figura 2.24: TBR Vs. ESAL - Shih-Hsie (2006).

### 2.6.2.3. Diseño con LCR

El LCR de diseño se puede utilizar para calcular un espesor reducido de la capa base del pavimento[3]. La siguiente ecuación relaciona el coeficiente LCR con el número estructural:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 LCR \quad (2.8)$$

El espesor reducido del estructura base del pavimento reforzado es igual a:

$$D_{2(Reforzado)} = \frac{SN_R - a_1 D_1}{a_2 m_2 LCR} \quad (2.9)$$

Este diseño incluye la introducción del coeficiente LCR, que se define como la relación del coeficiente de capa, el cual cuantifica la contribución estructural de la geomancia a la estructura de pavimento, el coeficiente LCR es superior a uno y ha sido determinado basándose en resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de geomallas, evaluados bajo las mismas condiciones[22].

El valor de LCR oscila entre 1.30 a 1.70 dependiendo básicamente del valor de CBR de la subrasante y la profundidad de ahuellamiento, estos pueden ser obtenidos a partir de ábacos elaborados por distintos fabricantes de los cuales se presenta los siguiente[22]:

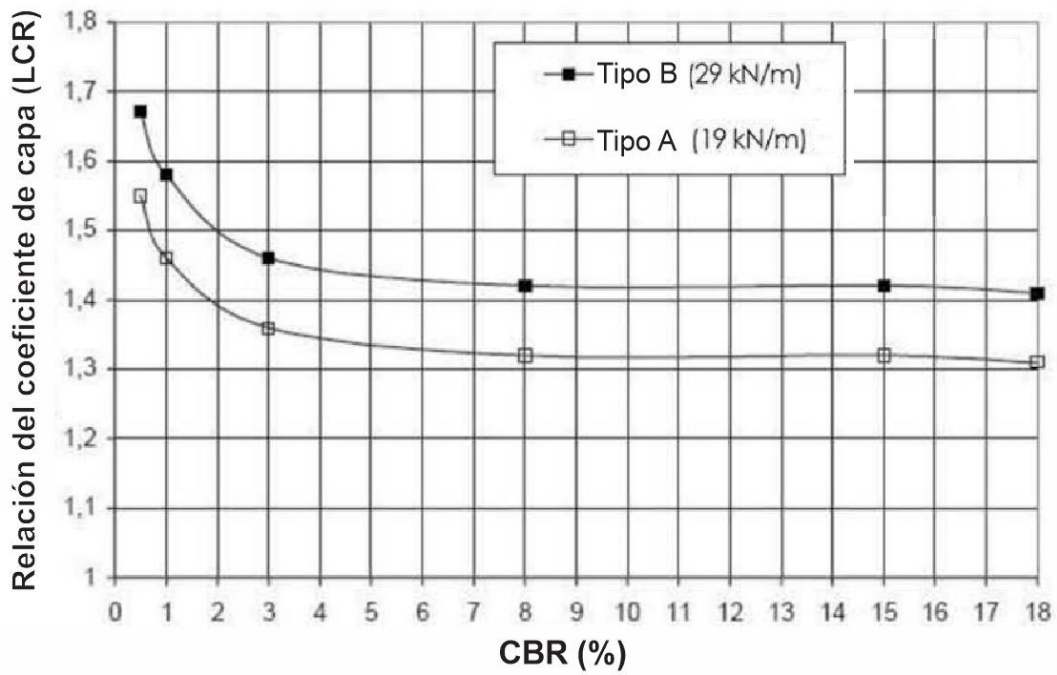


Figura 2.25: LCR Vs. CBR de la subrasante - PAVCO (2012).

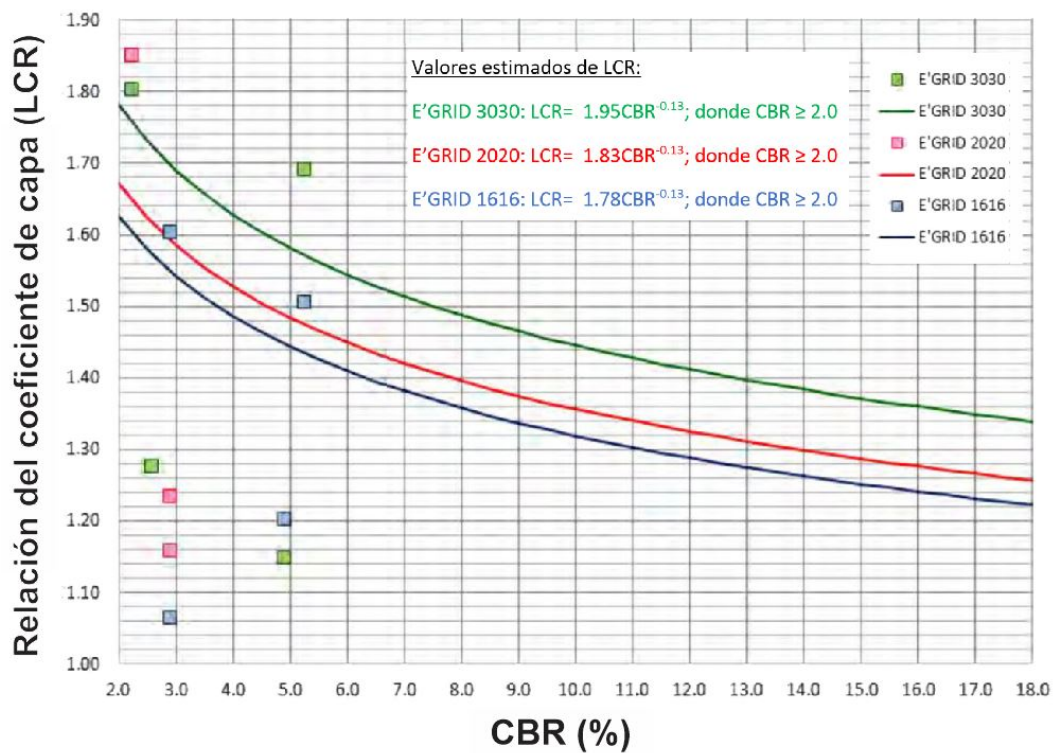


Figura 2.26: LCR Vs. CBR de la subrasante - Bostd geosynthetics (2014).

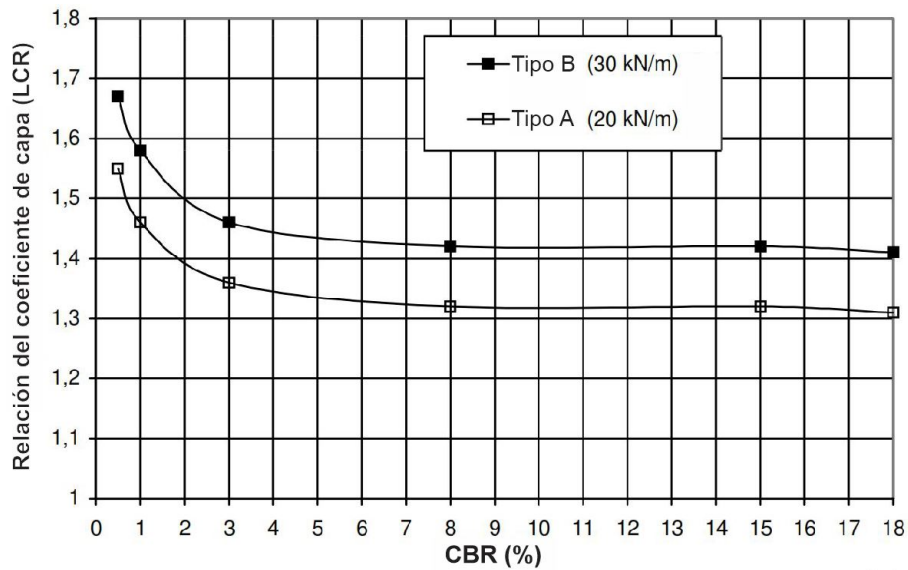


Figura 2.27: LCR Vs. CBR de la subrasante - Tenax (2010).

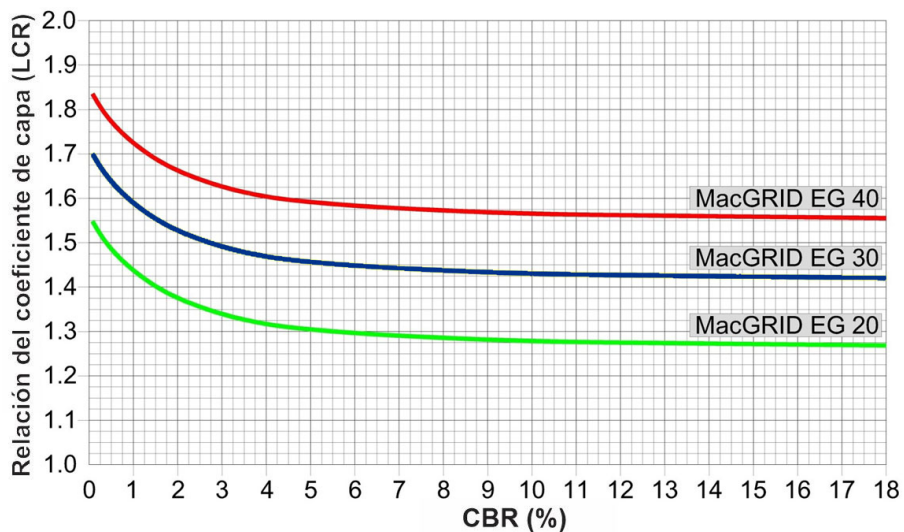


Figura 2.28: LCR Vs. CBR de la subrasante - Zannoni (2016).

Alternativamente, el coeficiente LCR puede ser estimado basándose en la ecuación propuesta por Giroud Y Han (2013), que usa el MIF (Factor de Mejora del Módulo) el cual es definido como la relación entre el modulo de reacción de la subrasante reforzada y el modulo de reacción de la subrasante sin reforzar o la relación del modulo de elasticidad de la subrasante reforzada y el modulo de elasticidad de la subrasante sin reforzar[14]. Asimismo el valor del MIF se encuentra entre los valores de 1.00 a 2.00, el LCR se definida por la siguiente ecuación:

$$LCR = \frac{0.249 \text{Log}_{10}^{(MIF \cdot E_{bc}/0.0069)} - 0.977}{0.249 \text{Log}_{10}^{(E_{bc}/0.0069)} - 0.977} \quad (2.10)$$

#### 2.6.2.4. Método de diseño de Giroud y Han

Giroud & Han desarrollaron un metodología con base teórica y calibrada experimentalmente, que permite el cálculo de vías no pavimentadas sin refuerzo, reforzadas con geotextil y con geomallas, se basaron en métodos de diseño anteriores desarrollados por Giroud y Noiray (1981) y Giroud et al. (1985) utilizando datos de ensayos de campo y de laboratorio. Giroud y Noiray (1981) desarrollaron una solución empírica para carreteras no pavimentadas no reforzadas utilizando datos de ensayos de campo y cuantificaron los beneficios resultantes del refuerzo de la geomalla. La solución se basó en la teoría de la capacidad de carga de equilibrio límite con una modificación para considerar el beneficio del efecto de la membrana de tensión. La formulación teórica de Giroud-Han tiene en cuenta la distribución de las tensiones, la resistencia del material de la base, el trabazón de la geomalla y agregado[2].

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J^2)\left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{[1 + 0.204(R_E - 1)]} \left( \sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} [1 - 0.9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}] N_c f_c CBR_{sg}}} \right) r \quad (2.11)$$

Donde  $(0.661 - 1.006J^2) > 0$

- $h$  : Espesor requerido para la capa base (pulgadas o metros)
- $J$  : Módulo de estabilidad de las aberturas en unidades métricas (N-m/grados)
- $P$  : carga por rueda (lbs o KN)
- $r$  : Radio de huella de neumático (pulgadas o metros)
- $N$  : Número de pasadas de ejes
- $R_E$  : Ratio de módulo =  $E_{bc}/E_{sg} = 3.28CBR_{bc}^{0.30}/CBR_{sg} \leq 5$
- $E_{bc}$  : Módulo de resiliencia de la capa base (psi o MPa)
- $E_{sg}$  : Módulo de resiliencia del suelo de subrasante (psi o MPa)
- $CBR_{bc}$  : CBR del agregado
- $CBR_{sg}$  : CBR de la subrasante
- $f_s$  : Factor de ahuellamiento

- $s$  : Ahuellamiento máximo (pulgadas o metros)
- $f_c$  : Factor que relaciona el CBR de la subrasante a la cohesión no drenada,  $c_u=4.3$  psi (30kPa)
- $N_c$  : Factor de capacidad portante
  - 3.14 para vías no reforzadas.
  - 5.14 para vías con refuerzo de geotextil con suelos blancos.
  - 5.71 para vías con refuerzo de geomallas con suelos blancos.

**Limitaciones del método de diseño** Según Orrego (2014) existen ciertas limitaciones para usar este métodos, a continuación se detallan:

- CBR de la subrasante menor a 5 %.
- Número máximo de pasadas: 10,000 ESALs.
- Efecto de la membrana en tensión no considerado.
- Espesor mínimo de 4 pulgadas (100 mm) del agregado de la capa base.

## 2.7. Análisis de elementos finitos

En la actualidad existen diferentes software que permiten realizar el diseño de estructuras de pavimento a partir de la teoría de elementos finitos, mecánica del medio continuo y métodos de análisis aproximados. En la mayoría de los análisis de diseño se supone que el material que constituye las capas de la estructura de pavimento trabaja en el rango elástico, es homogéneo, isotrópico y que las capas se adhieren perfectamente entre si, lo cual en la realidad es imposible lograr[17].

Sánchez (2012) menciona que el método de análisis numérico que permite obtener soluciones aproximadas en una amplia variedad de problemas de ingeniería; además, el método se usa para dividir un medio continuo (por ejemplo, el volumen de un pavimento) en un gran número de pequeños volúmenes discretos con el fin de obtener una solución numérica aproximada para cada volumen, en lugar de una solución exacta para todo el volumen.

### 2.7.1. Método de elementos finitos 3D

Este modelo resuelve las ecuaciones constitutivas y de compatibilidad mediante la división del medio continuo en un conjunto de subdominios denominados elementos finitos, en este método se cumple principalmente las condiciones de frontera en los nodos del sistema que se resuelve. En los modelos 3D se puede representar mejor que en los modelos 2D el efecto de la presión de inflado de los neumáticos sobre el pavimento, lo desfavorable es que ocupan más memoria en un ordenador personal y aún no realizan el cálculo inverso en problemas no lineales del pavimento de manera adecuada[10].

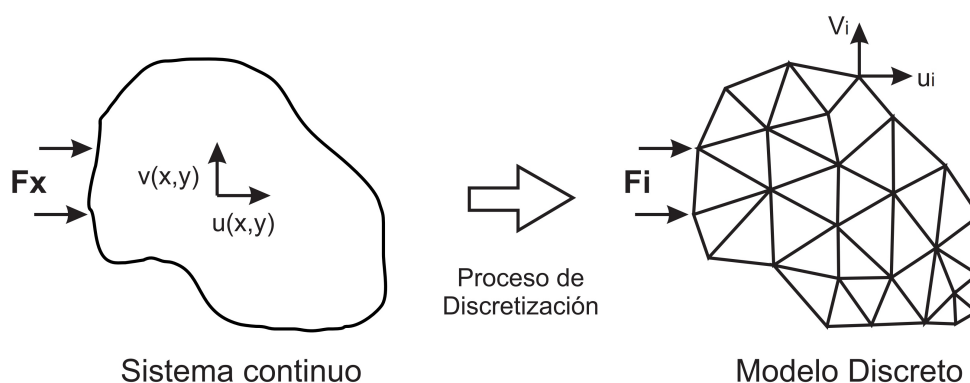
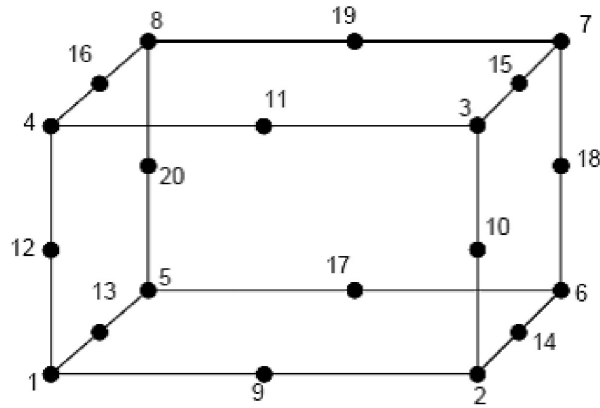


Figura 2.29: Modelo de Elementos Finitos - Flores (2012)

### 2.7.2. Modelamiento y estrategias de enmallado

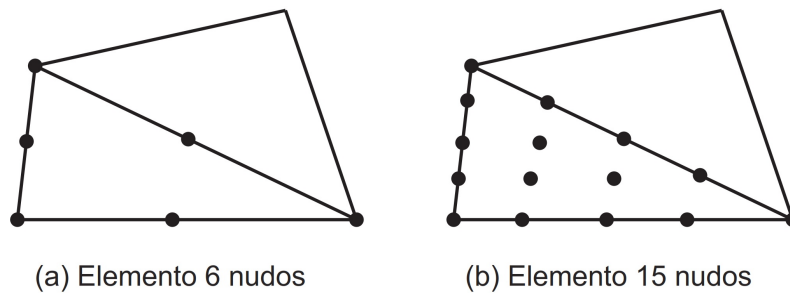
En los modelos tridimensionales se hacen cuadrículas que asemejan cubos teniendo mayor número de elementos en la región donde se aplica la carga externa al continuo, a medida que se van alejando tanto en distancia horizontal y vertical los elementos finitos presentan cada vez mayores dimensiones y cuando se encuentran alejados lo suficiente del punto de aplicación de la carga, generalmente se colocan elementos intermedios para hacer que la malla tenga menos elementos en las regiones lejanas. Las capas de los pavimentos son representados por elementos finitos que tienen diferentes módulos de elasticidad, para una mejor precisión de los resultados se emplean generalmente elementos finitos de varios nodos, uno de los elementos más empleados en el análisis estructural de pavimentos es el elemento de 20 nodos[10].



**Figura 2.30:** Modelo tridimensional de 20 nodos - Flores (2012)

### 2.7.3. Método de elementos finitos 2D

Un pavimento flexible puede ser visto como un sistema semi infinito multicapa con diferentes propiedades del material en cada capa. Básicamente se emplean dos modelos diferentes de FEM 2D, uno es axial simétrico y el otro estado plano de deformaciones. En el modelo axial simétrico se asume que el pavimento tiene el mismo material y geometría en los planos verticales y que la carga de tráfico presenta simetría biaxial, aclarar que en esta investigación se usó el software Plaxis con un modelo bidimensional de 15 nodos.

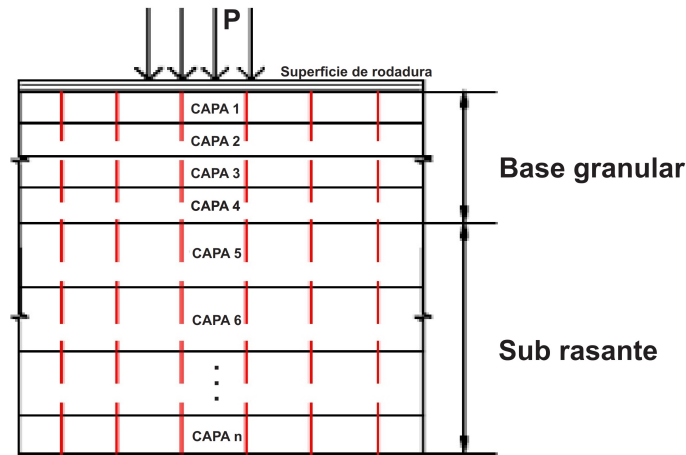


**Figura 2.31:** Modelo bidimensional - Flores (2012)

### 2.7.4. Modelo del Pavimento

Cada capa en una sección transversal del pavimento, se supone que se extiende hasta el infinito en la dirección horizontal, y la última capa se supone que es infinitamente profunda. Todas las capas del pavimento se supone que están plenamente ligadas para que no se produzca deslizamiento, debido a la carga aplicada. Se calculan los desplazamientos, presiones y deformaciones, producidas por la carga a través de la rueda. Por las suposiciones utilizadas[10]. A continuación se muestra las capas del pavimento en

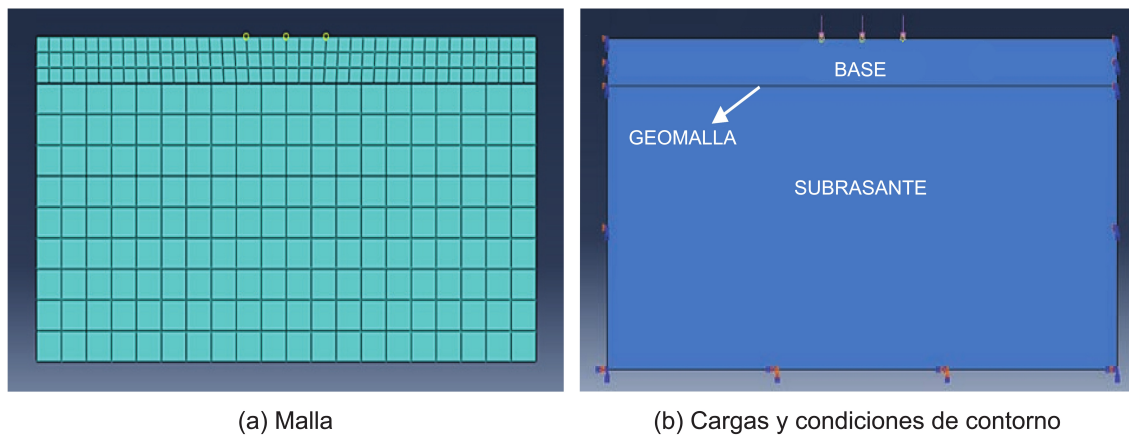
la figura 3.16.



**Figura 2.32:** Discretización del pavimento a estudiar - Flores (2012)

Asimismo, Sánchez (2012) define de la siguiente manera un análisis por elementos finitos:

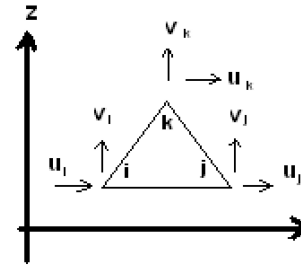
**Paso 1: Discretizar el Medio de Interés.-** El medio pavimento-subrasante se divide en un número de elementos de formas geométricas simples, denominados elementos finitos, con las cargas de las ruedas en la parte superior.



**Figura 2.33:** Discretización de un pavimento - Calvarano L., Leonardi G., Palamara R. (2017)

**Paso 2: Determinar las Características de Cada Elemento.-** Se asignan nodos a cada elemento y se escoge una función para interpolar la variación de la variable sobre el elemento discreto. Asimismo, 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

$$\begin{bmatrix} H_i \\ H_j \\ H_k \\ V_i \\ V_j \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{12} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{13} & k_{23} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{14} & k_{24} & k_{34} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{15} & k_{25} & k_{35} & k_{45} & k_{55} & k_{56} \\ k_{16} & k_{26} & k_{36} & k_{46} & k_{56} & k_{66} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \\ u_k \\ v_i \\ v_j \\ v_k \end{bmatrix} \quad o\{f\} = [k]\{v_i\}$$



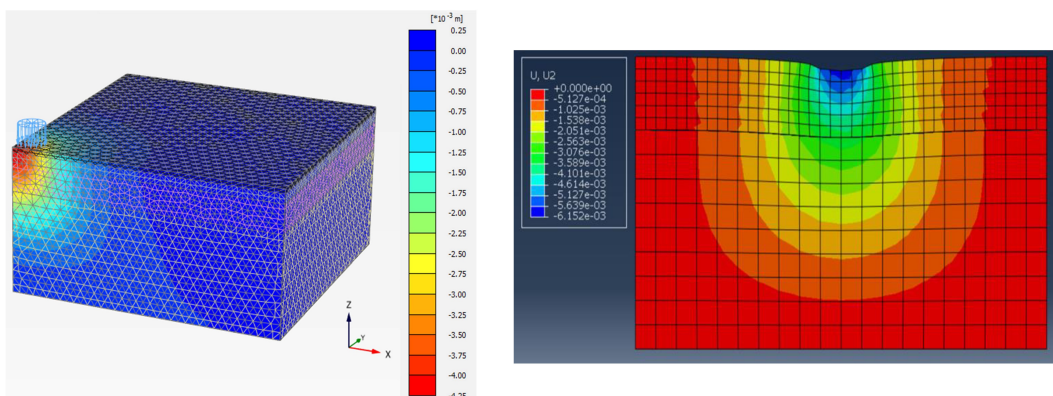
$k_{11}$  es la fuerza horizontal en el nodo i causada por un desplazamiento (virtual) de 1 en el nodo i,  $k_{12}$  es la fuerza horizontal causada por un desplazamiento horizontal de 1 en el nodo j, etc.

**Paso 3: Ensamblar las Ecuaciones Elementales.-** Las matrices elementales se ensamblan para formar un conjunto de ecuaciones algebraicas que describen el problema global (matriz global):  $F = [K]V$

**Paso 4: Incorporar Condiciones de Borde.-** Se incorporan condiciones de borde dentro de la matriz global (fondo y lados de la región de análisis escogida).

**Paso 5: 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 determinando, a partir de ellos, los esfuerzos y deformaciones en los elementos, así como sus direcciones.

Los distintos softwares brinda representaciones visuales de los diferentes valores de salida, como se muestra a continuación:



(a) Diagrama tridimensional de deformaciones

(b) Diagrama bidimensional de deformaciones

**Figura 2.34:** Visualización de resultados - Calvarano L., Leonardi G., Palamara R. (2017)

## Capítulo 3

# DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. Metodología

La metodología se enfoca en el uso de geomallas para disminuir la estructura del pavimento flexible, es por ello que se usaran los datos de diseño del pavimento flexible del proyecto: “Mejoramiento de la Carretera Abra Toccto – Condorccochoa (Ruta Nacional Pe-32a)”, empleado 3 fases y se detalla a continuación:

- La primera es realizar el diseño del pavimento flexible convencional usando la metodología AASHTO 1993, propuesta en el Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en su Sección **Suelos y Pavimentos (2014)**, forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial publicado con R.D. N° 10-2014-MTC-14, y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local[20].
- Diseñar de pavimento flexible reforzado para disminuir la estructura del pavimento haciendo uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en estructuras de pavimentos flexibles mediante los métodos AASHTO PP-46(2001) y AASHTO R-50 (2009).
- Modelamiento del pavimento flexible sin refuerzo y reforzado, verificando los desplazamiento verticales, esfuerzo horizontales y verticales.

## 3.2. Datos del proyecto

El proyecto está asociado con la solución del problema central que es: **Inadecuadas Condiciones de Transitabilidad Vehicular y Peatonal en la Vía Tramo Toccto – Condorccochoa**. Según el planteamiento del problema central a solucionar se tiene como objetivo primordial obtener las Adecuadas condiciones de transitabilidad vehicular y peatonal en la Vía Tramo Toccto – Condorccochoa, construyendo una vía con una superficie de rodadura de asfalto en caliente de 3” (0.075 mts.) de espesor[7].

### 3.2.1. Características técnicas del proyecto

Las características técnicas se extrajeron de la memoria descriptiva del proyecto mencionado y se detallan de la siguiente manera:

**Tramo :** Abra Toccto (Km. 00+000) - Condorccochoa (Km. 13+610)

**Red Vial :** Departamental

**Categoría :** 2da categoría

**Velocidad Directriz :** 40 Km./h

**Longitud :** 13+610 km

**Cunetas :** De concreto de 1.2 x 0.50 m

**Superficie de Rodadura :** asfalto em caliente de 3”.

**Tipo de Suelo de la Subrasante:** SC.

**Subbase granular :** 20 cm, Tipo de Suelo: SP.

**Base Granular :** 20 cm, Tipo de Suelo: GW-GC.

### 3.2.2. Clasificación de la via

#### 3.2.2.1. Sistema Nacional De Carreteras (SINAC)

El Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) se jerarquiza en las siguientes tres redes viales: Red Vial Nacional, Red Vial Departamental o Regional y Red Vial Vecinal o Rural, según los siguientes criterios:

- Son parte de la Red Vial Nacional, las carreteras que cumplan cualesquiera de los siguientes criterios:
  - Interconectar al país longitudinalmente o transversalmente, permitiendo la vinculación con los países vecinos.
  - Interconectar las capitales de departamento.
  - Soportar regularmente el tránsito de larga distancia nacional o internacional de personas y/o mercancías, facilitando el intercambio comercial interno o del comercio exterior.
  - Articular los puertos y/o aeropuertos de nivel nacional o internacional, así como las vías férreas nacionales.
  - Interconectar los principales centros de producción con los principales centros de consumo.
- Son parte de la Red Vial Departamental o Regional, las carreteras que cumplan cualesquiera de los siguientes criterios:
  - Interconectar la capital del departamento con las capitales de provincias o estas entre sí.
  - Facilitar principalmente el transporte de personas y el intercambio comercial a nivel regional o departamental y que tengan influencia en el movimiento económico regional.
  - Interconectar capitales de distritos pertenecientes a más de una provincia o permitir la conformación de circuitos con otras carreteras departamentales o nacionales.
  - Articular los puertos y/o aeropuertos de nivel regional.
- Son parte de la Red Vial Vecinal o Rural, aquellas otras carreteras no incluidas en la Red Vial Nacional o en la Red Vial Departamental o Regional

Por tanto, se puede clasificar como una red vial Nacional pero también como una red vial Departamental; además, la SINAC clasifica a esta ruta como Ruta Nacional Pe-32a.

### 3.3. Diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 1993

Durante el desarrollo de la investigación se realizó el rediseño del pavimento flexible encontrándose un error en el diseño original al considerar inicialmente como valor del  $\Delta PSI$  igual a 1.5, posterior a ello se realiza el diseño considerando un  $\Delta PSI$  igual a 2, podemos presumir que dicho error fue cometido por el operador del software durante la elaboración del expediente dando como resultado un SN igual a 3.65 según se muestra en la hoja de cálculo del expediente técnico del proyecto.

#### 3.3.1. Datos de diseño original

Los datos de diseño fueron obtenidos de la memoria descriptiva del proyecto, así como de las hojas de cálculo del Expediente Técnico del proyecto “Mejoramiento De Carretera Abra Toccto – Condorccochoa (Ruta Departamental Ay-122)” elaborado para el Gobierno Regional de Ayacucho, cuyos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos en el Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) y que a continuación se detalla :

**Confiabilidad R (%)**.- El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad R% que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto, mediante la Tabla 3.1 podemos determinar su nivel de confiabilidad.

**Tabla 3.1:** Nivel de confiabilidad - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	75,000	150,000	65%
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	95%
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	95%
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	95%
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	95%

**Tipos de tráfico pesado.-** En la tabla las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, cargas de ejes equivalente de 18-kip o 80-kN o 8.2 tn, que en el presente Manual se denominan Ejes Equivalentes (EE). Las sumatorias de ESALs durante el periodo de diseño es referida como ( $W_{18}$ ), en el presente Manual se denominan Número de Repeticiones de EE de 8.2 tn, mediante la Tabla 3.2 podemos clasificarla en un tipo de tráfico pesado expresado en EE.

**Tabla 3.2:** Tipos de tráfico pesado - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014)

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
$T_{P5}$	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
$T_{P6}$	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
$T_{P7}$	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
$T_{P8}$	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
$T_{P9}$	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
$T_{P10}$	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
$T_{P11}$	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
$T_{P12}$	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
$T_{P13}$	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
$T_{P14}$	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

**Coefficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ).**- El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) representa el valor de la Confianza seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal y podemos obtenerla de la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3:** Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL ( $Z_r$ )
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	75,000	150,000	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		-1.645

**Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ ).**- La Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ ), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo, la guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de  $S_o$  comprendidos entre 0.40 y 0.50[20]. El Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014) recomienda adoptar para los diseños de pavimento

flexible el valor de 0.45.

**Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).**- El índice de serviciabilidad presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece[20].

**a. Serviciabilidad Inicial (Pi o Po).**- La Serviciabilidad Inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida. En la Tabla 3.4 se indican los índices de servicio inicial para los diferentes tipos de tráfico[20]:

**Tabla 3.4:** Serviciabilidad Inicial (Po) - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	3.80
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	3.80
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	3.80
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	4.00
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	4.00
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	4.00
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	4.00
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	4.00
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	4.00
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	4.00
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	4.20
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	4.20
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	4.20
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		4.20

**b. Serviciabilidad Final o Terminal (Pf o Pt).**- La Serviciabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción. En la Tabla 3.5 se indican los índices de serviciabilidad final para los diferentes tipos de tráfico[20]:

**Tabla 3.5:** Serviciabilidad Inicial (Pi) - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10'000,000	2.50
	TP10	10'000,001	12'500,000	2.50
	TP11	12'500,001	15'000,000	2.50
	TP12	15'000,001	20'000,000	3.00
	TP13	20'000,001	25'000,000	3.00
	TP14	25'000,001	30'000,000	3.00
	TP15		>30'000,000	3.00

De donde finalmente se tiene los siguientes datos con los que se procederá a realizar los diseños.

- $W_{18}$  : 1'650,000.00
- $CBR_{base}$  : 80.00 %

- $CBR_{Subbase}$  : 60.00 %
- $CBR_{Subrasante}$  : 4.50 %
- $P_o$  : 4.00
- $P_t$  : 2.50
- $Z_r$  : -1.037
- $R$  : 85 %

También se debe tener en cuenta la calidad del drenaje de acuerdo a la exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación.

La Tabla 3.6 presenta valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

**Tabla 3.6:** Calidad del Drenaje - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014)

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

De igual forma, la Tabla 3.7 presenta valores de coeficiente de drenaje  $m$ , para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje.

**Tabla 3.7:** Coeficiente de Drenaje ( $m$ ) para Bases y SubBases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles - Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos (2014)

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MEJOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAJOR 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

### 3.3.2. Diseño del pavimento flexible original

Todos los datos mencionados anteriormente se usaran en la ecuación dada por el método AASHTO 1993 para Pavimento Flexible donde finalmente se obtiene un SN igual a 3.88, este es el valor con el que debió diseñarse ya que como se observa en la hoja de calculo del Expediente Final, el SN de diseño usado fue 3.65 ocasionando así una variación en la estructura del Pavimento Flexible; asimismo, los valores 1.15 y 1.10 que corresponden a los coeficiente de drenaje han sido obtenidos del Expediente técnico del GRA (2013), los cuales han considerado una calidad de drenaje regular con un porcentaje entre 1 % - 5 % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación, a continuación se muestran los espesores obtenidos a causa de dicho numeros estructural en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8:** Diseño de pavimento flexible con  $\Delta PSI = 2.00$  - Expediente técnico del GRA (2013)

Descripcion	EXPEDIENTE TECNICO			
	Espesor Di (cm)	Coficiente Estructural ai	Coficiente de Drenaje mi	Numero Estructural Di.ai.mi
Carpeta Asfáltica	7.50	0.17		1.290
Capa Base	20.00	0.06	1.15	1.288
Capa Sub-Base	20.00	0.05	1.10	1.056
			SN Final=	3.634

Como se observa los espesores de diseño obtenidos sirven para realizar las distintas secciones que forman el proyecto y que se muestran en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3, las cuales fueron extraidas del expediente técnico del proyecto elaborador para el GRA.

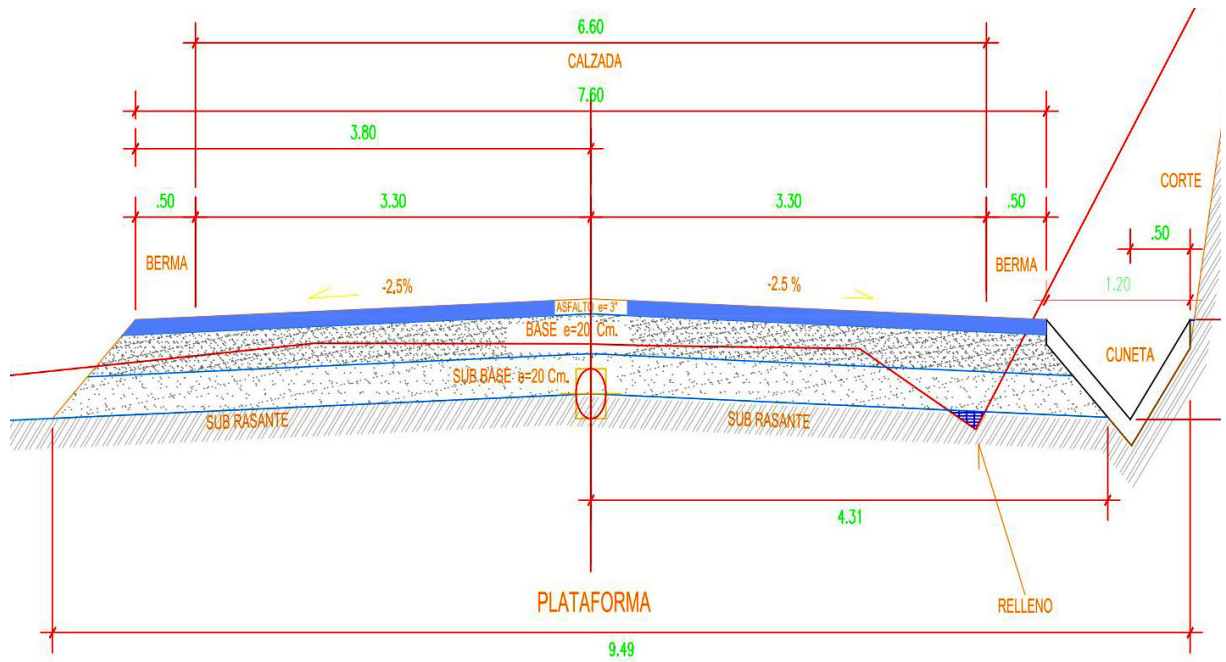


Figura 3.1: Diseño de sección tipo I - Expediente técnico del GRA (2013)

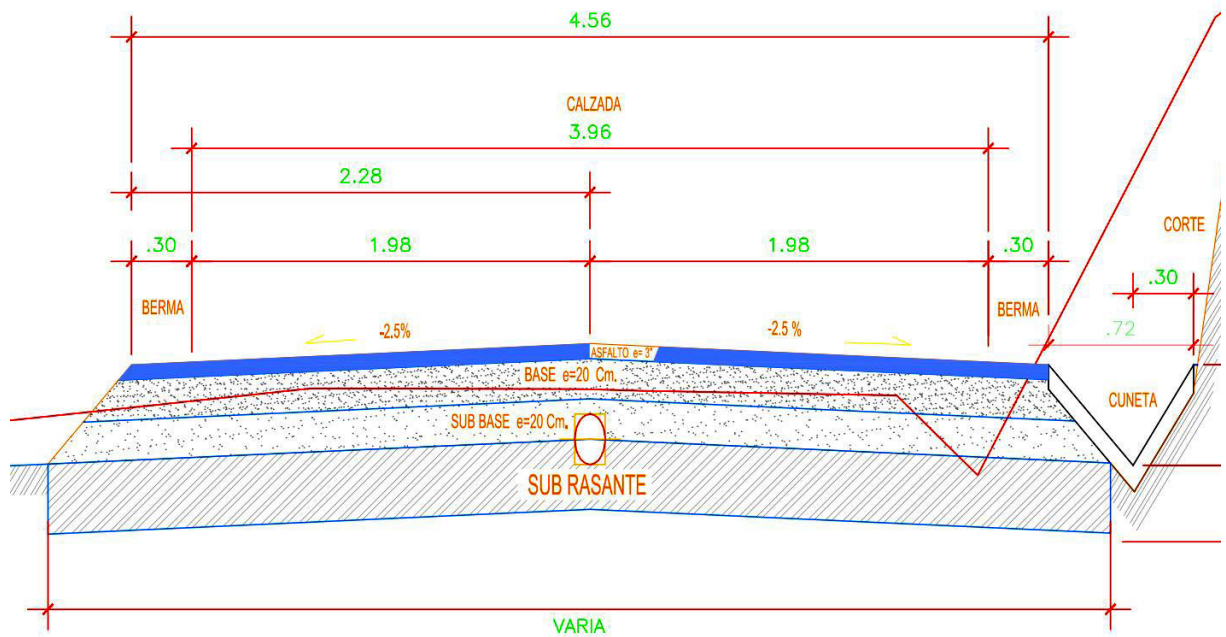
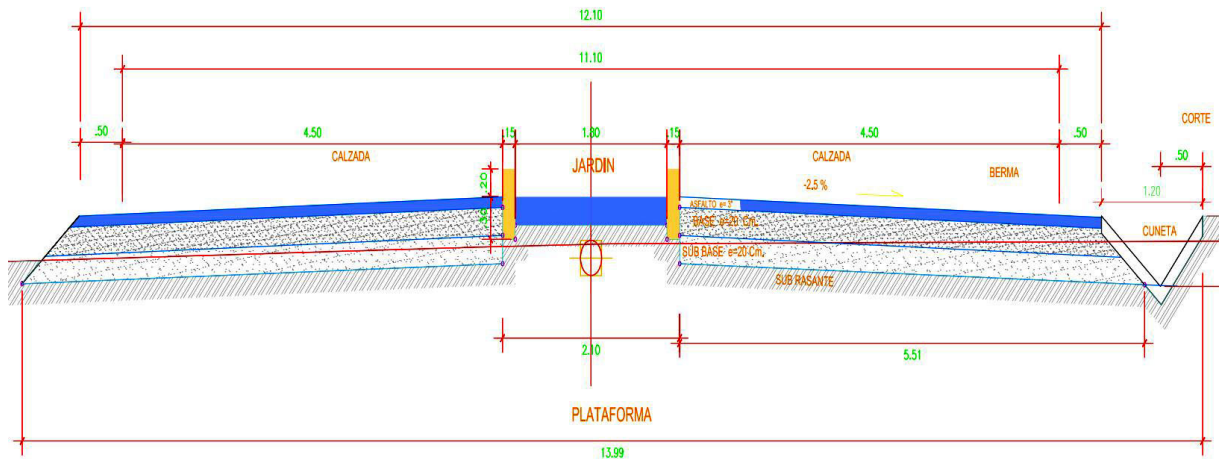


Figura 3.2: Diseño de sección tipo II - Expediente técnico del GRA (2013)



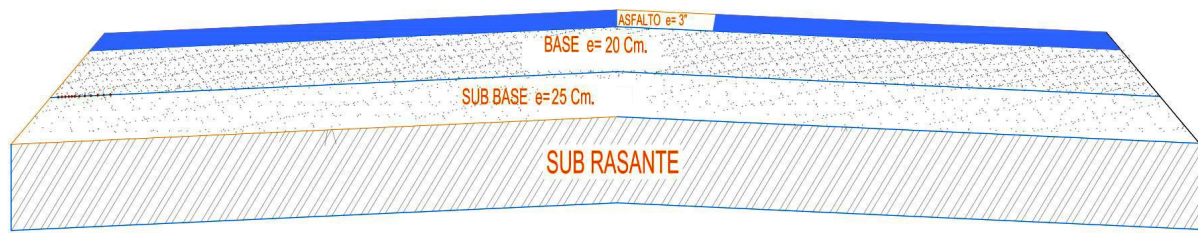
**Figura 3.3:** Diseño de sección tipo III - Expediente técnico del GRA (2013)

### 3.3.3. Rediseño del pavimento flexible

Como se observa en la Tabla 3.8 la estructura del pavimento Flexible diseñado para el proyecto “Mejoramiento De Carretera Abra Toccto – Condorccochoa (Ruta Nacional Pe-32a)”, corresponde a las siguientes dimensiones: 3 pulgadas para la carpeta asfáltica, 8 in ó 20 cm para la Base y 8 in ó 20 cm para la subbase, esta estructura no corresponde al SN requerido, es por ello que se realiza un nuevo diseño con los mismo datos excepto el  $\Delta PSI$ , ya que como se explico el correcto  $\Delta PSI$  seria 1.50, en la Tabla 3.9 se muestran los resultados del diseño y en la Figura 3.4 se gráfica la composición de la estructura del pavimento flexible :

**Tabla 3.9:** Rediseño de pavimento flexible con  $\Delta PSI = 1.50$  - Elaboración propia

Descripcion	DISEÑO PROPIO			
	Espesor Di (cm)	Coefficiente Estructural ai	Coefficiente de Drenaje mi	Numero Estructural Di.ai.mi
Carpeta Asfáltica	7.50	0.17		1.290
Capa Base	20.00	0.06	1.15	1.288
Capa Sub-Base	25.00	0.05	1.10	1.320
			SN Final=	3.898



**Figura 3.4:** Estructura rediseñada del pavimento flexible - Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 3.4, el espesor de la capa subbase cambio de 20 cm a 25 cm, es así que en adelante usaremos como SN de diseño el valor de 3.898, a partir de estas dimensiones se reducirá las dimensiones de la estructura del pavimento flexible usando como refuerzo geomallas biaxiales.

### 3.4. Diseño para la reducción de la estructura del pavimento

Este diseño contiene la metodología de diseño para la estimación del numero estructural requerido y el diseño de la estructura usando las ecuaciones establecidas en el AASHTO R-50 para lograr la reducción de la estructura del Pavimento Flexible.

AASHTO nos muestra distintos métodos, para el desarrollo de esta investigación hemos decidido usar los métodos que incluye a los factores TBR, LCR y BCR.

#### 3.4.1. Diseño de pavimento flexible con LCR

Para realizar el diseño hemos optado por usar la ecuación propuesta por Giroud y Han (2013) para hallar el valor del LCR y también el valor del ábaco correspondiente a MACCAFERRI que es 1.31, seguidamente se realizo el diseño de pavimento flexible conforme lo señala el método AASTHO R-50 donde podemos encontrar que la estructura del pavimento ha variado como indica en en la siguiente tabla.

**Tabla 3.10:** Diseño de Pavimento flexible reforzado usando el coef. LCR - Elaboración propia

CALCULO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON USO DEL COEFICIENTE LCR					
ESPESOR		cm	ai	mi	SN
CARPETA ASFÁLTICA	D1	7.50	0.17		1.29
BASE	D2	20.00	0.06	1.15	1.29
SUB BASE	D3	25.00	0.05	1.10	1.32
Sndiseño =					3.90
Ebc =		198.48	Mpa		
MIF =		1.50			
LCR =		1.33		1.31	
Metodo de Giroud y Han				Grafico de Maccaferri	
D'2 =		30.47	cm	30.91 cm	
SNr =		1.96		1.99	
D''2 =		15.00	cm - Asumido	15.00 cm - Asumido	
D''3 =		18.80	cm	19.40 cm	

Como se puede apreciar en la tabla los factores LCR obtenidos son 1.33 usando la formula propuesta por Giroud y Han (2013) y 1.31 usando el ábaco dado por Maccaferri(Figura 2.28), el valor de MIF igual a 1.50 corresponde a la sugerencia dada por Jie Han en su libro “Principios y Prácticas de Mejora del Suelo (2014)”, finalmente la estructura del pavimento flexible reforzado logro reducir el espesor de la capa base de 20 cm a 15 cm, logrando así una reducción del 25 % del material base. Asimismo, la capa subbase logro reducir su espesor de 25 cm a aproximadamente 19.10 cm en promedio, logrando así un 24 % de reducción del material.

### 3.4.2. Diseño de pavimento flexible con TBR

Orrego(2014), define los coeficientes TBR de las geomallas usadas en las nuevas vias de Lima - Alipio Ponce las cuales tiene valores desde 2.9 hasta 4.53; sin embargo, Zornberg(2013) menciona que los valores de TBR para geomallas se encuentran entre 1.5 y 70. Asimismo, después de recibir las sugerencias del Ing. Augusto Alza se toma 2.50 como valor de TBR, ya que es el valor medio de los resultados obtenidos en geomallas biaxiales y cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11:** Diseño de pavimento flexible reforzado usando el coef. TBR - Elaboración propia

**DATOS**

<b>W<sub>18</sub></b>	<b>: 1,650,000</b>
<b>TBR</b>	<b>: 2.50</b>
<b>W<sub>18R</sub></b>	<b>: 660,000</b>

**NUMERO ESTRUCTURAL DE DISEÑO**

SN REQUERIDO =	3.312
----------------	-------

**ESPESOR DEL PAVIMENTO**

ESPESOR		cm	ai	mi	SN
CARPETA ASFÁLTICA	D1	7.50	0.17		1.29
BASE	D2	15.00	0.06	1.15	0.97
SUB BASE	D3	20.00	0.05	1.10	1.06
<b>Sndiseño =</b>					<b>3.312</b>

Como se puede ver el factor TBR usado es 2.50, para el diseño se uso la guía de las clases que imparte en la PUCP el Ing. Augusto Alza sobre Diseño con Geosintéticos así como la tesis elaborada por Orrego(2014) que usa la ecuación 2.7, también se puede extraer el valor del TBR de la Figura 2.24, cuyo valor se aproxima a 2.57. Finalmente la estructura del pavimento flexible reforzado logro reducir el espesor de la capa base de 20 cm a 15 cm, logrando así una reducción del 25 % del material base. Asimismo, la capa subbase logro reducir su espesor de 25 cm a aproximadamente 20.00 cm, logrando así una reducción del 20 % del material y que para fines constructivos se considerara el mismo.

Asimismo, comparando la Figura 2.21 para un CBR de 4.5 la Capa Base tiene un espesor aproximado de 16 cm ó 17 cm, con lo que se concluye el hubo un reducción en la estructura del pavimento.

### 3.4.3. Diseño de pavimento flexible con BCR

El BCR es un factor que se determinado a partir de pruebas de laboratorio y de campo donde se ensayan pavimentos con refuerzo y sin refuerzo motivo por el cual no se realiza el diseño pero se puede calcular el coeficiente BCR a partir de la reducción de espesores hallados anteriormente. Sin embargo, Webster (1993) mostró que una sección que tenía una geomalla con una base de 150 mm de espesor se comportó de manera equivalente a la de una sección no reforzada con una base de 250 mm de espesor. Por lo tanto, las BCR oscilando entre el 20 % y 40 % son habituales en diferentes artículos, con mayor porcentaje de reducción para los materiales de subrasantes más fuertes[33].

Por tanto hallaremos el factor de reducción del espesor de la base (BCR) para

nuestro pavimento, considerando la base granular sin refuerzo ( $T_u$ ) y la base granular reforzada ( $T_r$ ), en las que se incluye los espesores de la Base y la subbase como se muestra a continuación[13]:

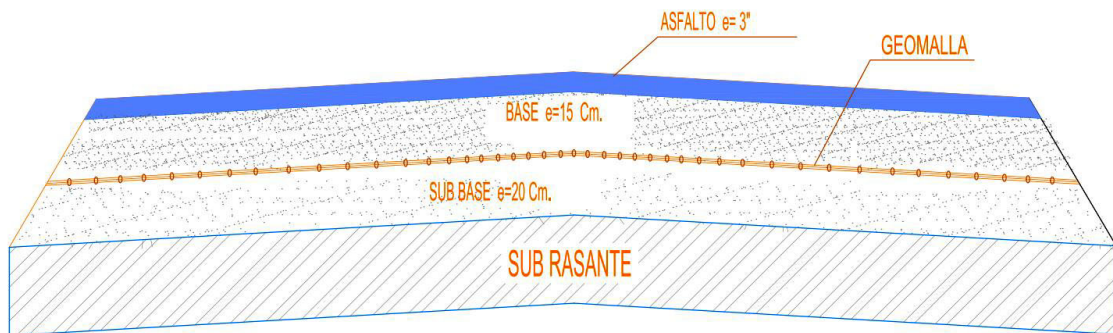
$$BCR = \frac{T_u - T_r}{T_u} \cdot 100$$

- $T_u = GB + GSB = 20 + 25 = 45$
- $T_r = GBr + GSBr = 15 + 20 = 35$

Finalmente podemos ver que nuestro BCR tiene un valor de 22.22 % que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por Webster (1993) por lo que podemos deducir que nuestra estructura reforzada mostrara un comportamiento de manera equivalente a la sin refuerzo.

#### 3.4.4. Reducción de la estructura del pavimento flexible

Finalmente podemos considerar que la estructura final del pavimento flexible sera 7.50 cm como parte de la carpeta asfáltica, 15 cm para la capa Base y 20 cm para la capa subbase, teniendo un reducción total de 10 cm de material en las capas granulares y que finalmente diseño del pavimento flexible seria como se muestra en la Figura 3.5.



**Figura 3.5:** Pavimento flexible reducido y reforzado con geomalla - Elaboración propia

### 3.5. Diseño para la extensión de períodos de diseño

Para realizar el Diseño por extensión de períodos nos ceñiremos en lo detallado en el Capítulo 2 y usaremos los datos de los diseños de la sección anterior, tanto el valor LCR como el TBR.

### 3.5.1. Diseño con TBR

Para el diseño de extensión de períodos con el uso del factor TBR usaremos los siguientes datos que se detallan a continuación:

- $W_{18} : 1'650,000.00$
- $TBR : 2.5$
- $W_{18(Reforzado)} = W_{18(SinReforzar)} \times TBR$
- $W_{18(Reforzado)} = 1'650,000.00 \times 2.5 = 4'125,000.00$

Donde al incluir geomallas en la estructura del pavimento conservando los espesores de 20 cm para la base y 25 cm para la subbase, se logra incrementar el  $ESALS_{18(SinReforzar)}$  para el que fue diseñado, donde el nuevo  $ESALS_{18(Reforzado)}$  es igual a 4'125,000.00.

### 3.5.2. Diseño con LCR

Para el diseño de extensión de períodos con el factor LCR usaremos mismos datos usados para la elaboración del expediente técnico del GRA (2013), Donde se ha considerado lo siguiente :

- LCR : Para un CBR de la Subrasante de 4.5 % .
- $a_1$  : Coeficiente estructural para la carpeta asfáltica
- $a_2$  : Coeficiente estructural para la Base granular con un CBR de 80 %
- $a_3$  : Coeficiente estructural para la Sub-base granular con un CBR de 50 %
- $D_1$  : Espesor de la carpeta Asfáltico
- $D_2$  : Espesor de la Base granular
- $D_3$  : Espesor de la Sub-base granular
- $m_2, m_3$  : Coeficiente de drenaje para la base y sub-base, considerado como regular con un porcentaje entre 1 % - 5 % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación.

Finalmente los datos usados para el calculo son:

- $LCR = 1.31$  (Gráfico de Maccaferri)
- $D_1 = 7.50cm$                        $a_1 = 0.172cm$
- $D_2 = 20.00cm$                        $a_2 = 0.056cm$                        $m_2 = 1.15cm$
- $D_3 = 25.00cm$                        $a_3 = 0.048cm$                        $m_3 = 1.10cm$

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2LCR + a_3D_3m_3$$

$$SN = 4.30$$

Donde al reemplazar este valor y los demás datos en la ecuación 2.1 podemos hallar un  $ESALS_{18(Reforzado)}$  igual a 3'089,650.00. Este  $ESALS_{18(Reforzado)}$  es finalmente para el que se diseña al incluir geomallas en la estructura del pavimento conservando los espesores de la estructura del pavimento sin reforzar.

### 3.6. Diseño de pavimento flexible reforzado por fabricantes de geomallas

Los geosintéticos han brindando soluciones desde los años 60 aproximadamente, esto a obligado a diversas empresas a investigar mas sobre el uso y nuevas aplicaciones así como beneficiosas, algunos fabricantes de Geosintéticos ha venido desarrollando software para diversas problemas, es así que durante el desarrollo de nuestra investigación se realizo las consulta a algunas empresas como parte de sus soluciones para el tipo de Geomalla que fabrican y que a continuación se muestran en tablas. Asimismo, adjuntamos los diseños de los fabricantes en el Anexo A.

#### 3.6.1. Reducción de la estructura del pavimento

Para la reducción de espesores alguna empresas tienen softwares, en Perú podemos destacar a MACCAFERRI y TDM(Tensar) cuyos programas son exclusivo para desarrollar diseño para sus clientes; sin embargo, también podemos encontrar el software de PAVCO que si bien libre se debe de solicitarse una llave para su uso.

A continuación, en la Tabla 3.12 se muestran los resultados obtenidos para la reducción de la Estructura de Pavimento, debo aclarar que Maccaferri a diferencia de TDM y Pavco ofrece hasta 3 soluciones de las que mencionamos las dos que se realizaron a nuestro pedido.

**Tabla 3.12:** Estructura de pavimento reducida - Elaboración propia

Descripción	Inicial	Pavco	Tensar	Maccaferri	Maccaferri
Carpeta Asfáltica cm	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
Base cm	20.00	18.00	15.00	15.00	13.00
Subbase cm	25.00	15.00	18.75	20.00	25.00

Como se observa en la Tabla 3.13 los resultados obtenidos pueden variar dependiendo de las especificaciones técnicas de cada fabricante. Asimismo, se muestra la reducción de los espesores en cada capa granular, con esto podemos calcular el coeficiente BCR así como cuantificar la reducción de los metrados del material a utilizar en nuestro proyecto.

**Tabla 3.13:** Reducción de la estructura del pavimento - Elaboración propia

Descripción	Inicial	Pavco	Tensar	Maccaferri	Maccaferri
Base cm	20.00	2.00	5.00	5.00	7.00
Subbase cm	25.00	10.00	6.25	5.00	0.00
BCR %	00.00	26.70 %	25.00 %	22.22 %	35.00 %

En la Tabla 3.13 podemos notar que el coeficiente BCR se encuentran dentro del rango establecido, 20 % a 40 %. Asimismo, en la Tabla 3.14 se muestra el porcentaje de ahorro en la capa subbase y base.

**Tabla 3.14:** Porcentaje de ahorro de material en la estructura de pavimento - Elaboración propia

Descripción	Inicial	Pavco	Tensar	Maccaferri	Maccaferri
Base cm	20.00	10.00 %	25.00 %	25.00 %	35.00 %
Subbase cm	25.00	40.00 %	25.00 %	20.00 %	0.00 %

### 3.6.2. Extensión de períodos de diseño

Del mismo modo podemos mostrar la mejora del pavimento flexible al conservar las dimensiones de la estructura del pavimento y reforzarla con geomallas, estos datos se obtuvieron de las distintas empresas fabricantes de geosintéticos.

A continuación, en la Tabla 3.15 se muestran los resultados obtenidos para extensión de períodos de diseño y que se realizaron a nuestro pedido.

**Tabla 3.15:** Extensión de períodos de diseño - Elaboración propia

Descripción	Inicial	Pavco	Tensar	Maccaferri
$SN_{(reforzado)}$	3.898	4.342	4.237	4.508
$ESALS_{(reforzado)}$	1'650,000	3'281,850	2'820,554	4'163,594

### 3.7. Análisis de elemento finitos

Actualmente se cuentan con programas numéricos que permiten modelar elementos a partir de las propiedades y características del suelo para simular comportamientos estimados frente a una variedad de acciones en un tiempo más óptimo. Tal es el caso del método de elementos finitos que se ha vuelto una herramienta bastante utilizada para resolver problemas de esfuerzo-deformación, casos de interacción de suelo-estructura y en particular situaciones cuyo nivel de complejidad es imposible de obtener por medio de una solución analítica[29].

Para la simulación de un pavimento flexible sin reforzar y reforzado con geomallas se utilizará el programa Plaxis 2D bajo un modelo de deformación plana de dos dimensiones. El programa Plaxis, está diseñado específicamente para la realización de análisis de deformación y estabilidad de problemas geotécnicos, utiliza una interfaz gráfica que permite a los usuarios generar rápidamente un modelo geométrico y una malla de elementos finitos basada en una sección transversal vertical representativa del problema que se trate.

### 3.8. Modelamiento del pavimento flexible

Desarrollar un modelo prototipo a escala real o a escala reducida define un costo elevado y un laboratorio equipado. Para abordar esta cuestión se recurren a procedimientos de análisis numérico con aproximaciones razonables, como es el caso del análisis de elementos finitos; que hace parte de una técnica numérica muy general para la resolución de diversos problemas geotécnicos y variados fenómenos físicos de interés en ingeniería. Actualmente existen programas disponibles en el mercado como el Plaxis 2D[29].

Si bien el asfalto tiene un comportamiento visco-elástico que dependen de las propiedades reológicas, esta investigación considerara un modelo elástico lineal para el asfalto, debido a que se seguirán los lineamiento de distintos investigadores y su publi-

caciones que toman en cuenta el reforzamiento con geomallas de este modo y que son: “Modelamiento de Elementos Finitos del Pavimento Flexible Reforzado con Geomalla”, Giovanni Leonardi & Rocco Palamara (2017); “Modelamiento de Elementos Finitos de caminos no pavimentados reforzadas con geosintéticos”, Lidia Calvarano & Giovanni Leonardi & Rocco Palamara (2017) y “Modelamiento numérico del suelo reforzado con geomalla debajo de la base de la zapata usando análisis de elementos finitos”, Ahmed Gamal & Adel Belal (2016).

El elemento finito usado para el modelamiento del pavimento flexible tiene la geometría de rectángulos para cada capa de la estructura del pavimento. Para determinar las características del suelo hemos empleado correlaciones dadas por AASHTO y determinamos los siguientes parámetros basados en el ensayo CBR. Las características del pavimento se detallan en la siguiente tabla:

$$E_{Base}(MPa) = 29.4 \cdot CBR^{0.4358} \quad (3.1)$$

$$E_{Subbase}(MPa) = 36 \cdot CBR^{0.30} \quad (3.2)$$

$$E_{Subrasante}(MPa) = 10 \cdot CBR \quad (3.3)$$

Para poder comprobar la reducción del espesor de la estructura del pavimento se uso dos modelos como se muestra en la Tabla 3.17, esto debido a que durante el modelamiento se encontró problemas al usar capas pequeñas; asimismo, la información ingresada en el software Plaxis es resumida de la siguiente manera:

- Los modulo de elasticidad del suelo puede ser obtenidas mediante ensayos triaxiales, pero dado el costo de los ensayos se opto por usar las correlaciones mencionadas anteriormente.
- El coeficiente de Poisson, son valores asumidos acorde a las investigaciones revisadas; además, se encuentren entre los rangos establecidos en la Tabla ??.
- El peso específico seco para el material base, subbase y subrasante, se obtuvo de los ensayos del proctor modificado, los mismos que se encuentra en el informe geotécnico elaborado por la empresa INGEOTECON. Sin embargo, para contrastar dicha información se ensayo el material subrasante del km 2+000, encontrando una un material de  $17.27 \text{ KN}/m^3$ .
- La cohesion, el ángulo de fricción y el de dilatación para el material base, subbase y subrasante son valores asumidos acorde a las investigaciones revisadas.

Si bien el expediente técnico nos da las características de los materiales considerados para el proyecto ejecutado, hemos optado por usar los valores acorde a los rangos de los materiales considerados en la Tabla 3.16 según su clasificación SUCS; asimismo, se adjunta en el Anexo C la tabla de valoración de suelos SUCS para distintos parámetros del suelo.

**Tabla 3.16:** Propiedades de los materiales según su clasificación SUCS - Bowles (1980)

CBR (%)	Clasificación	Usos	Sistema Unificado	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Regular	Sub – base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 – 50	Bueno	Base, sub – base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1B,A2-5,A-3,A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A-1-A,A2-4,A3

**Tabla 3.17:** Propiedades de los materiales - Elaboración propia

		1	2	3	4
Tipo de Material		Asfalto	Base	Sub Base	Sub Rasante
Tipo de Suelo (Clasificación SUCS)		-	GW-GC	SP	SC
Modelo del material		Lineal elástico	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
Espesor Modelo 1	(m)	0.10	0.25	0.35	1.30
Espesor Modelo 2	(m)	0.10	0.20	0.25	1.45
CBR	%	-	80 <sup>1</sup>	40 <sup>2</sup>	7 <sup>3</sup>
E	(KN/m <sup>2</sup> )	2,100,000	198,479 <sup>4</sup>	108,873 <sup>5</sup>	72,380 <sup>6</sup>
v poisson		0.45	0.35	0.35	0.3
PE seco	(KN/m <sup>3</sup> )	20	20.89	17.2	16.00
Cohesion	(KN/m <sup>2</sup> )	-	35	0	15
Ang. Friccion	°	-	40	30	10
Ang. Dilatacion	°	-	10	5	5

<sup>1</sup> Valor obtenido del expediente, el mismo que se encuentra en el rango acorde a la Tabla 3.16.

<sup>2</sup> Valor corregido acorde al tipo de material, el mismo que se encuentra en el rango acorde a la Tabla 3.16.

<sup>3</sup> Valor corregido acorde al tipo de material, el mismo que se encuentra en el rango acorde a la Tabla 3.16.

<sup>4</sup> Valor hallado haciendo uso de la ecuación 3.1 de la presente.

<sup>5</sup> Valor hallado haciendo uso de la ecuación 3.2 de la presente.

<sup>6</sup> Valor hallado haciendo uso de la ecuación 3.3 de la presente.

La propiedad de la geomalla se basa en su rigidez axial (EA), y esta dada por la siguiente ecuación:

$$E \cdot A = \frac{T}{\varepsilon} \quad (3.4)$$

Donde:

- $T$  : Es la resistencia a la tensión, este valor es proporcionado por el fabricante.

Usaremos el valor de 20 KN/m.

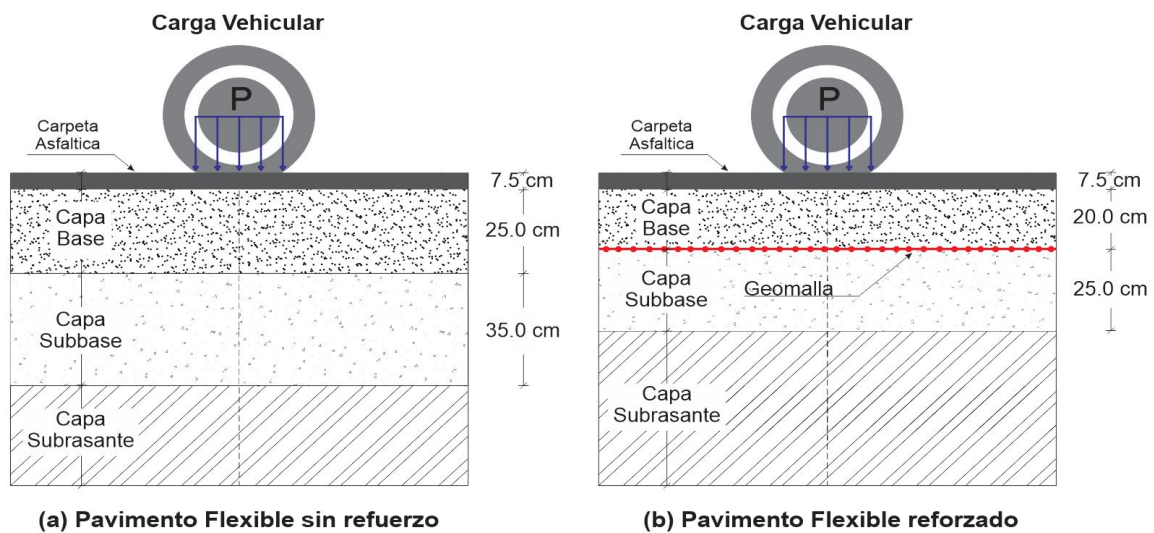
- $\varepsilon$  : Es la extensión relativa que varia entre 0.05 % y 2 %.

**Tabla 3.18:** Rigidez axial de la geomalla - Elaboración propia.

		EA(KN/M)	$\nu$
GEOMALLA	MacGRID EG20	1000	0.25
	MacGRID EG30	1500	
	MacGRID EG40	2000	

Para nuestra investigación se usara el MacGRID EG20 cuya resistencia a la tension es valor de 20 KN/m, dicho valor es proporcionado por el fabricante; asimismo, tomaremos el valor de 2 % para el  $\varepsilon$  pues da un EA menor, esta rigidez axial de la geomalla (EA) corresponde a 1000 KN/m, así como el coeficiente de poisson asumido es 0.25, esto debido a que dicho valor han sido usado por los investigadores ya citados en el modelamiento de pavimento flexible reforzado.

Finalmente el modelamiento del pavimento debe considerar las mismas condiciones sin geomallas y con geomallas. Durante los cálculos se consideró distintas cargas siendo así: 18kip(80KN), 26kip(116KN), 200 KN y 400 KN, donde finalmente tomamos el valor de 400KN ya que al usar un valor pequeño notamos que no se distingue muy bien los cambio ni la variación de los esfuerzos.



**Figura 3.6:** Pavimento flexible sin refuerzo y reforzado - Elaboración propia

A continuación se detalla las canteras utilizadas para el proyecto mencionado, dicha información se extrajo del expediente técnico del proyecto:

**Cantera Rio Cachi.-** Esta cantera está ubicada en la carretera Ayacucho - Huanta, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 es Este=578796m, Norte=8555230m.

Conformada por depósitos de material grueso y finos que tienen formas redondeadas a sub redondeadas, constituidas por gravas bien gradadas y pobremente gradadas mezclas de grava arena y limos.

**Cantera Material Granular MG-1.-** Esta cantera está ubicada en la carretera Ayacucho – Toccto, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 Este=578796m. Norte=8555230m. Conformada por depósitos de material grueso y fino que tienen formas sub redondeadas a sub angulosas, constituidas por gravas pobremente gradadas. Esta cantera se usó para relleno y mejoramientos.

**Cantera Rocas N 1.-** Esta cantera está ubicada en la carretera Toccto –Andahuaylas, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 Este=595741m, Norte=8523659m. Conformada por macizos rocosos fracturados que tienen formas sub angulosa. Esta cantera se usó para Agregado Grueso chancado.

**Cantera Ccelloccasa.-** Esta cantera está ubicada en la carretera Toccto-Andahualas, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 Este=627736m, Norte=8527815m. Conformada por depósitos de material grueso y fino que tienen formas sub angulosas, constituidas por Mezclas de grava arena y limos. Esta cantera se usó para extraer material para Sub base previo mezclado, relleno y mejoramientos.

**Cantera Km 1+100 - Km 1+000.-** Esta cantera está ubicada en la carretera del proyecto al lado derecho, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 Este=588413m, Norte=8522970m. Conformada por depósitos de material grueso y fino que tienen formas sub angulosas, constituidas por Mezclas de grava arena y arcillas. Esta cantera se usó para extraer material para Sub base y mejoramientos previo mezclado y rellenos.

**Cantera Rocas N° 2 Km 2+360.-** Esta cantera está ubicada en la carretera en proyecto al lado derecho, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 Este=588085m, Norte=8521860m. Conformada por macizos rocosos fracturados que tienen formas sub angulosas. Esta cantera se usó para extraer material para rellenos con enrocados.

**Cantera Río Sayacc.-** Esta cantera está ubicada en la carretera Desvió Condorcocha - Vilcashuaman, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 es de Este=608570m, Norte=8523911 m. Conformada por depósitos de material grueso y

finos que tienen formas sub redondeadas a sub angulares, constituidas por gravas pobremente gradadas.

**Cantera Rio Pampas - sector Cangallo.-** Esta cantera está ubicada en la carretera Desvió Condorococha - Cangallo, su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 es de Este=598662m, Norte=8532080m. Conformada por depósitos de material grueso y finos que tienen formas sub redondeadas, constituidas por gravas pobremente gradadas.

Asimismo, lo ensayos realizado a las canteras mencionadas fueron hechos en los laboratorios de la empresa empresa INGEOTECON y que al verificar el informe geotécnico sobre las canteras a usar como material granular para la capa base y la sub base, vemos que algunos de estos no cumplen con los requisitos establecidos en las “Especificaciones técnicas general para la construcción (EG-2013)” del MTC ,Capítulo IV, sección 402 Subbases granulares y sección 403 Bases granulares, los cuales se evaluarán para una altitud mayor a 3000 msnm.

La cantera denominada KM 1+100 - KM 1+000 considerada como material para la base del pavimento, cumple lo establecido en las Tablas 3.21 y 3.19; sin embargo, no cumple con el requerimiento mínimo de índice plástico pues presenta 10.2%, y el índice plástico máximo es 2%; asimismo; presenta un equivalente de area igual 54% donde el máximo es 45%, tal como se muestra en la Tabla 3.20

**Tabla 3.19:** Requerimientos agregado grueso - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013).

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos Altitud	
				< 3.000 msnm	≥ 3.000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas (1)		D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888		0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104		18% máx.

**Tabla 3.20:** Requerimientos agregado fino - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013).

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		<3.000 msnm	≥3.000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	-----	15%

**Tabla 3.21:** Valor Relativo de Soporte (CBR %) - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013).

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes (<10 <sup>6</sup> )	Mín. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (≥10 <sup>6</sup> )	Mín. 100%

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

La cantera MG-1 y Ccellocasa considerada como material para la subbase del pavimento, no cumple con el requerimiento mínimo de limite liquido pues presenta 35.5 % y 28.8 % respectivamente, y el limite liquido máximo es 25 %, tal como se muestra en la Tabla 3.22

**Tabla 3.22:** Requerimientos de la Subbase Granular - Especificaciones técnicas generales para construcción EG (2013).

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	.-	.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	.-	D 4791	.-	20% máx.	20% máx.

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

### 3.8.1. Modelo de pavimento flexible reducido

Los parámetros utilizados para realizar el modelamiento del pavimento flexible reforzado se encuentran en las Tablas 3.17 y 3.18, las mismas que detallan las propiedades y modelo utilizado para las distintas capas del pavimento flexible, así como los parámetros necesarios para modelar la geomalla acorde a los lineamientos de los distintos investigadores ya citados.

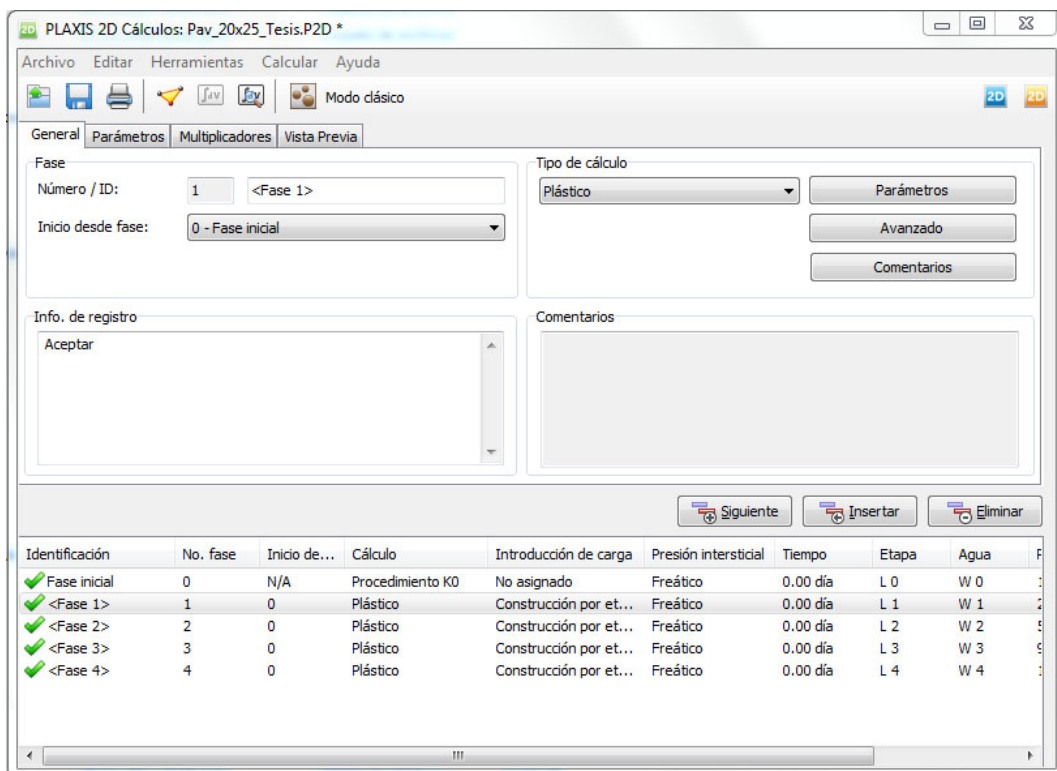
El diseño para reducir la estructura del pavimento considera a la geomalla entre la capa base y subbase; sin embargo, durante el modelamiento se considero distintas posiciones para poder encontrar mayores resultados, en la Figura 3.7 se muestra las fases de construcción de nuestro modelo las cuales detallamos a continuación:

**Fase 1** Se considero al pavimento Flexible sin refuerzo.

**Fase 2** Se considero reforzar al pavimento Flexible entre la base y la subbase.

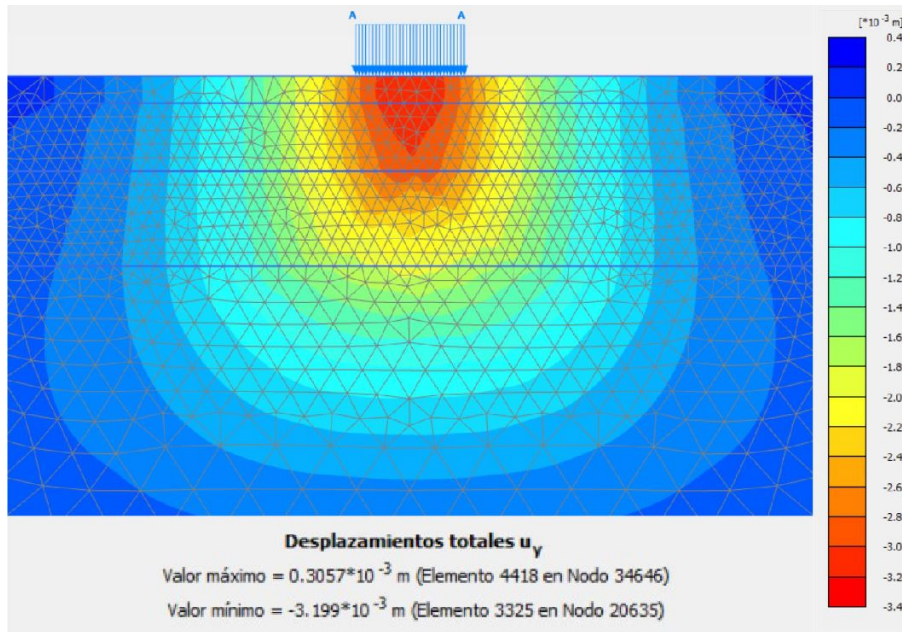
**Fase 3** Se considero reforzar al pavimento Flexible entre la subbase y la subrasante.

**Fase 4** Se considero reforzar al pavimento Flexible entre la base y la subbase, y también entre la subbase y la subrasante.

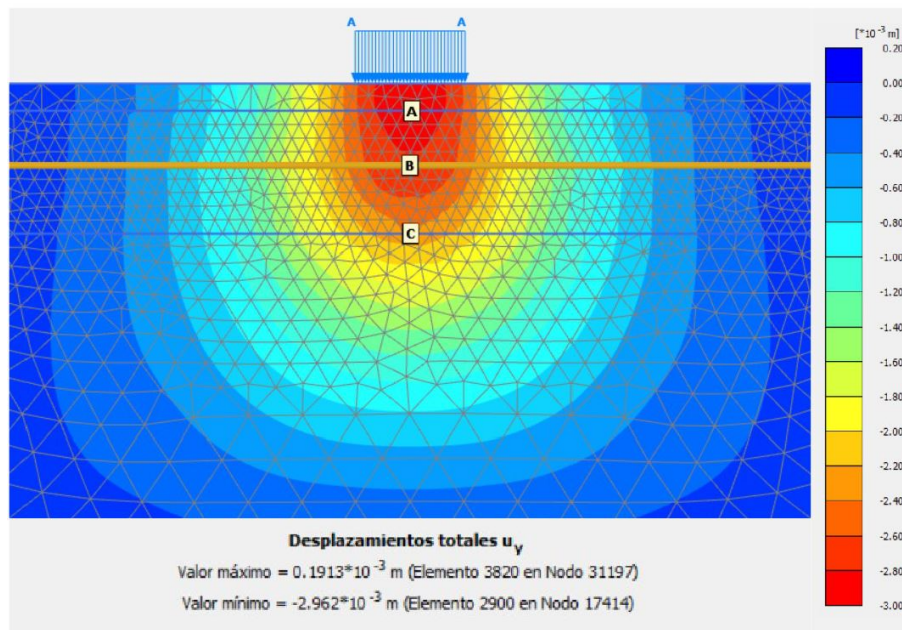


**Figura 3.7:** Fases de construcción del pavimento/Modelo 2, - Elaboración propia

Asimismo, en la Figura 3.8 vemos el modelo que considera 25cm de base y 35 cm de base, donde al aplicar una Carga de  $400\text{KN}/\text{m}^2$  muestra un desplazamiento vertical de  $-3.199\text{ mm}$ , del mismo modo aplicamos la carga de  $400\text{KN}/\text{m}^2$  en el modelo de 20cm de base y 25 cm de base reforzado con geomalla(Figura 3.9), este modelo muestra un desplazamiento vertical de  $-2.962\text{ mm}$ , donde se puede apreciar que al reforzarlo tiene una menor deformación, existiendo una diferencia de  $0.237\text{ mm}$ .



**Figura 3.8:** Desplazamiento vertical/Modelo 1, Pavimento flexible sin refuerzo -  
Elaboración propia



**Figura 3.9:** Desplazamiento vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado -  
Elaboración propia

### 3.8.2. Refuerzo entre la subrasante y subbase del pavimento flexible

La separación entre la subrasante y la subbase granular mediante la geomalla (Figura 3.11) previene la migración de partículas finas, ocasionando un efecto de reducción de presiones debido al confinamiento lateral producido por la geomalla, esto modifica la deflexion vertical[16].

En la Figura 3.10 se muestra el modelo del pavimento flexible sin refuerzo y que bajo una carga de  $400\text{KN}/\text{m}^2$  muestra un desplazamiento vertical de  $-3.875\text{ mm}$ . Asimismo, si el pavimento flexible se refuerza con geomallas entre la subrasante y la capa subbase muestra un desplazamiento vertical de  $-3.136\text{ mm}$ , logrando disminuir en  $19.07\%$  el desplazamiento vertical.

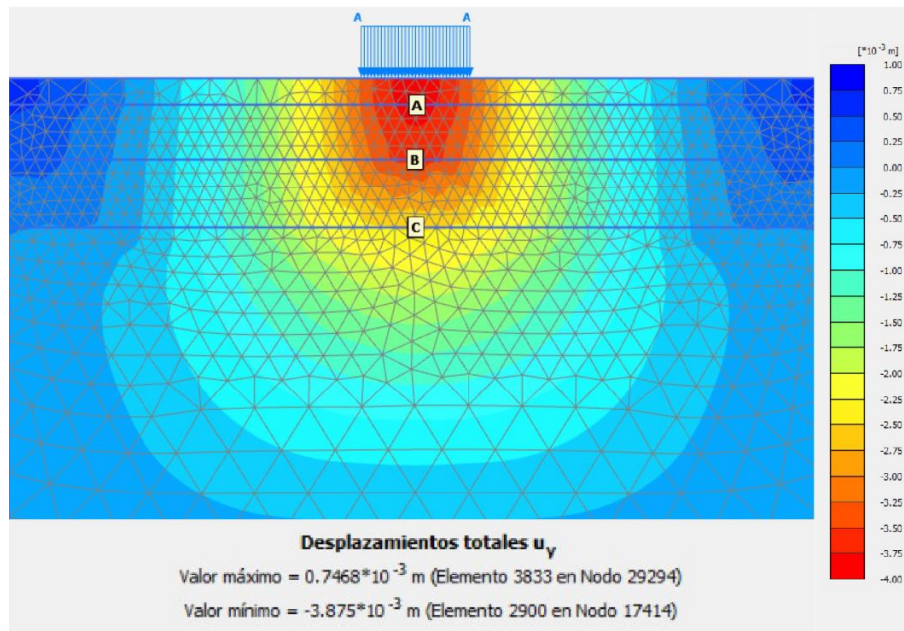
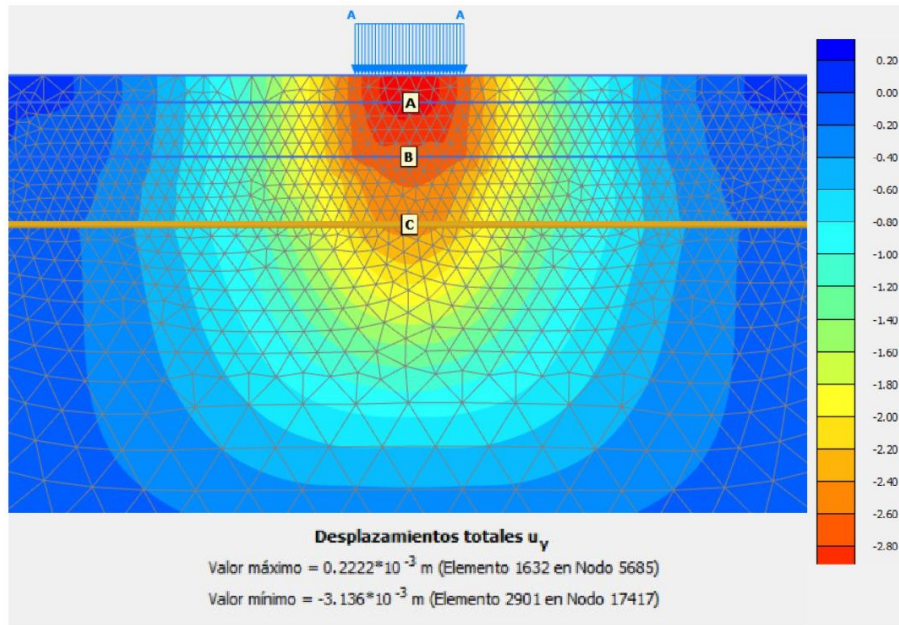
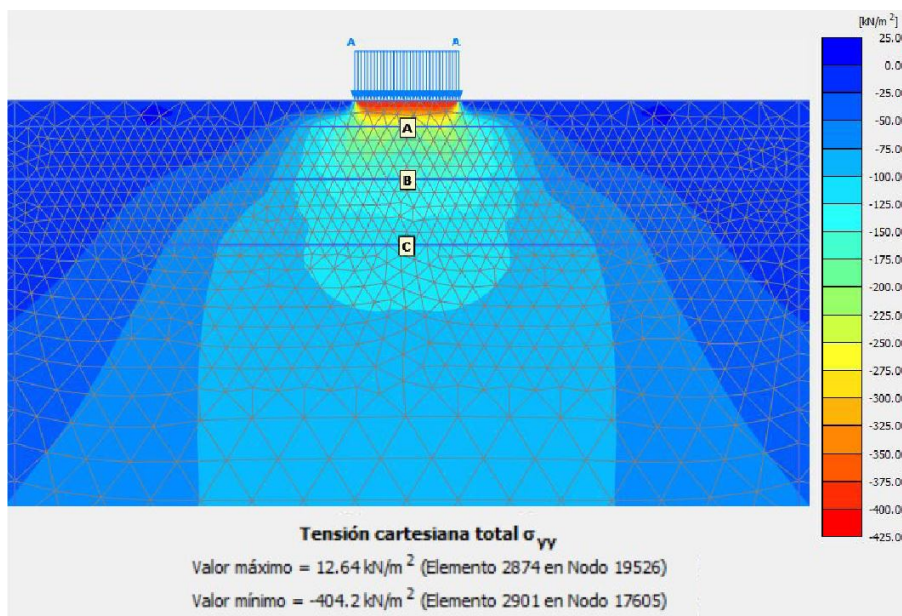


Figura 3.10: Desplazamiento vertical/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo -  
Elaboración propia

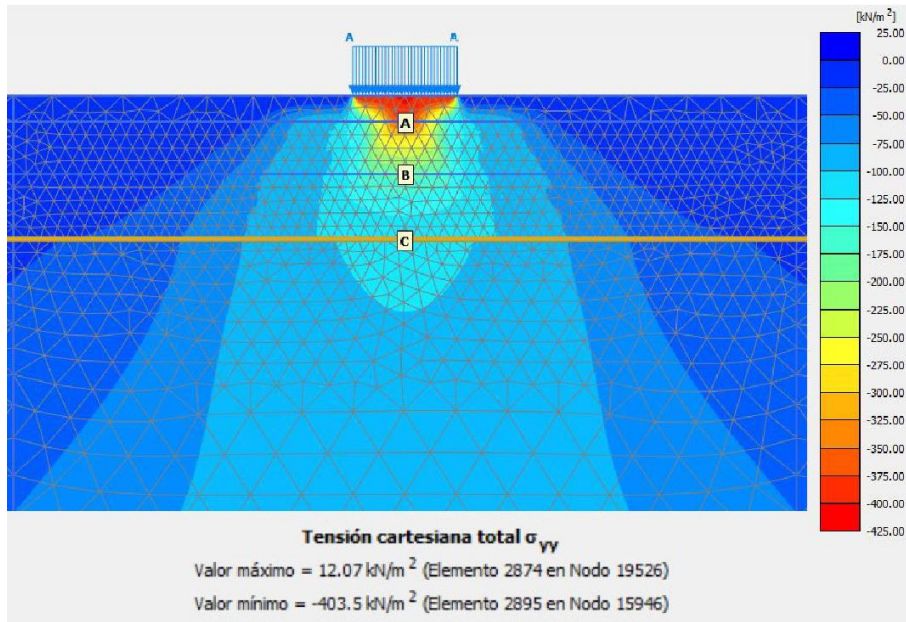


**Figura 3.11:** Desplazamiento vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado- Elaboración propia

Asimismo, se muestra la variación de los esfuerzo verticales bajo el centro de la carga en los puntos A, B y C, donde el pavimento flexible sin refuerzo (Figura 3.12) muestra un esfuerzo en  $A = -160.00 \text{ kN/m}^2$ ,  $B = -154.71 \text{ kN/m}^2$  y  $C = -127.83 \text{ kN/m}^2$  y para el pavimento flexible reforzado (Figura 3.13) un esfuerzo en  $A = -254.20 \text{ kN/m}^2$ ,  $B = -244.65 \text{ kN/m}^2$  y  $C = -132.22 \text{ kN/m}^2$ .

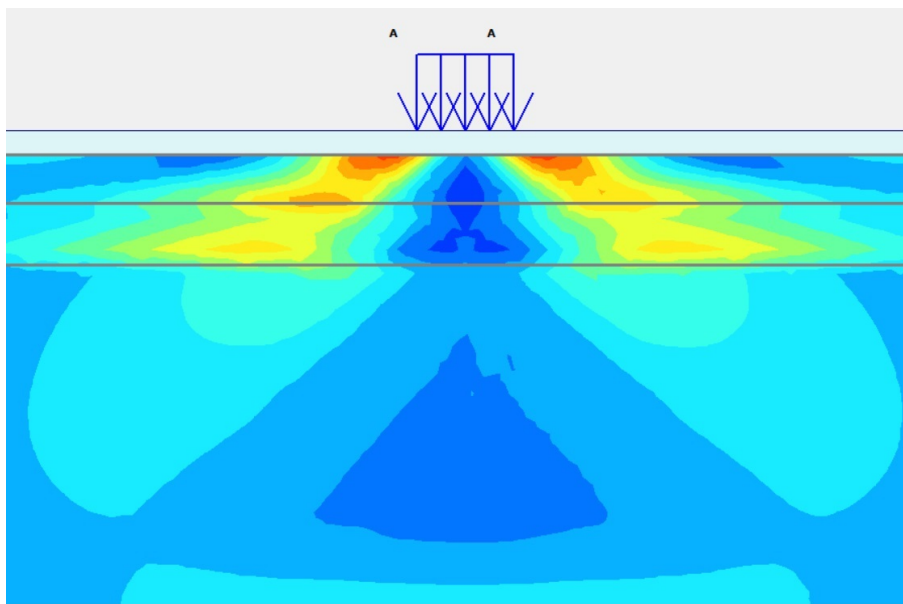


**Figura 3.12:** Esfuerzo vertical/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia

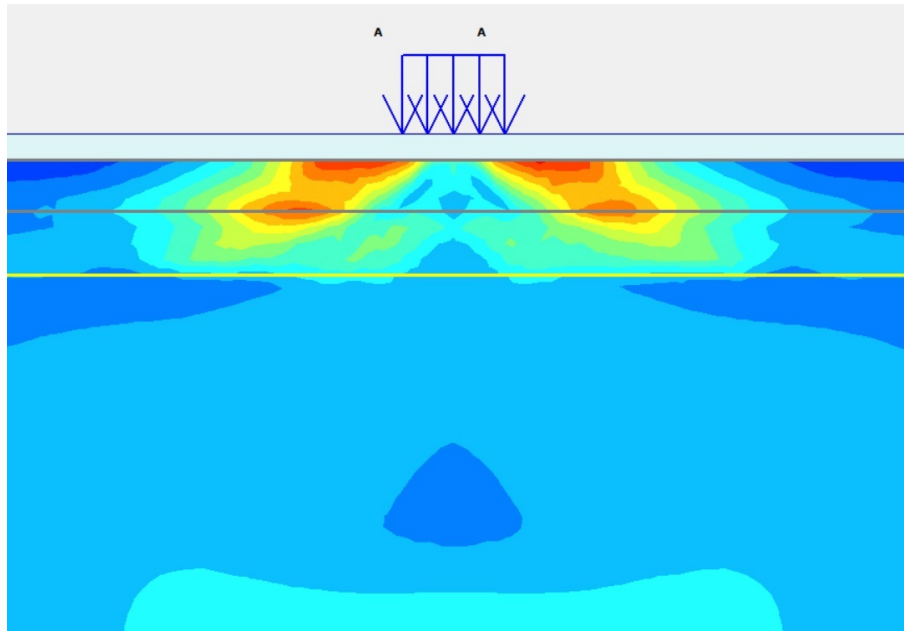


**Figura 3.13:** Esfuerzo vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia

De igual forma se muestra la variación de los esfuerzo horizontales, donde el pavimento flexible sin refuerzo (Figura 3.14) y el pavimento flexible reforzado (Figura 3.15).



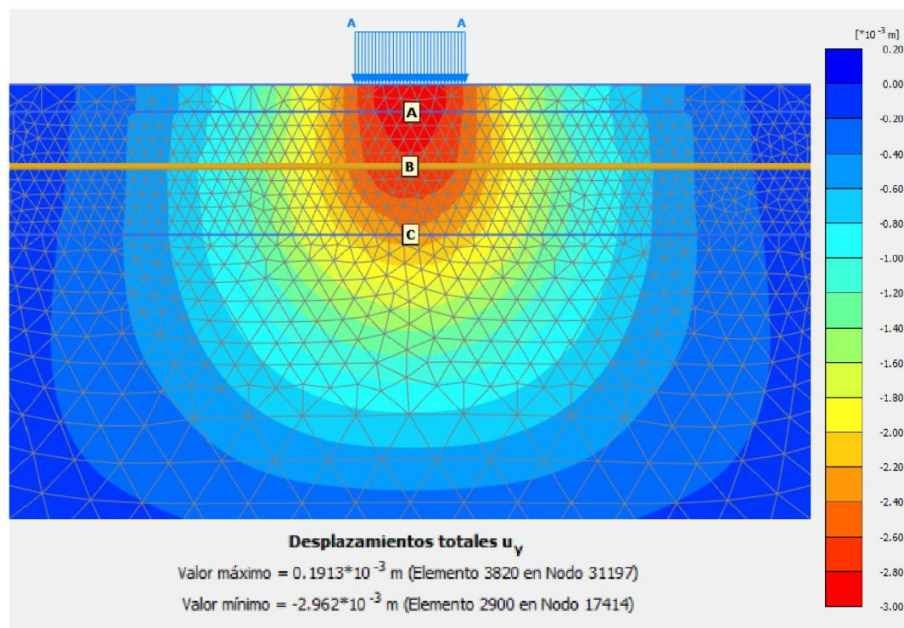
**Figura 3.14:** Esfuerzo horizontal/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia



**Figura 3.15:** Esfuerzo horizontal/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia

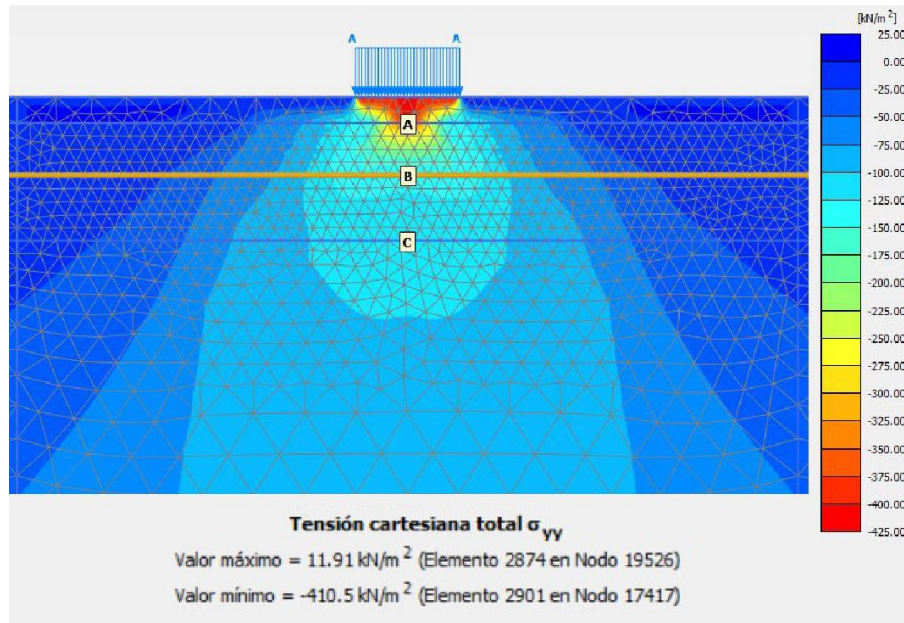
### 3.8.3. Refuerzo entre la subbase y base del pavimento flexible

Del mismo modo que en el ítem anterior, se refuerza el pavimento flexible con geomallas entre la capa subbase y la capa base, este refuerzo muestra un desplazamiento vertical de -2.962 mm (Figura 3.16), logrando una disminución en 23.45 % del desplazamiento vertical sin refuerzo (Figura 3.10).



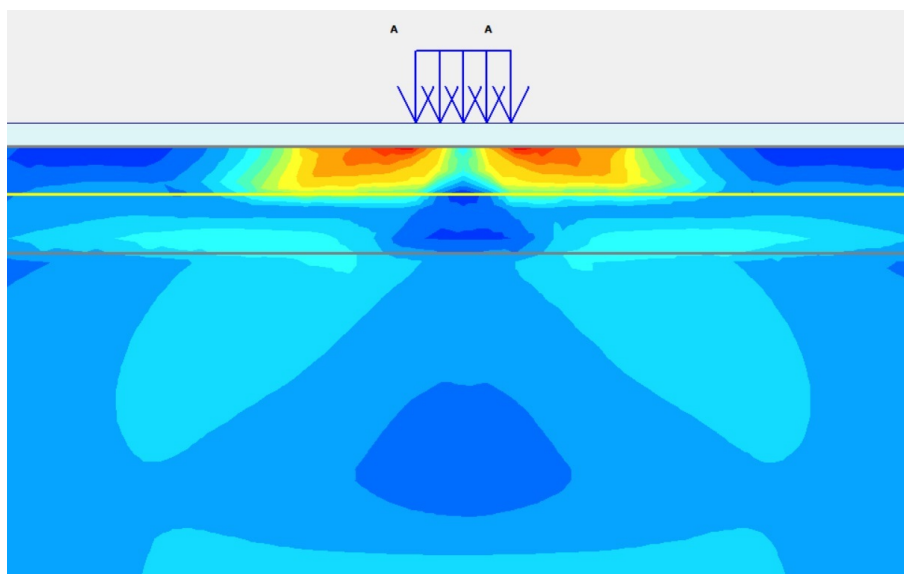
**Figura 3.16:** Desplazamiento vertical Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia

Asimismo, se muestra la variación de los esfuerzo verticales, donde el pavimento flexible sin refuerzo (Figura 3.12) muestra un esfuerzo en A=  $-160.00\text{KN}/\text{m}^2$  , B =  $-154.71\text{KN}/\text{m}^2$  y C=  $-127.83\text{KN}/\text{m}^2$  y para el pavimento flexible reforzado (Figura 3.17) un esfuerzo en A=  $-357.55\text{KN}/\text{m}^2$  , B =  $-142.03\text{KN}/\text{m}^2$  y C=  $-142.03\text{KN}/\text{m}^2$ .



**Figura 3.17:** Esfuerzo vertical/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia

De igual forma, se muestra en la Figura 3.14 la variación de los esfuerzo horizontales para el pavimento flexible sin refuerzo y en la Figura 3.18 para el pavimento flexible reforzado, estos esfuerzo son más apreciables en este tipo de gráficas; sin embargo, se detallan más en el siguiente capitulo.



**Figura 3.18:** Esfuerzo horizontal/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración Propia

### **3.9. Análisis del costo de la obra**

El presupuesto primigenio, así como el contrato para la ejecución de obra cuyo monto asciende a S/.30'712,566.43, contemplan 20 cm de base y 20 cm de material subbase, por ello primero modificaremos la partida "4.01 SUB - BASE DE 0.20 m", incrementando los metrados para una Subbase de 25 cm, donde finalmente se obtiene un nuevo presupuesto de S/.31'210,691.87.

#### **3.9.1. Nuevo presupuesto del costo de la obra**

Este "Nuevo Presupuesto" incluye la partida "4.03 GEOMALLA" que consta de 108,230.00  $m^2$  con un costo de 1.25\$ por  $m^2$ , este costo no incluye IGV y ha sido obtenido del lista de costos de MACCAFERRI que se adjunta en el Anexo C, la instalación suele ser sencilla y se puede lograr un total de 4'000  $m^2$ , que representan aproximadamente 500.00 metros lineales, pues la geomalla posee una dimension de 3.95x50.00 m. Finalmente se obtiene un presupuesto de S/.31'044,124.32, considerando una base de 15cm, subbase de 20cm y geomalla como refuerzo.

Asimismo, tener en consideración que la instalación debe hacerse paralelamente a la extension del material granular pues la geomalla se deteriora mas rápidamente si esta expuesta a la intemperie, se adjunta el análisis de costo unitario desarrollado para esta investigación en el Anexo A.

#### **3.9.2. Variación del presupuesto del costo de la obra**

El expediente técnico del proyecto analizado contempla material base de 20 cm y subbase de 20 cm cuya ejecución costaba S/.30'712,566.43 y según nuestro análisis el incremento de 5 cm en la capa subbase ocasionó un incremento en le presupuesto de S/.498,125.44 y que al reducir la estructura del pavimento e incluir geomallas como refuerzo, el presupuesto de la obra seria S/.31'044,124.32.

Finalmente, el costo del pavimento flexible convencional por kilómetro es S/.2'294,903.81 y el costo del pavimento flexible reducido y reforzado por kilómetro es S/.2'282,656.20, ambos muestran una diferencia de S/.12,247.61 la cual representa un ahorro del 0.53 % por lo que se puede concluir que el uso de geomallas como parte del refuerzo y para reducir espesores, es técnica y económicamente viable pero representa una incidencia muy pequeña.

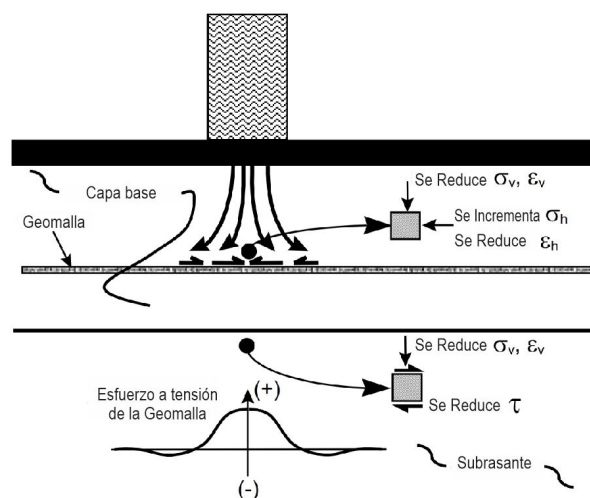
# Capítulo 4

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultado del análisis

#### 4.1.1. Estructura del pavimento flexible reforzado

Berg(2000), menciona que el propósito del refuerzo en la base, es el de generar un mecanismo de refuerzo atribuido a los geosintéticos en carreteras pavimentadas se denomina comúnmente restricción lateral de base, mediante la retención lateral del suelo se logran potencialmente cuatro componentes de refuerzo, como se muestra en la Figura 4.1, estos componentes incluyen: (I) prevenir el esparcimiento lateral de la base o agregado de la sub-base; (II) aumentar el confinamiento y, por lo tanto, la resistencia de la base o de la base en la proximidad del refuerzo; (III) mejorar la distribución vertical del esfuerzo en la subrasante y (IV) reducción del esfuerzo cortante debajo del geosintético.



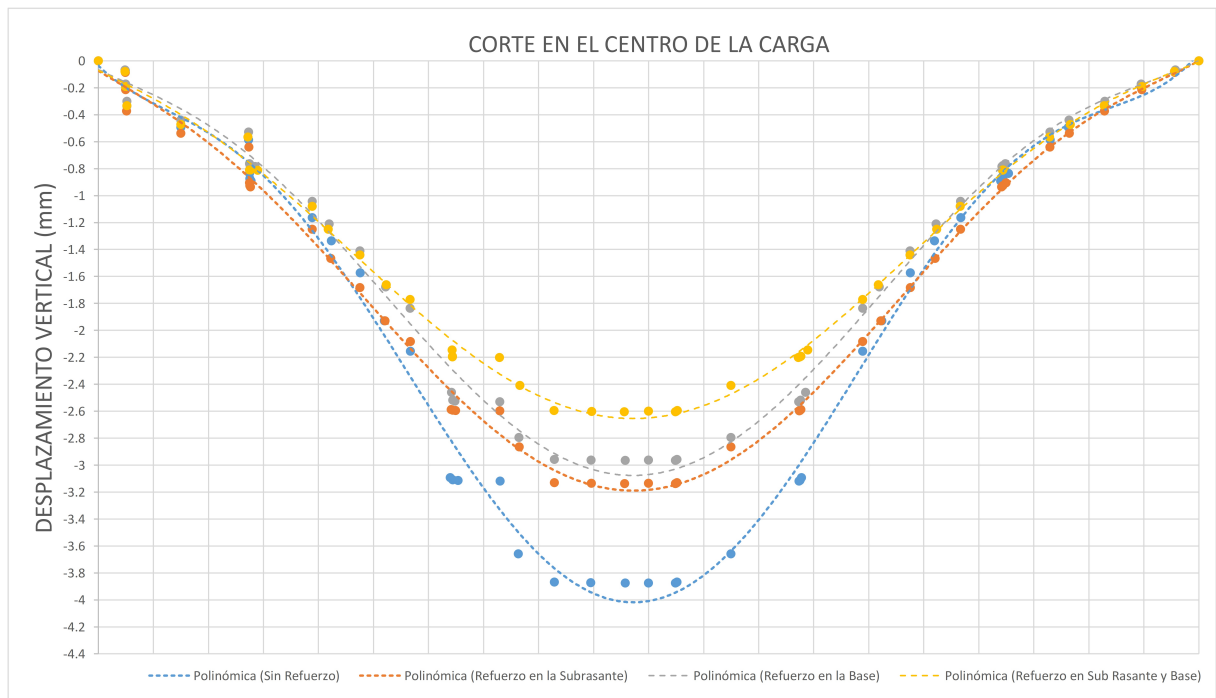
**Figura 4.1:** Mecanismo de refuerzo en un pavimento flexible con geomallas - Fuente: Berg (2000)

Es así que mediante el desarrollo de esta investigación se logro comprobar las mejoras mencionadas por Berg(2000) y que han sido considerado por AASHTO en su manual “Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures”, que son parte del análisis para realizar el diseño del pavimento flexible reforzado que permite reducir la estructura del pavimento.

#### 4.1.1.1. Deformación vertical del pavimento flexible

Para poder hacer una comparación numérica se hará uso de los resultados obtenidos con el programa plaxis. Qué, como se menciona en el capítulo anterior(Figura 3.10- Pavimento Flexible Sin Refuerzo) la deformación máxima es -3.875 mm y al reforzarlo con geomalla (Figura 3.9) entre la capa base y la sub base en las mismas condiciones resulta una deformación máxima de -2.962 mm.

Asimismo, se realizo distintos modelos considerando la geomalla en 3 posiciones distinta: (a) Refuerzo entre la capa Base y subbase; (b) Refuerzo entre la capa subbase y subrasante y (c) Doble refuerzo, entre la capa Base y subbase y capa subbase y subrasante, y que mediante la Figura 4.2 podemos observa la importancia de la ubicación de la geomalla.

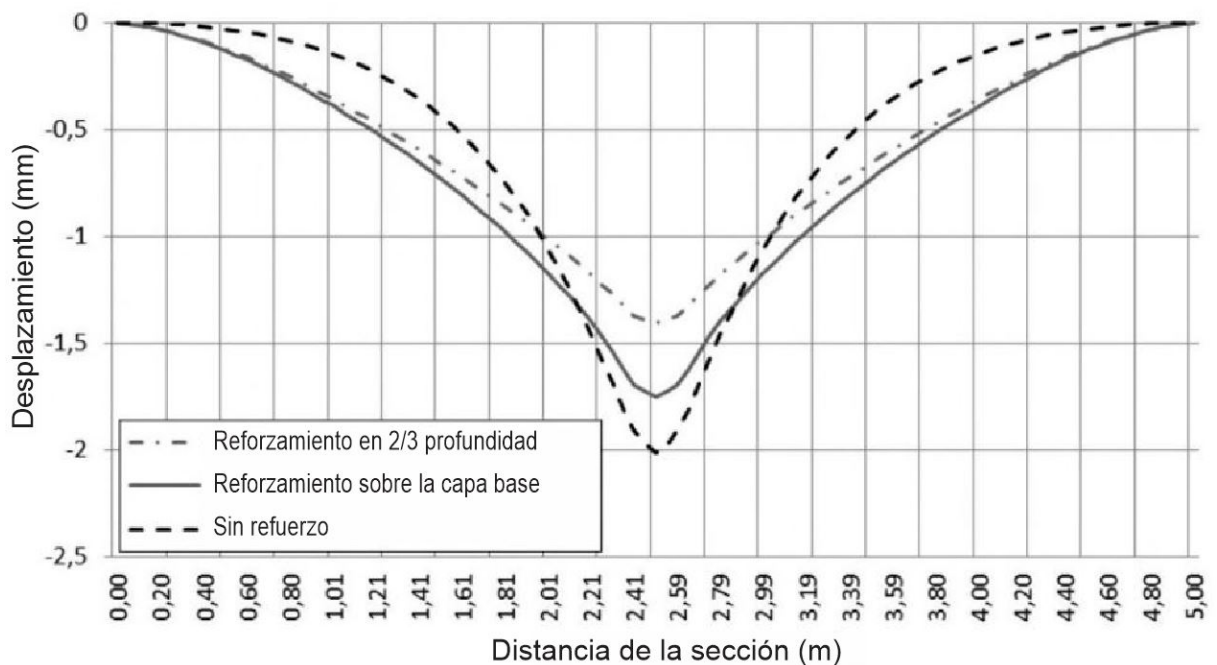


**Figura 4.2:** Desplazamiento vertical máximo al centro de la carga/Modelo 2 - Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 4.2, los desplazamientos máximos para los distintos

caso ya mencionados son: (a) -2.962 mm;(b) -3.136 mm y (c) -2.600 mm, podemos apreciar que existe una mayor reducción del desplazamiento con un solo refuerzo en la posición (a), esto se debe a la existencia un material de separación(geomalla) el cual impide la migración de partículas finas que permiten conservar la resistencia del material granular .

Modelamiento de Elementos Finitos de caminos no pavimentados reforzadas con geosintéticos Asimismo, La investigación realizada por Leonardi y Palamara (2017), “Modelamiento de Elementos Finitos de pavimentos reforzadas con geomallas”, muestra el desplazamiento vertical de un pavimento flexible con y sin refuerzo de geomallas[11] (Figura 4.3), que corroborado con nuestros resultados, podemos concluir que dichos gráficos son similares(Figura 4.2 y 4.3).



**Figura 4.3:** Desplazamiento vertical - Leonardi y Palamara (2017)

#### 4.1.1.2. Esfuerzo verticales del pavimento flexible

Los esfuerzos verticales del pavimento flexible tienden a variar acorde a la ubicación del refuerzo, en la Figura 4.4, 4.5 y 4.6 se muestra los esfuerzo verticales bajo el centro de la carga, donde se puede distinguir una mejora entre distintas ubicaciones de la geomalla.

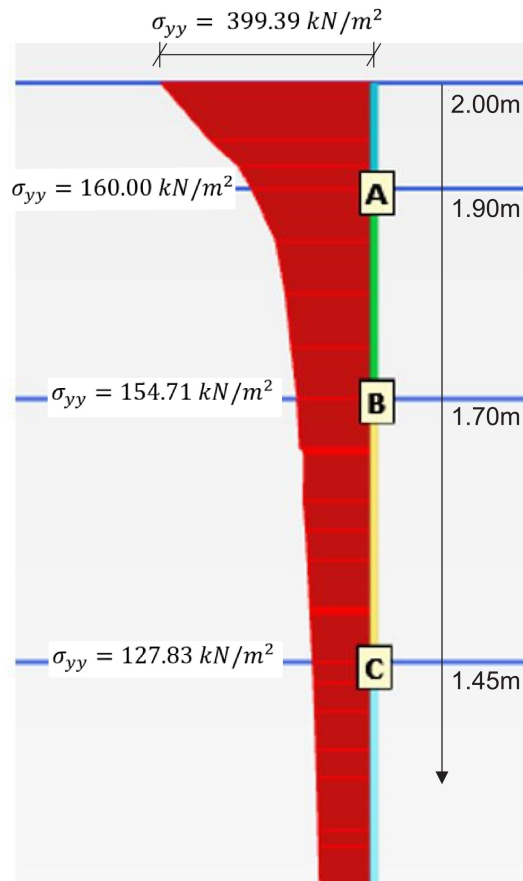


Figura 4.4: Esfuerzo vertical sin refuerzo/Modelo 2 - Elaboración propia

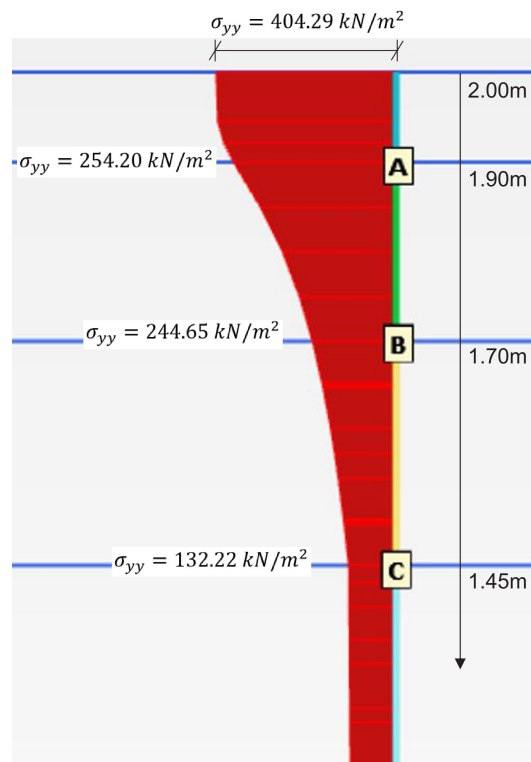
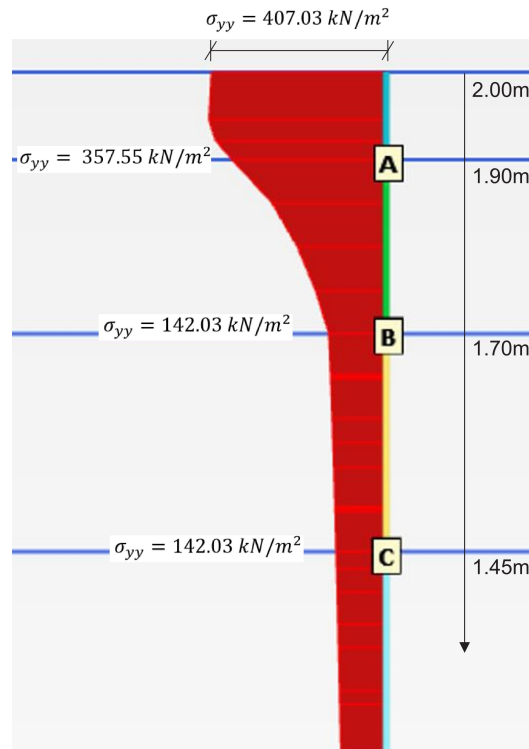


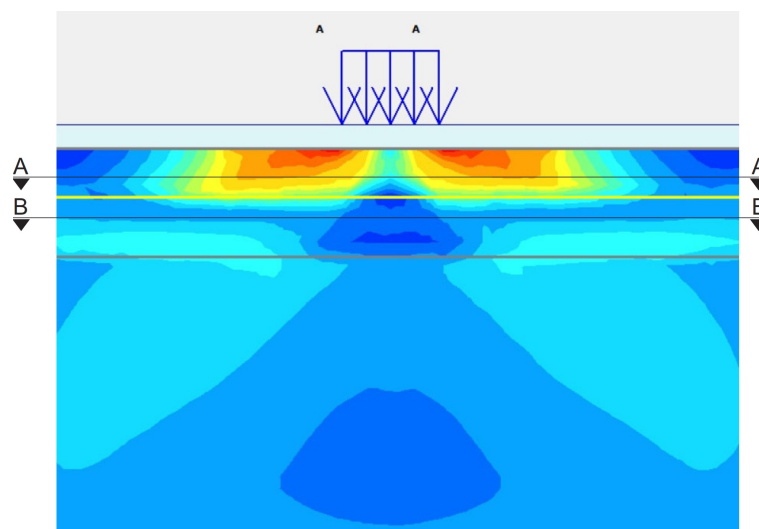
Figura 4.5: Esfuerzo vertical, reforzado entre la Subrasante y la Subbase/Modelo 2 - Elaboración propia



**Figura 4.6:** Esfuerzo vertical, reforzado entre la Subbase y la Base/Modelo 2 - Elaboración propia

#### 4.1.1.3. Esfuerzo horizontal del pavimento flexible

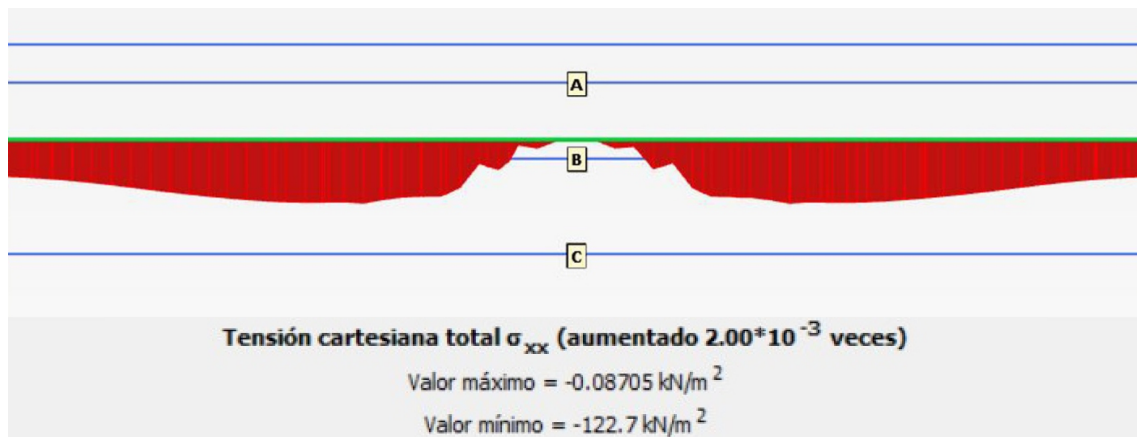
La verificación del esfuerzo horizontal en el pavimento flexible reforzado se realiza mediante el modelo elaborado en el plaxis, para lo cual se hacen cortes de formar arbitraria que nos permita ver los esfuerzo sobre y debajo del reforzamiento (Figura 4.7).



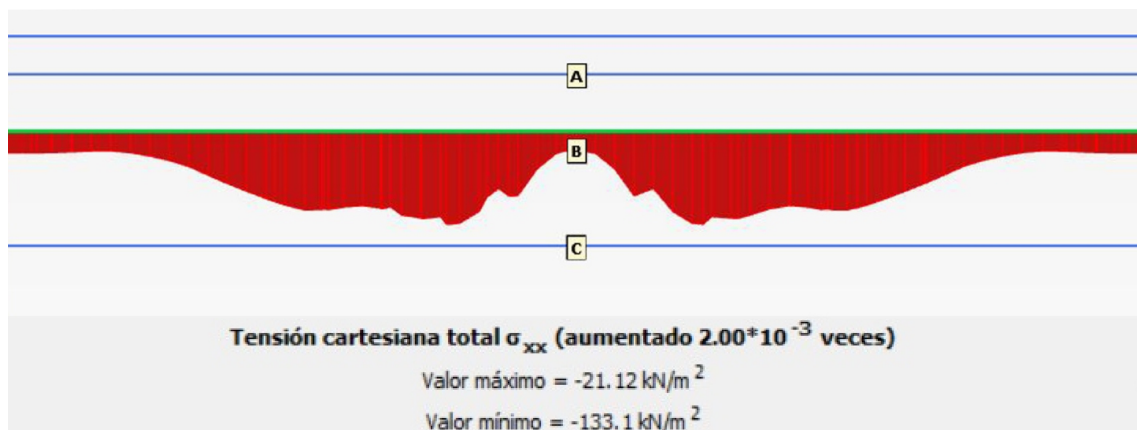
**Figura 4.7:** Esfuerzo horizontal/Modelo 2/Corte AA-BB,Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia

### Corte AA

Como se muestra la Figura 4.8 y 4.9 el esfuerzo horizontal al centro de la carga del pavimento sin refuerzo ( $-122.70 \text{ kN/m}^2$ ) y reforzado ( $-133.10 \text{ kN/m}^2$ ) respectivamente, de este modo se comprueba lo mencionado por Berg(2000) mediante en la Figura 4.1, que nos dice que el esfuerzo horizontal se incrementa al reforzar nuestro pavimento con geomallas, generando un confinamiento lateral y el cual que mejora la distribución de esfuerzos generados por el trafico, incrementando de esta manera la vida útil del pavimento flexible.



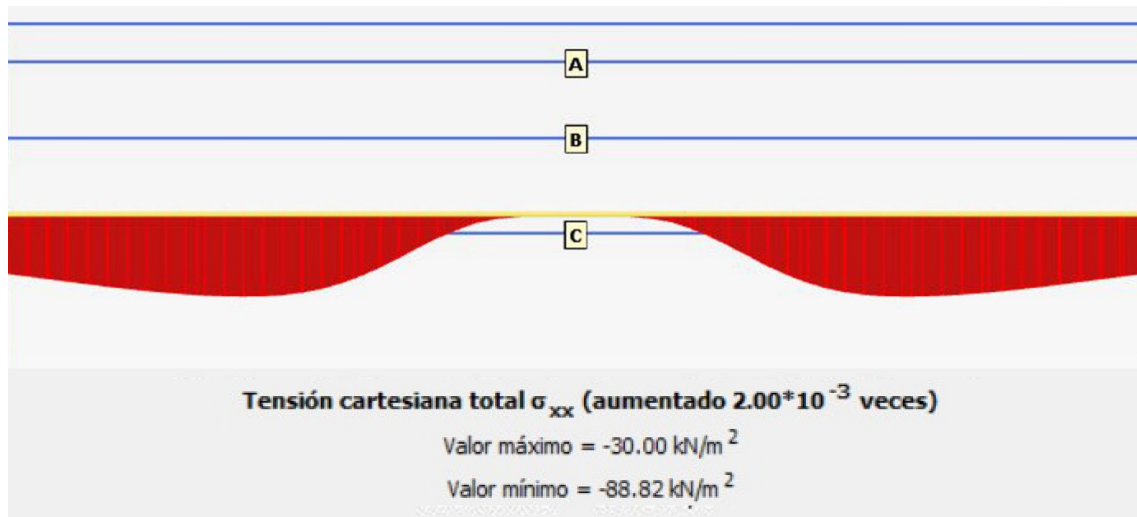
**Figura 4.8:** Esfuerzo horizontal - Corte AA/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia



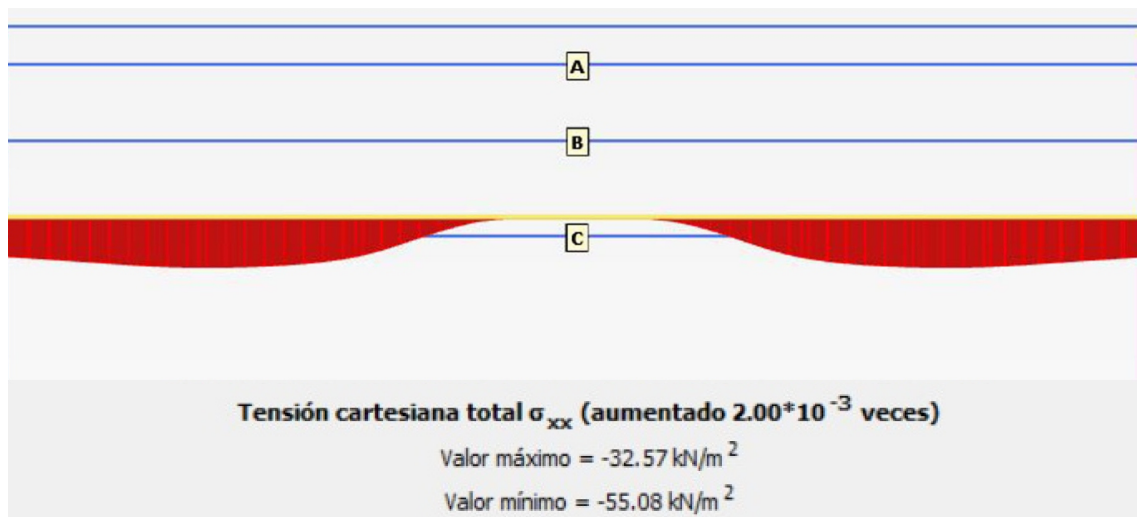
**Figura 4.9:** Esfuerzo horizontal - Corte AA/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia

### Corte BB

Como se muestra la Figura 4.10 y 4.11 el esfuerzo horizontal al centro de la carga debajo del refuerzo disminuye aproximadamente casi a la mitad, estos esfuerzo puede visualizarse mejor mediante las Figuras 3.14 y 3.18, donde vemos como la geomalla ubicada entre la base y subbase tiende a contener los esfuerzos horizontales máximos.



**Figura 4.10:** Esfuerzo horizontal - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo - Elaboración propia



**Figura 4.11:** Esfuerzo horizontal - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado - Elaboración propia

#### Refuerzo considerado entre la subrasante y la subbase

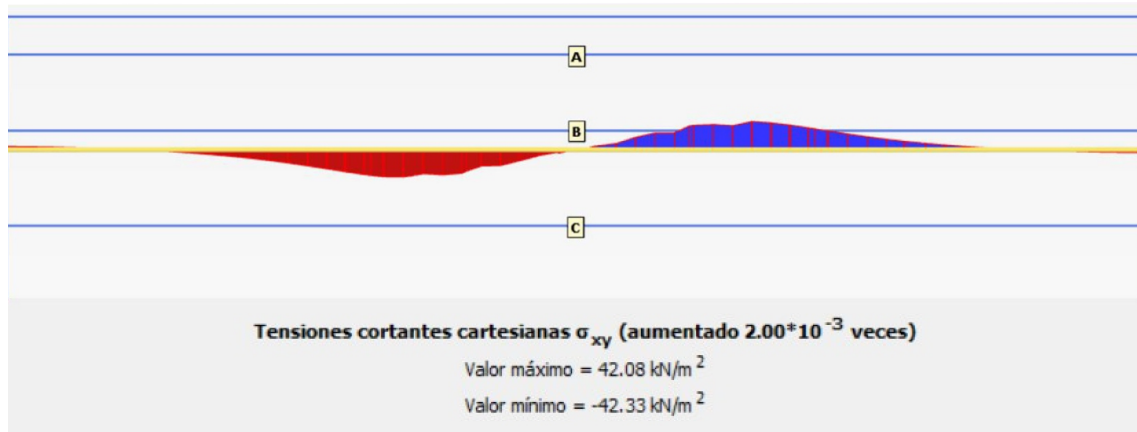
Como se observa en la Figura 3.14 y 3.15 el esfuerzo horizontal se ha sido reducido; además, ha reduciendo la expansión de dicho esfuerzo en las capas granulares hasta llegar a la geomalla.

#### 4.1.1.4. Esfuerzo cortante del pavimento flexible

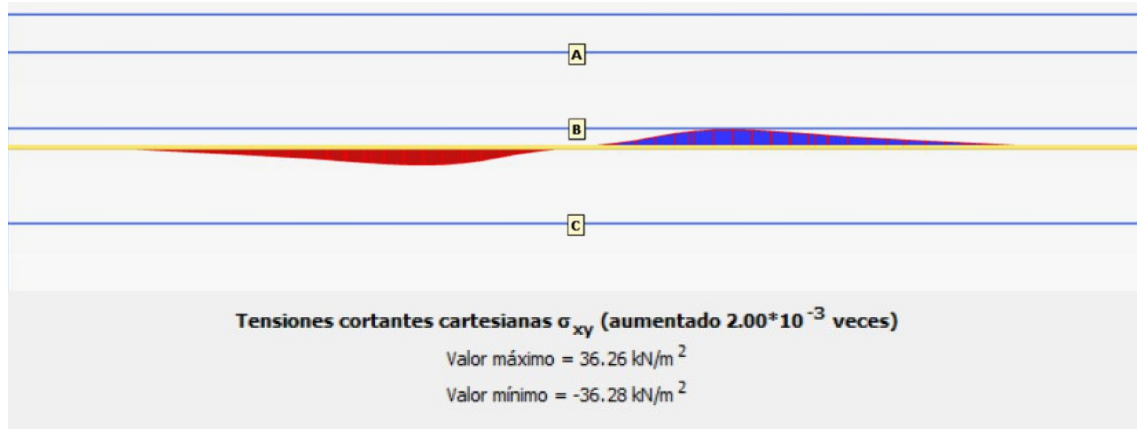
Para visualizar los cambios del esfuerzo cortante debajo del refuerzo, tal como se observa en la figura 4.1, haremos un corte debajo del refuerzo que se ubica entre la sub base y la base.

### Corte BB

En la Figura 4.12 y 4.13 vemos que el esfuerzo cortante disminuye de  $-42.33\text{KN}/\text{m}^2$  a  $-36.28\text{KN}/\text{m}^2$ , mostrando así que existe reducción del esfuerzo cortante debajo de la geomalla, garantizando que no se produzcan rupturas o deformaciones profundas, verificando lo mencionado por Berg(2000) en la Figura 4.1.



**Figura 4.12:** Esfuerzo cortante - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible sin refuerzo -  
Elaboración propia



**Figura 4.13:** Esfuerzo cortante - Corte BB/Modelo 2, Pavimento flexible reforzado -  
Elaboración propia

## 4.2. Contratación de la hipótesis

El modelo el pavimento flexible reforzado e idealizado en 2D mediante el Software Plaxis versión 2012, ha servido para verificar y contrastar nuestras hipótesis sobre la reducción de la estructura, donde para una sección de 20 cm de base, 25 cm de subbase reforzada con geomalla entre la base Granular, tiene una deformación vertical que varia

en 0.27 mm al del pavimento de 25 cm de base,35 cm de subbase, sin refuerzo y bajo las mismas condiciones.

Al modelar el pavimento flexible considerando el reforzamiento en distintas posiciones, lo resultados muestran una menor deflexion si se coloca la geomalla entre la subrasante y la base, esto debido a que la geomalla cumple la función de separación impidiendo la a contaminación de materiales granulares(base) y finos(subrasante), que pueden modificar el CBR de los material que conforman la estructura del pavimento.

Caballeros (2006) menciona que la presencia de la geomalla biaxial en la capa de base ha demostrado contribuir en el cambio en las condiciones de carga y deformación del material de la subrasante, ya que la rigidez incrementada en esta capa da lugar a una reducción en las tensiones verticales actuantes sobre la subrasante. Asimismo, al no colocar geomallas en la pavimento se puede ver en que los esfuerzos generados se extienden a través de las capas granulares, y que la colocación de la geomalla entre la capa subbase y Base genera una mejor distribución de esfuerzos, que finalmente resulta en el incremento de la vida útil del pavimento flexible.

El diseño con el coeficiente LCR y TBR, muestra unos resultados muy próximos y que para fines constructivos se considera 15 cm para la capa Base y 20 cm para la capa subbase, este diseño puede ser respaldado por los diseños hechos por Maccaferri y Tensar, mientras que Pavco tiene limitaciones pues reduce la estructura del pavimento arbitrariamente, proporcionando espesores finales.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

De los resultados de la presente investigación se puede concluir lo siguiente:

- La geomalla aporta distintos mecanismos según su ubicación, para esta investigación se considero entre la capa base y capa subbase, donde muestra que la geomalla incrementa el confinamiento que le permite resistir el movimiento lateral y brindan un mejor desempeño a largo plazo previniendo el esparcimiento del material de la base o la subbase, donde al mejorar la distribución de esfuerzos generados por el tráfico originará la incremento de la vida útil del pavimento flexible( $ESALS_{Reforzado}$ ). Asimismo, se ha observado que si posee un doble refuerzo, se tendrá una menor deformación vertical.
- Para la presente investigación se realizo hojas de calculo que permiten diseñar un pavimento flexible, así como reducir la estructura del pavimento flexible al reforzarlo con geomallas, esto permitirá dar soluciones rápidas y automatizadas con mayores alternativas para futuros proyectos.
- Si bien existe una variación en el costos de la construcción del pavimento flexible reforzado, este representa un 0.53 % del costo del proyecto, por lo que no representa un gran ahorro si se habla de porcentaje. Sin embargo, este diseño puede representar una solución para lugares donde no se encuentre material granular para usar como base o sub base y una reducción sobre los impactos en el medio ambiente producido por la explotación de las canteras que engloba un proyecto.
- Si bien usamos la metodología del AASHTO R-50 para reducir la estructura del pavimento donde no se toma en cuenta la capa sub base, Berg(2000), Cam-

paña(2011), Zornberg(2010) y Han(2015) realizan diseños del mismo modo, no obstante para considerar la capa sub base realizan un artificio donde la posición final de la geomalla será entre la base y sub base, sin embargo al ser solo un artificio discrepamos la ubicación que se le da, pues debería de considerarse entre la capa subbase y la subrasante.

- Si bien la función principal de la geomalla es reforzar, este también cumple con la función de separación tal como lo indicia Koerner(2012), esta separación evita la contaminación de materiales granulares(base) y finos(subrasante) que puede modificar los CBR de los materiales que conforma la estructura del pavimento, dicha contaminación disminuiría la capacidad de soporte del pavimento.

## Recomendaciones

- Si bien una de las funciones de la geomalla es la separación de materiales, algunos textos recomienda el uso de geotextil combinado con una geomalla, donde el geotextil separar el material y la geomalla reforzará el pavimento; sin embargo, otras investigaciones muestran que esto disminuye la eficiencia de la geomalla pues evita que se forme la trabazón en la geomalla, por lo que los factores LCR o TBR deberán ser menores.
- El modelamiento en el software Plaxis permite encontrar soluciones rápidas, sin embargo en ocasiones tiende mostrar resultados erróneos, motivo por el cual debe ser modelado al menos en 3 veces en las cuales deberá dar resultados similares o iguales, ya que sus resultados convergen de una iteración, dando resultados prácticamente iguales.
- Al mostrar un ahorro no tan significativo, se podría considerar una reducción del pavimento flexible y un doble refuerzo donde el primero debería estar debajo de la capa base y el segundo sobre la subrasante, logrando así no solo un confinamiento lateral sino también una mejor distribución de esfuerzo entre las distintas capas del pavimento que finalmente logrará incrementar de la vida útil del pavimento flexible, esto sin afecta el presupuesto inicial.

## Futuras líneas de investigación

El uso de geosintéticos se viene desarrollando con mayor frecuencia hoy en día, siendo un material que brinda beneficios a corto y largo plazo, por lo que algunos temas por investigar relacionados podrían ser:

- El uso de geoceldas como refuerzo en pavimentos para reducción de la estructura del pavimento.
- El uso de geosintéticos en zona con precipitaciones intensas para evitar el deterioro prematuro del pavimentos .
- Diseño de taludes reforzado con geomallas.

# Bibliografía

- [1] Alza, A. *Diseño con Geosintéticos-PUCP*. PUCP; 2016.
- [2] Barry, C. *Geogrids in Roadway and Pavement Systems*. Global Synthetics Pty Ltd; 2010.
- [3] Berg, R. *Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/Subbase*. AASHTO Committee 4E; 2000.
- [4] Bowles, J. *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería civil*. McGraw Hill; 1981.
- [5] Caballeros, E. *Utilización De La Geomalla Como Refuerzo De La Estructura Del Pavimento Flexible*. Universidad de San Carlos de Guatemala; 2006.
- [6] Calvarano, L.; Leonardi G. y Palamara R. *Modelo de elementos de un camino sin pavimentar reforzado con geosintéticos*. ScienceDirect; 2017.
- [7] Cárdenas, J. y Fonseca, E. *Modelación del Comportamiento Reológico de Asfalto Convencional y Modificado con Polímero Reciclado, Estudiada desde la Relación Viscosidad-Temperatura*. Revista EIA; 2009.
- [8] Campaña, J. *Los Geosintéticos Aplicados a Obras de Pavimento Flexible*. ESPOL; 2011.
- [9] Campos, F. *Mejoramiento De La Carretera Abra Toccto – Condorccochoa (Ruta Departamental Ay-122)*. Gobierno Regional Ayacucho; 2013.
- [10] Faheem, H. y Mohamed, A. *2D Plaxis Finite Element Modeling of Asphalt-Concrete Pavement Reinforced with Geogrid*. Journal of Engineering Sciences. December, 2014.
- [11] Geosynthetics Bostd. *Development of Geogrid Reinforced Flexible Pavement Layer Coefficient Ratios (LCRs)*. E'GRID geogrid; 2014.
- [12] Goud N. y Umashankar B. *Planar Reinforcements for Flexible Pavements*. Geotechniques for Infrastructure Projects. February, 2017.

- [13] Han, J. *Principles and Practices of Ground Improvement*. John Wiley & Sons; 2015.
- [14] International A. *Standard Terminology for Geosynthetics*. D4439. Enero, 2017.
- [15] Flores, L. *Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles de Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito*. Universidad Nacional de Ingeniería; 2012.
- [16] Morea, F. *Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas*. Universidad Nacional de La Plata; 2011.
- [17] MTC. *Especificaciones técnicas general para la construcción (EG-2013)*. R.D. N° 22-2013-MTC/14; 2013.
- [18] MTC. *Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. R.D. N° 10-2014-MTC-14; 2014.
- [19] Koerner, R. *Designing with Geosynthetics*. XLibris; 2012.
- [20] Leonardi G. y Palamara R. *Finite element modelling of flexible pavement reinforced with geogrid*. University of Reggio Calabria; 2017.
- [21] Orrego Cabanillas D. *Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles*. PUCP; 2014.
- [22] PAVCO. *Manual de Diseño con Geosintéticos*. Departamento de Ingeniería y Geosistemas; 2012.
- [23] Ramallo Castillo, R. *Análisis del método aashto 2008 (M-EPDG) en pavimentos flexibles*. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; 2012.
- [24] Rico Rodríguez, A. y Del Castillo, H. *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Vol.2*. Editorial Limusa; 1984.
- [25] Sánchez Sabogal, F. *Curso Básico de diseño de pavimentos*. Universidad La Gran Colombia; 2012.
- [26] Shih-Hsie, Y. *Effectiveness of Using Geotextiles in Flexible Pavements: Life-Cycle Cost Analysis*. Virginia Polytechnic Institute and State University; 2006.
- [27] Tenax. *Design Of Flexible Road Pavements With Tenax Geogrids*. Technical Reference TDS 006; 2010.

- [28] Titan. *Base Course Thickness Reduction*. Titan Environmental Containment Ltd.; 2012.
- [29] Torres, C. *From Fundamentals to Applications in Geotechnics. Proceedings of the 15th Pan - American conference on Soil Mechanics - Buenos Aires, Argentina*. November; 2015.
- [30] USACOE. *Use of geogrids in pavement construction Technical*. Washington D.C.; 2003.
- [31] Valenzuela Rodríguez, J. *Actualización de coeficientes de daño para el diseño de pavimentos flexibles*. Universidad de Sonora; 1993.
- [32] Zannoni, E. *Geosynthetics – from product to technology in road rehabilitation Journal of the South African Institution of Civil Engineering*; 2016.
- [33] Zornberg, J. *Geosynthetics in Pavements:North American Contributions. 9th Int Conference on Geosynthetics*; 2010.

# Anexo A

## Diseños y Presupuestos



# A - 1.1

SUB BASES			
Arena, arcilla arenosa	CBR = 10%	0.03	X
	CBR = 25%	0.04	
Grava arenosa	CBR = 40%	0.045	X
	CBR = 60%	0.05	

## COEFICIENTES DE DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	25% <
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy pobre	1.05-0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

COEFICIENTES DE DRENAJE	
m2	1.15
m3	1.10

## DISEÑO DEL PAVIMENTO

$$SN_{Requerido} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

## NUMERO ESTRUCTURAL DE DISEÑO

SN REQUERIDO =	3.8795
----------------	--------

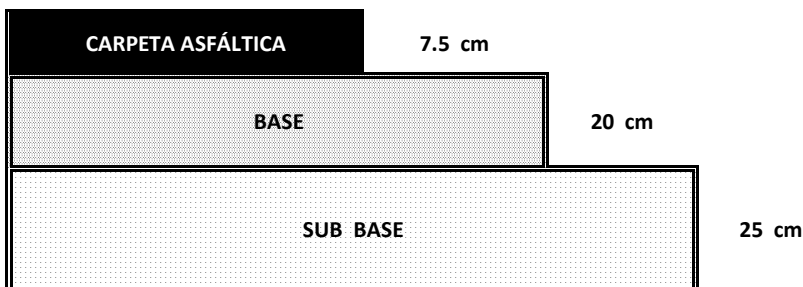
## COEFICIENTES ELEGIDOS

COEFICIENTES DE DRENAJE	m2 =	1.15
	m3 =	1.10
COEFICIENTES ESTRUCTURALES	a1 =	0.17
	a2 =	0.07
	a3 =	0.045

## ESPESOR DEL PAVIMENTO

ESPESOR	cm	ai	mi	SN
CARPETA ASFÁLTICA D1	7.50	0.17		1.29
BASE D2	20.00	0.06	1.15	1.29
SUB BASE D3	25.00	0.05	1.10	1.32
Sndiseño =				3.90

## El pavimento estas dimensiones



# A - 1.2

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON COEF. LCR

DATOS	
W18 (10 AÑOS)	: 1,650,000
Tipo de trafico	: TP6
Confiabilidad R%	: 85%
Zr	: -1.037
So(0.40<So<0.50)	: 0.45
Po(Max: S)	: 4
Pt (Min : 1)	: 2.5
A. CBR DE LA SUBRASANTE %	: 4.5

MR (psi) DE LA SUBRASANTE			
Mr = 1500*CBR	CBR≤10%	6750	Mr (psi) PROMEDIO
SHELL (HEUKELOMM Y FOSTER 1960)			
Mr = 2555 *CBR <sup>0.64</sup>	CBR≤12%	6690.32	
			<b>6720.16</b>

### VIDA ESTIMADA DEL PAVIMENTO

$$\log_{10}^{W18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}^{(SN+1)} - 0.2 + \frac{\log_{10}^{\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}}}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}^{M_R} - 8.07$$

### NUMEROS ESTRUCTURALES

REQUERIDO Snreq = 3.879

### COEFICIENTES ESTRUCTURALES

ALTERNATIVA DE DISEÑO	COEFICIENTE	MARCAR (X)
-----------------------	-------------	------------

CAPA SUPERIOR		
Carpeta de Concreto Asfáltico	0.17	X
Monocapa	0.00	
Tratamiento Superficial :		
TS1	0.25	
TS2	0.3	
TS3	0.4	
Sello Asfáltico	0.08	

BASES		
Bases tipo Concreto Asfáltico	0.17	
Base G.		
Grava arenosa CBR = 40%	0.045	
Grava arenosa CBR = 60%	0.05	
Grava arenosa CBR = 80%	0.06	X
Agregado p. t. CBR >= 100%	0.07	
Base granular tratada con asfalto	0.12	
Base granular tratada con cemento	0.07	
Base granular tratada con cal	0.06	

SUB BASES		
Arena, arcilla arenosa CBR = 10%	0.03	
CBR = 25%	0.04	
Grava arenosa CBR = 40%	0.045	
CBR = 60%	0.05	X

# A - 1.3

## COEFICIENTES DE DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	25% <
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy pobre	1.05-0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

COEFICIENTES DE DRENAJE	
m2	1.15
m3	1.10

## DISEÑO DEL PAVIMENTO

$$SN_{Requerido} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

## NUMERO ESTRUCTURAL DE DISEÑO

SN REQUERIDO =	3.8795
----------------	--------

## COEFICIENTES ELEGIDOS

COEFICIENTES DE DRENAJE	m2 =	1.15
	m3 =	1.10
COEFICIENTES ESTRUCTURALES	a1 =	0.17
	a2 =	0.06
	a3 =	0.05

## CALCULO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON USO DEL COEF. LCR

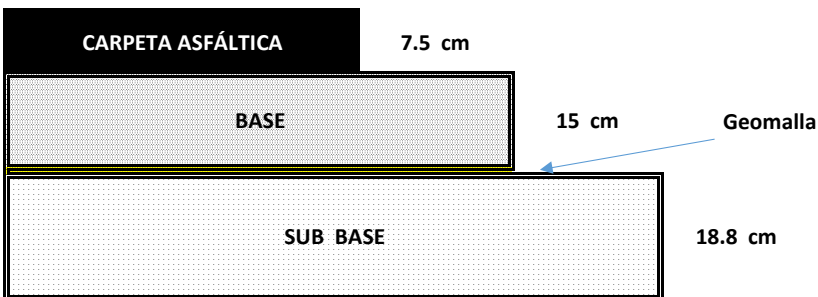
ESPEJOR	cm	ai	mi	SN
CARPETA ASFÁLTICA D1	7.50	0.17		1.29
BASE D2	20.00	0.06	1.15	1.29
SUB BASE D3	25.00	0.05	1.10	1.32
Sndiseño =				3.90

Ebc =	198.48	Mpa	
MIF =	1.50		
LCR =	1.33		1.31

D'2 =	30.47	cm	30.91	cm
SNr =	1.96		1.99	

D''2 =	15.00	cm - Asumido	15.00	cm - Asumido
D''3 =	18.80	cm	19.40	cm

## El pavimento estas dimensiones



# A - 1.4

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON COEF. TBR

DATOS	
W <sub>18</sub>	: 1,650,000
TBR	: 2.50
W <sub>18R</sub>	: 660,000
Tipo de trafico	: <b>TP3</b>
Confiabilidad R%	: 85%
Z <sub>r</sub>	: <b>-1.037</b>
So(0.40<So<0.50)	: 0.45
Po(Max: S)	: 4
Pt (Min : 1)	: 2.5
A. CBR DE LA SUBRASANTE %	: 4.5

MR (psi) DE LA SUBRASANTE			
Mr = 1500*CBR	CBR≤10%	6750.00	Mr (psi) PROMEDIO
SHELL (HEUKELOMM Y FOSTER 1960)			
Mr = 2555 *CBR <sup>0.64</sup>	CBR≤12%	6690.32	<b>6720.16</b>

### VIDA ESTIMADA DEL PAVIMENTO

$$\log_{10}^{W_{18}} = Z_R * S_O + 9.36 * \log_{10}^{(SN+1)} - 0.2 + \frac{\log_{10}^{\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}}}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}^{M_R} - 8.07$$

### NUMEROS ESTRUCTURALES

REQUERIDO

$$S_{nreq} = 3.312$$

### COEFICIENTES ESTRUCTURALES

ALTERNATIVA DE DISEÑO	COEFICIENTE	MARCAR (X)
<b>CAPA SUPERIOR</b>		
Carpeta de Concreto Asfáltico	0.17	X
Monocapa	0.00	
Tratamiento Superficial :		
TS1	0.25	
TS2	0.3	
TS3	0.4	
Sello Asfáltico	0.08	
<b>BASES</b>		
Bases tipo Concreto Asfáltico	0.17	
Base G.		
Grava arenosa CBR = 40%	0.045	
Grava arenosa CBR = 60%	0.05	
Grava arenosa CBR = 80%	0.06	X
Agregado p. t. CBR >= 100%	0.07	
Base granular tratada con asfalto	0.12	
Base granular tratada con cemento	0.07	
Base granular tratada con cal	0.06	

# A - 1.5

SUB BASES			
Arena, arcilla arenosa	CBR = 10%	0.03	
	CBR = 25%	0.04	
Grava arenosa	CBR = 40%	0.045	
	CBR = 60%	0.05	X

## COEFICIENTES DE DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	25% <
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy pobre	1.05-0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

COEFICIENTES DE DRENAJE	
m2	1.15
m3	1.10

## DISEÑO DEL PAVIMENTO

$$SN_{Requerido} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

## NUMERO ESTRUCTURAL DE DISEÑO

SN REQUERIDO =	3.308
----------------	-------

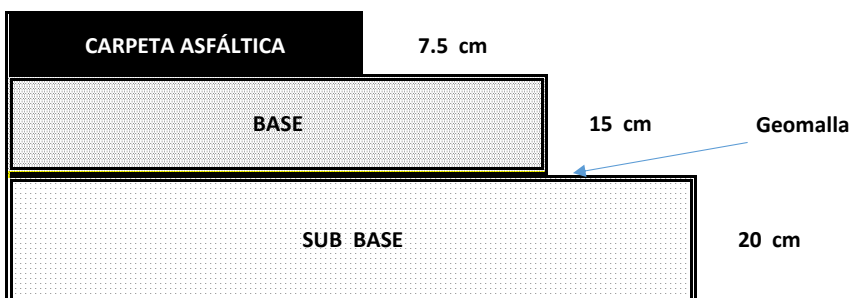
## COEFICIENTES ELEGIDOS

COEFICIENTES DE DRENAJE	m2 =	1.15
	m3 =	1.10
COEFICIENTES ESTRUCTURALES	a1 =	0.17
	a2 =	0.06
	a3 =	0.05

## ESPESOR DEL PAVIMENTO

ESPESOR	cm	ai	mi	SN
CARPETA ASFÁLTICA D1	7.50	0.17		1.29
BASE D2	15.00	0.06	1.15	0.97
SUB BASE D3	20.00	0.05	1.10	1.06
Sndiseño =				3.312

## El pavimento estas dimensiones





# A - 1.7

## COEFICIENTES DE DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	25% <
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy pobre	1.05-0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

COEFICIENTES DE DRENAJE	
m2	1.15
m3	1.10

## DISEÑO DEL PAVIMENTO

$$SN_{Requerido} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

## NUMERO ESTRUCTURAL DE DISEÑO

SN REQUERIDO =	4.6987
----------------	--------

## COEFICIENTES ELEGIDOS

COEFICIENTES DE DRENAJE	m2 =	1.15
	m3 =	1.10
COEFICIENTES ESTRUCTURALES	a1 =	0.17
	a2 =	0.06
	a3 =	0.05

## CALCULO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON USO DEL COEF. LCR

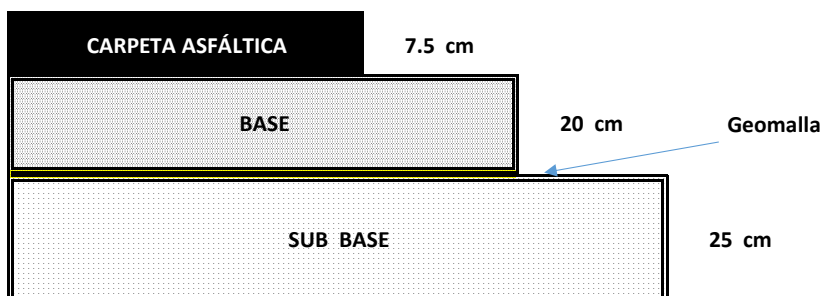
ESPESOR		cm	ai	mi	SN
CARPETA ASFÁLTICA	D1	7.50	0.17		1.29
BASE	D2	25.00	0.06	1.15	1.61
SUB BASE	D3	34.00	0.05	1.10	1.80
Sndiseño =					4.70

Ebc =	218.75	Mpa	
MIF =	1.50		
LCR =	1.30		1.31

D'2 =	40.52	cm	40.36	cm
SNr =	2.61		2.60	

D''2 =	20.00	cm - Asumido	20.00	cm - Asumido
D''3 =	25.00	cm	24.80	cm

## Pavimento reforzado y reducido



# A - 1.8



## Flexible Pavement Design Analysis

### Design Parameters for AASHTO (1993) Equation

Reliability (%)	= 85	Initial Serviceability	= 4.0
Standard Normal Deviate	= -1.036	Terminal Serviceability	= 2.5
Standard Deviation	= 0.45	Change in Serviceability	= 1.5

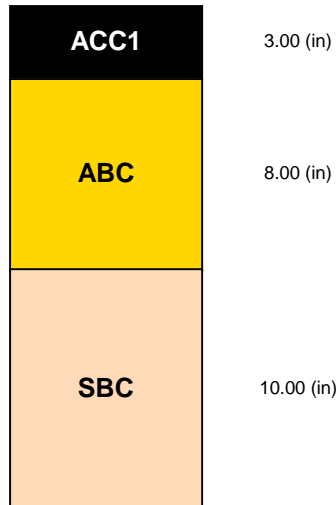
### Unstabilized Section Material Properties

Layer	Description	Cost (\$/ton)	Layer coefficient	Drainage factor
ACC1	Asphalt Wearing Course	70	0.425	N/A
ABC	Aggregate Base Course	20	0.140	1.15
SBC	Subbase Course	16	0.120	1.1

### Stabilized Section Material Properties

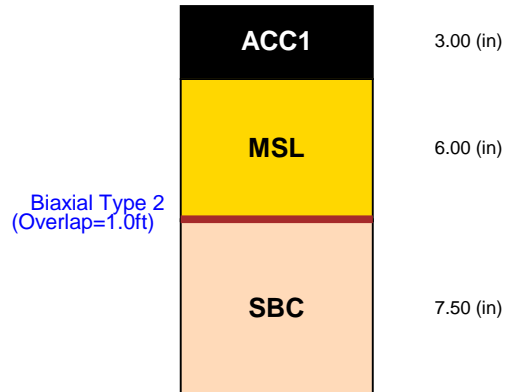
Layer	Description	Cost (\$/ton)	Layer coefficient	Drainage factor
ACC1	Asphalt Wearing Course	70	0.425	N/A
MSL	Mechanically Stabilized Base Cour	20	0.238	1.15
SBC	Subbase Course	16	0.120	1.1

### Unstabilized Pavement



Subgrade Modulus = 6,720 (psi)  
 Structural Number = 3.883  
 Calculated Traffic (ESALs) = 1,659,915

### Stabilized Pavement



Subgrade Modulus = 6,720 (psi)  
 Structural Number = 3.907  
 Calculated Traffic (ESALs) = 1,722,651

### LIMITATIONS OF THE REPORT

The designs, illustrations, information and other content included in this report are necessarily general and conceptual in nature, and do not constitute engineering advice or any design intended for actual construction. Specific design recommendations can be provided as the project develops. **This report is for use of a generic biaxial geogrid ONLY where the specific product has been substantiated by full scale in-ground testing. The user is encouraged to refer to the analysis of the Performance Verified TriAx geogrids in addition to the section shown in this report.**

Project Name	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOMALL		
Company Name	Tensor		
Designer	N/A	Date	20/07/2017

# A - 1.9



## Flexible Pavement Design Analysis

### Design Parameters for AASHTO (1993) Equation

Reliability (%)	= 85	Initial Serviceability	= 4.0
Standard Normal Deviate	= -1.036	Terminal Serviceability	= 2.5
Standard Deviation	= 0.45	Change in Serviceability	= 1.5

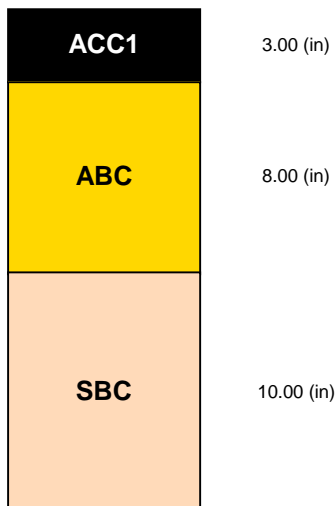
### Unstabilized Section Material Properties

Layer	Description	Cost (\$/ton)	Layer coefficient	Drainage factor
ACC1	Asphalt Wearing Course	70	0.425	N/A
ABC	Aggregate Base Course	20	0.140	1.15
SBC	Subbase Course	16	0.120	1.1

### Stabilized Section Material Properties

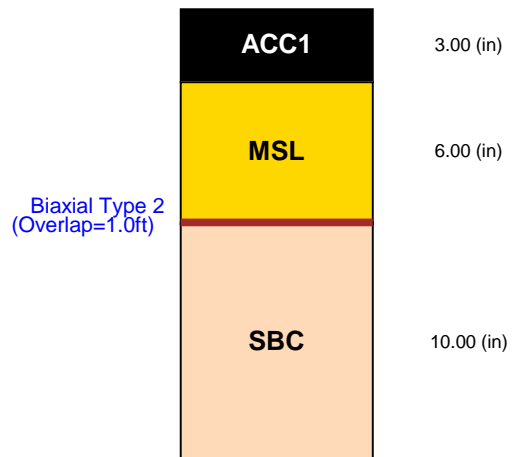
Layer	Description	Cost (\$/ton)	Layer coefficient	Drainage factor
ACC1	Asphalt Wearing Course	70	0.425	N/A
MSL	Mechanically Stabilized Base Cour	20	0.238	1.15
SBC	Subbase Course	16	0.120	1.1

### Unstabilized Pavement



Subgrade Modulus = 6,720 (psi)  
 Structural Number = 3.883  
 Calculated Traffic (ESALs) = 1,659,915

### Stabilized Pavement



Subgrade Modulus = 6,720 (psi)  
 Structural Number = 4.237  
 Calculated Traffic (ESALs) = 2,820,554

### LIMITATIONS OF THE REPORT

The designs, illustrations, information and other content included in this report are necessarily general and conceptual in nature, and do not constitute engineering advice or any design intended for actual construction. Specific design recommendations can be provided as the project develops. **This report is for use of a generic biaxial geogrid ONLY where the specific product has been substantiated by full scale in-ground testing. The user is encouraged to refer to the analysis of the Performance Verified TriAx geogrids in addition to the section shown in this report.**

Project Name	N/A		
Company Name	Tensar		
Designer	N/A	Date	N/A

● **Project Information**

Title: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOTEXTILES PARA LA  
 Number:  
 Client: HINOSGAR HINOSTROZA  
 Designer:

● **Input**

**Surface Layer**

Layer Coefficient, a1	0.43
Minimum Depth [m]	

**Base Course**

Layer Coefficient, a2	0.14
Drainage Coefficient, m2	1.15
Minimum Depth [m]	0.20
CBR [%]	0

**Subbase Course**

Layer Coefficient, a3	0.12
Drainage Coefficient, m3	1.10
Minimum Depth [m]	0.25
CBR [%]	0

**Subgrade Course**

CBR [%]	4.5
Effective Roadbed Soil, Mr [kPa]	6690

**Traffic Data**

Reliability level R [%]	85
Combined standard error So	0.45
Initial service index po	4
Terminal surface index pt	2.5

Total ESAL / Day	4,163,594
Total Number of Passes	1,519,711
Compound Traffic Growth Factor	13.546
Total volume of traffic during the analysis period	20,585,664

Total design ESAL, W18	1,650,000
------------------------	-----------

Structural Number, SN	3.887
-----------------------	-------

**Reinforcement**

Base Geogrid	MacGRID EG 20
LCR	1.316
Subbase Geogrid	
LCR	

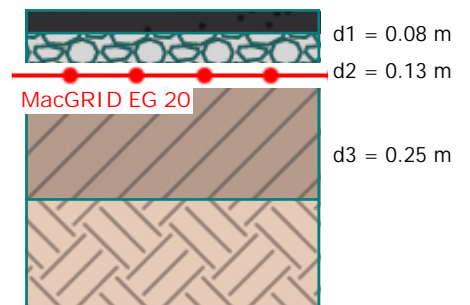
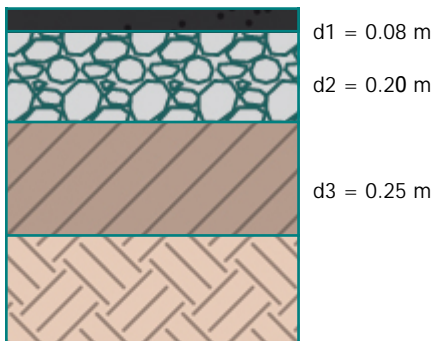
● **Results**

Mode: Custom Layer Design

Unreinforced

Reinforced

2. Reduced layer depth



Base Course depth reduction: 35 %  
 Subbase Course depth reduction: 0.00 %

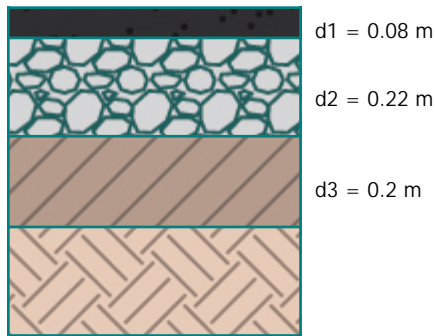
0  
0

0  
0

0  
0

Mode: Custom Layer Design | Base Course Design

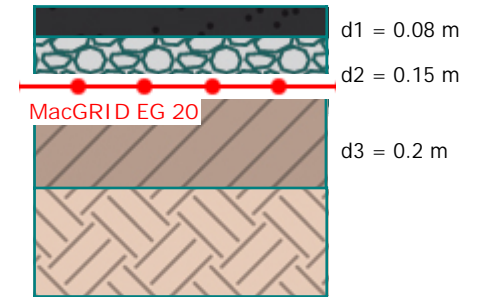
Unreinforced



0  
0

Reinforced

2. Reduced layer depth



Base Course depth reduction: 32 %  
Subbase Course depth reduction: 0 %  
0  
0



Wed Jul 19 23:32:41 COT 2017

## REPORTE DE REFUERZO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EMPLEANDO GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA

### DATOS DEL PROYECTO

<b>Nombre del Proyecto:</b>	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOMALLAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO
<b>Nombre de la Empresa:</b>	
<b>Nombre del Diseñador:</b>	Hinosgar Hinoastroza Molina
<b>Cargo del Diseñador:</b>	

**País:** PERU      **Departamento:** AYACUCHO      **Ciudad:** Huamanga  
**Otra Ubicación:**

**Descripción del Proyecto:**

### PARÁMETROS DE ENTRADA

<b>Espesor Carpeta Asfáltica:</b>	7.5 cm
<b>Coefficiente Estructural a1:</b>	0.425
<b>Tipo de Geomalla de Refuerzo:</b>	TIPO A P-BX11 (20kN/m)
<b>Número de Capas Granulares:</b>	2
<b>Demanda Tránsito W18:</b>	0.0
<b>CBR Subrasante (%):</b>	4.5

### Capas Granulares

Capa	Di	Unidades Di	ai	mi
1	20,0	cm	0,14	1,15
2	25,0	cm	0,12	1,1

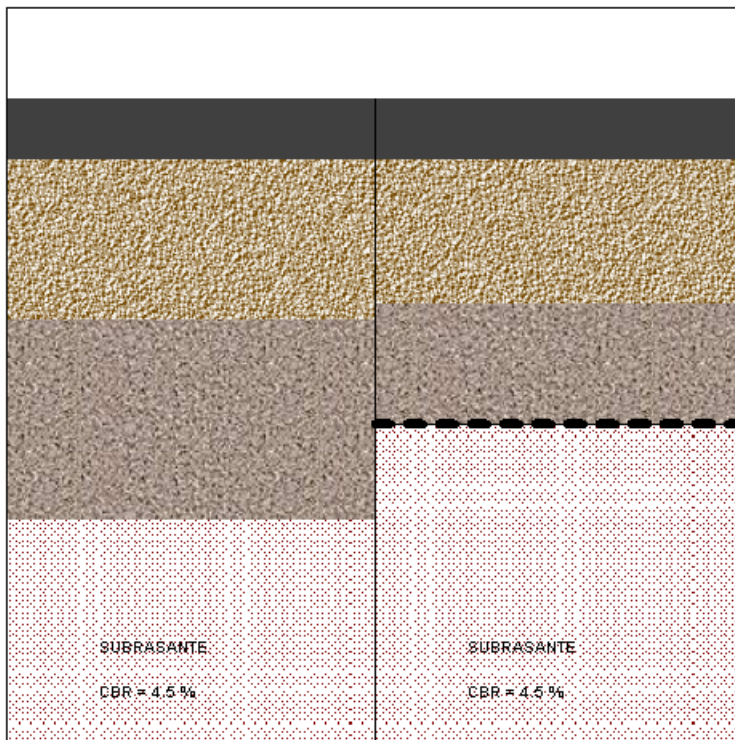


Wed Jul 19 23:32:41 COT 2017

**PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS**

<b>Número Estructural SN:</b>	3,897
<b>Espesor Granular Equivalente Hge:</b>	49,391
<b>Espesor Granular Reforzado Hre:</b>	36,722
<b>Layer Coefficient Ratio LCR:</b>	1,345
<b>Eficiencia en los Nodos Geomalla Biaxial Coextruida &gt;= 90%:</b>	OK

<b>Tipo de Capa</b>	<b>Espesor Inicial [cm]</b>	<b>Espesor Nuevo [cm]</b>	<b>Reduccion Espesor [cm]</b>
Carpeta Asfáltica	7,5	7,5	0,0
1	20,0	18,0	2,0
2	25,0	15,0	10,0

**Notas:**

- Esquemáticamente se muestra la geomalla de refuerzo a nivel de subrasante. se debe garantizar la trabazón de agregados, por lo cual se recomienda que la geomalla biaxial coextruida este entre los granulares.
- Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPR) ó (MARV) por su nombre en ingles.

# A - 1.14

## PRESUPUESTO DEL CONTRATO PRINCIPAL

ENTIDAD : GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
 OBRA : "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA DEPARTAMENTAL AY-122), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA Y LOS MOROCHUCOS, DE LAS PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO"  
 CONTRATISTA : ALTESA CONTRATISTAS GENERALES SA  
 SUPERVISOR : AMC INGENIEROS SAC

PARTIDA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO CONTRACTUAL			
		UND	CANT.	P.U.	PARCIAL
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.01	CARTEL DE OBRA S/DISEÑO	u	3.00	1,434.12	4,302.36
1.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS	glb	1.00	815,105.60	815,105.60
1.03	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	km	13.61	695.23	9,462.08
1.04	TRAZO Y REPLANTEO EN PROCESO CONSTRUCTIVO	km	13.61	1,350.43	18,379.35
1.05	DEMOLICION ESTRUCTURA DE CONCRETO	m3	1,507.09	38.21	57,585.91
1.06	MANTENIMIENTO DE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	10.00	2,066.85	20,668.50
1.07	SEGURIDAD EN OBRA	glb	10.00	33,627.00	336,270.00
2	OBRAS PROVISIONALES				
2.01	ACCESOS A CANTERAS, D.M.E. Y FUENTES DE AGUA	km	5.50	28,685.69	157,771.30
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
3.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO	m3	17,482.03	5.74	100,346.85
3.02	CORTE ROCA SUELTA	m3	4,951.53	20.32	100,615.09
3.03	CORTE ROCA FIJA	m3	3,141.29	30.01	94,270.11
3.04	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	13,731.58	14.96	205,424.44
3.05	MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	63,885.87	11.28	720,632.61
3.06	REEMPLAZO DE SUBRASANTE CON MATERIAL CLASIFICADO	m3	86,245.92	27.87	2,403,673.79
3.07	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	119,145.88	2.18	259,738.02
4	SUB BASE Y BASE				
4.01	SUB - BASE DE 0.20 m	m3	23,188.00	61.66	1,429,772.08
4.02	BASE DE 0.20 m	m3	21,551.20	62.71	1,351,475.75
5	PAVIMENTOS ASFALTICOS				
5.01	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	111,213.83	1.16	129,008.04
5.02	ASFALTO DILUIDO TIPO MC-30	L	133,456.87	2.90	387,024.92
5.03	FILLER MINERAL	kg	400,369.76	0.76	304,281.02
5.04	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	kg	6,856.33	23.72	162,632.15
5.05	CEMENTO ASFALTICO	kg	1,371,266.94	2.43	3,332,178.66
5.06	CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE	m3	8,341.04	195.93	1,634,259.97
6	OBRAS COMPLEMENTARIAS Y DE DRENAJE				
6.01	ALCANTARILLAS TIPO I				
6.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	1,031.74	4.82	4,972.99
6.01.02	ELIMINACION DE ALCANTARILLA EXISTENTE	m	439.04	26.53	11,647.73
6.01.03	LIMPIEZA Y ENCAUZAMIENTO DE ALCANTARILLAS	m3	263.42	1.28	337.18
6.01.04	EXCAVACION DE CAJA DE ALCANTARILLA ( A MANO)	m3	694.61	51.21	35,570.98
6.01.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	m2	526.85	7.57	3,988.25
6.01.06	ALCANTARILLA CORRUGADA HDPE DE 24"	m	439.04	301.69	132,453.98
6.01.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	769.48	14.96	11,511.42
6.01.08	ENCOFRADO Y DESENCOFADO DE ALCANTARILLAS	m2	684.73	40.22	27,539.84
6.01.09	CONCRETO fc=210 kg/cm2 PARA ALCANTARILLAS	m3	80.55	649.62	52,326.89
6.01.10	ACERO FY=4200 KG/CM2 PARA ALCANTARILLAS	kg	983.33	4.82	4,739.65
6.01.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA FC=175 KG/CM3 +30% PM (INGRESO - SALIDA)	m3	93.24	93.48	8,716.08
6.02	ALCANTARILLAS TIPO II				
6.02.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	201.74	4.82	972.39
6.02.02	ELIMINACION DE ALCANTARILLA EXISTENTE	m	56.04	26.53	1,486.74
6.02.03	LIMPIEZA Y ENCAUZAMIENTO DE ALCANTARILLAS	m3	67.25	1.28	86.08
6.02.04	EXCAVACION DE CAJA DE ALCANTARILLA ( A MANO)	m3	96.87	51.21	4,960.71
6.02.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	m2	201.74	7.57	1,527.17
6.02.06	ALCANTARILLA CORRUGADA HDPE DE 36"	m	63.00	858.64	54,094.32
6.02.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	104.14	14.96	1,557.93
6.02.08	ENCOFRADO Y DESENCOFADO DE ALCANTARILLAS	m2	97.28	40.22	3,912.60
6.02.09	CONCRETO fc=210 kg/cm2 PARA ALCANTARILLAS	m3	11.49	649.62	7,464.13
6.02.10	ACERO FY=4200 KG/CM2 PARA ALCANTARILLAS	kg	96.60	4.82	465.61
6.02.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA FC=175 KG/CM3 +30% PM (INGRESO - SALIDA)	m3	8.19	93.48	765.60
6.03	OBRAS DE SUB DREN				
6.03.01	SUB DRENAJE				
6.03.01.01	EXCAVACION PARA SUB DRENAJE	m3	10,848.20	5.74	62,268.67
6.03.01.02	SUB DRENAJE PROFUNDO	m3	8,382.70	58.40	489,549.68
6.03.01.03	TUBERIA DE DRENAJE HDPE PERFORADO DE 6"	m	9,862.00	35.30	348,128.60
6.03.01.04	TUBERIA DE VENTILACION PARA SUB DRENAJE	m	693.00	30.24	20,956.32
6.03.01.05	SUMINISTRO E INSTALACION GEOTEXTIL PARA SUB DREN	m2	46,361.40	19.87	921,201.02
6.03.02	TUBERIAS DE SALIDA				
6.03.02.01	EXCAVACION PARA TUBERIA DE SALIDA	m3	247.50	5.74	1,420.65
6.03.02.02	TUBERIA DE DRENAJE HDPE NO PERFORADO DE 6"	m	225.00	30.59	6,882.75
6.03.02.03	CONCRETO fc=175 kg/cm2	m3	3.62	303.66	1,099.25
6.03.02.04	ENCOFRADO Y DESENCOFADO NORMAL	m2	28.96	49.55	1,434.97
6.03.02.05	ACERO CORRUGADO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	67.20	8.95	601.44
6.04	MUROS DE CONTENCION				
6.04.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	1,727.50	4.82	8,326.55
6.04.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA ESTRUCTURAS	m3	1,100.75	37.45	41,223.09
6.04.03	RELLENO CON MATERIAL CLASIFICADO EN MUROS	m3	646.85	28.78	18,616.34
6.04.04	ENCOFRADO Y DESENCOFADO EN MUROS DE CONTENCION	m2	2,274.51	34.12	77,606.28

# A - 1.15

## PRESUPUESTO DEL CONTRATO PRINCIPAL

ENTIDAD : GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
 OBRA : "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA DEPARTAMENTAL AY-122), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA Y LOS MOROCHUCOS, DE LAS PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO"  
 CONTRATISTA : ALTESA CONTRATISTAS GENERALES SA  
 SUPERVISOR : AMC INGENIEROS SAC

PARTIDA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO CONTRACTUAL			
		UND	CANT.	P.U.	PARCIAL
06.04.05	CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup> PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	995.99	376.52	375,010.15
06.04.06	TUBERIA DE DRENAJE HDPE PERFORADO DE 4"	m	695.00	60.10	41,769.50
06.04.07	TUBERIA DE EVACUACIÓN S/PERFORAR DE 4"	m	430.00	6.14	2,640.20
06.04.08	TUBERIA DE EVACUACIÓN S/PERFORAR DE 2"	m	278.00	4.75	1,320.50
06.04.09	GEOCOMPUESTO DE DRENAJE	m2	2,085.00	35.62	74,267.70
06.04.10	DOWELL DE 3/4"	u	139.00	29.91	4,157.49
06.04.11	JUNTA DE CONSTRUCCION CON TEKNO FORTE DE e=1" CADA 15 mts.	m	111.20	4.42	491.50
6.05	OBRAS EN ZONA URBANA				
06.05.01	<b>SARDINEL CENTRAL</b>				
06.05.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	2,000.00	4.82	9,640.00
06.05.01.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA ESTRUCTURAS	m3	83.79	37.45	3,137.94
06.05.01.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	744.80	49.55	36,904.84
06.05.01.04	CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup> PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	139.65	376.52	52,581.02
06.05.01.05	PINTADO DE PARAPETOS Y SARDINELES	m2	744.80	18.89	14,069.27
06.05.01.06	PLANTACION CON ESPECIES NATIVAS	u	102.00	54.70	5,579.40
06.05.01.07	GIBAS O RESALTOS	m	13.50	581.43	7,849.31
06.05.02	PASARELAS PEATONALES				
06.05.02.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	140.00	4.82	674.80
06.05.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	158.40	49.55	7,848.72
06.05.02.03	CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup> PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	22.50	376.52	8,471.70
06.05.02.04	ACERO CORRUGADO f <sub>y</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	1,113.00	8.95	9,961.35
6.06	CUNETAS				
06.06.01	CUNETA TIPO III				
06.06.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	20,080.84	4.82	96,789.65
06.06.01.02	EXCAVACION MANUAL DE CUNETAS	m3	412.62	30.26	12,485.88
06.06.01.03	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	27,232.92	2.18	59,367.77
06.06.01.04	CONCRETO f <sub>c</sub> =175 KG/CM <sup>2</sup> EN CUNETAS	m3	2,585.75	278.52	720,183.09
06.06.01.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CUNETAS	m2	866.50	28.88	25,024.52
06.06.01.06	CURADO DE CUNETAS	m	13,754.00	2.64	36,310.56
06.06.01.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	343.85	14.96	5,144.00
06.06.01.08	JUNTAS ASFALTICAS	m	10,040.42	5.93	59,539.69
7	TRANSPORTE				
7.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D<=1Km.	m3k	13,215.16	9.64	127,394.14
7.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D>1Km.	m3k	1,825,650.39	1.19	2,172,523.96
7.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE D<1KM	m3k	7,877.15	7.49	58,999.85
7.04	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE D>1KM	m3k	41,582.10	1.69	70,273.75
7.05	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D<=1Km.	m3k	57,145.18	7.45	425,731.59
7.06	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D>1Km.	m3k	44,765.13	1.29	57,747.02
8	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				
8.01	SEÑALES PREVENTIVAS	u	70.00	286.44	20,050.80
8.02	SEÑALES REGLAMENTARIAS	u	18.00	448.66	8,075.88
8.03	SEÑALES INFORMATIVAS	u	12.00	2,003.82	24,045.84
8.04	POSTE DELINEADOR	u	88.00	129.53	11,398.64
8.05	TACHA RETROREFLECTIVA	u	3,450.00	15.73	54,268.50
8.06	MARCAS EN EL PAVIMENTO	m2	3,547.00	7.07	25,077.29
8.07	BARRERA CERTIFICADA, CONTENCIÓN DE VEHICULOS	m	933.45	195.53	182,517.48
8.08	POSTES DE KILOMETRAJE	u	13.00	334.04	4,342.52
8.09	PINTADO DE PARAPETOS DE MUROS Y ALCANTARILLAS	m2	452.10	18.89	8,540.17
8.10	GIBAS O RESALTOS	m	150.00	581.43	87,214.50
9	PROGRAMA DE INVERSIÓN				
9.01	REASENTAMIENTO INVOLUNTARIO	glib	1.00	150,000.00	150,000.00
9.02	PREPARACION DE CAPA SUPERFICIAL DE SUELO	m2	21,500.83	8.35	179,531.93
9.03	REFORESTACION Y PLANTACION CON ESPECIES NATIVAS	ha	2.90	6,552.50	19,002.25
9.04	ACONDICIONAMIENTO DE DEPOSITO DE MATERIAL EXCEDENTE	m2	109,118.89	0.71	77,474.41
9.05	READECUACION AMBIENTAL DE PLANTA DE ASFALTO	m2	2,500.00	5.53	13,825.00
9.06	READECUACION AMBIENTAL DE CAMPAMENTO	m2	250.00	5.53	1,382.50
9.07	READECUACION AMBIENTAL DE PATIO DE MAQUINAS	m2	510.00	5.53	2,820.30
9.08	SEÑAL INFORMATIVA AMBIENTAL	u	65.00	585.10	38,031.50
9.09	EDUCACION AMBIENTAL Y CAPACITACION	Ev	8.00	2,071.82	16,574.56
9.10	CAPACITACION EN CONSERVACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL	glib	4.00	4,500.00	18,000.00
9.11	PLAN DE SENSIBILIZACION EN COMUNIDADES	mes	8.00	2,284.75	18,278.00
9.12	MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA	pto	84.00	381.36	32,034.24
9.13	MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE	pto	63.00	635.59	40,042.17
9.14	MONITOREO DE RUIDOS	pto	70.00	127.12	8,898.40
9.15	PLAN DE MONITOREO ARQUEOLOGICO	glib	1.00	8,000.00	8,000.00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				22,038,610.22
	<b>GASTOS GENERALES (10% CD)</b>	10.00%			2,203,861.02
	<b>UTILIDAD (8.10% CD)</b>	8.10%			1,785,127.43
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>26,027,598.67</b>
	<b>I. G. V.</b>	18.00%			4,684,967.76
	<b>TOTAL</b>				<b>30,712,566.43</b>

# A - 1.16

## PRESUPUESTO MODIFICADO DEL CONTRATO PRINCIPAL

ENTIDAD : GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
 OBRA : "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA DEPARTAMENTAL AY-122), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA Y LOS MOROCHUCOS, DE LAS PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO"  
 CONTRATISTA : ALTESA CONTRATISTAS GENERALES SA  
 SUPERVISOR : AMC INGENIEROS SAC

PARTIDA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO CONTRACTUAL			
		UND	CANT.	P.U.	PARCIAL
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.01	CARTEL DE OBRA S/DISEÑO	u	3.00	1,434.12	4,302.36
1.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS	glb	1.00	815,105.60	815,105.60
1.03	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	km	13.61	695.23	9,462.08
1.04	TRAZO Y REPLANTEO EN PROCESO CONSTRUCTIVO	km	13.61	1,350.43	18,379.35
1.05	DEMOLICION ESTRUCTURA DE CONCRETO	m3	1,507.09	38.21	57,585.91
1.06	MANTENIMIENTO DE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	10.00	2,066.85	20,668.50
1.07	SEGURIDAD EN OBRA	glb	10.00	33,627.00	336,270.00
2	OBRAS PROVISIONALES				
2.01	ACCESOS A CANTERAS, D.M.E. Y FUENTES DE AGUA	km	5.50	28,685.69	157,771.30
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
3.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO	m3	17,482.03	5.74	100,346.85
3.02	CORTE ROCA SUELTA	m3	4,951.53	20.32	100,615.09
3.03	CORTE ROCA FIJA	m3	3,141.29	30.01	94,270.11
3.04	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	13,731.58	14.96	205,424.44
3.05	MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	63,885.87	11.28	720,632.61
3.06	REEMPLAZO DE SUBRASANTE CON MATERIAL CLASIFICADO	m3	86,245.92	27.87	2,403,673.79
3.07	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	119,145.88	2.18	259,738.02
4	SUB BASE Y BASE				
4.01	SUB - BASE DE 0.25 m	m3	28,985.00	61.66	1,787,215.10
4.02	BASE DE 0.20 m	m3	21,551.20	62.71	1,351,475.75
5	PAVIMENTOS ASFALTICOS				
5.01	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	111,213.83	1.16	129,008.04
5.02	ASFALTO DILUIDO TIPO MC-30	L	133,456.87	2.90	387,024.92
5.03	FILLER MINERAL	kg	400,369.76	0.76	304,281.02
5.04	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	kg	6,856.33	23.72	162,632.15
5.05	CEMENTO ASFALTICO	kg	1,371,266.94	2.43	3,332,178.66
5.06	CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE	m3	8,341.04	195.93	1,634,259.97
6	OBRAS COMPLEMENTARIAS Y DE DRENAJE				
6.01	ALCANTARILLAS TIPO I				
06.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	1,031.74	4.82	4,972.99
06.01.02	ELIMINACION DE ALCANTARILLA EXISTENTE	m	439.04	26.53	11,647.73
06.01.03	LIMPIEZA Y ENCAUZAMIENTO DE ALCANTARILLAS	m3	263.42	1.28	337.18
06.01.04	EXCAVACION DE CAJA DE ALCANTARILLA ( A MANO)	m3	694.61	51.21	35,570.98
06.01.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	m2	526.85	7.57	3,988.25
06.01.06	ALCANTARILLA CORRUGADA HDPE DE 24"	m	439.04	301.69	132,453.98
06.01.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	769.48	14.96	11,511.42
06.01.08	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE ALCANTARILLAS	m2	684.73	40.22	27,539.84
06.01.09	CONCRETO Fc=210 kg/cm2 PARA ALCANTARILLAS	m3	80.55	649.62	52,326.89
06.01.10	ACERO FY=4200 KG/CM2 PARA ALCANTARILLAS	kg	983.33	4.82	4,739.65
06.01.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA FC=175 KG/CM3 +30% PM (INGRESO - SALIDA)	m3	93.24	93.48	8,716.08
6.02	ALCANTARILLAS TIPO II				
06.02.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	201.74	4.82	972.39
06.02.02	ELIMINACION DE ALCANTARILLA EXISTENTE	m	56.04	26.53	1,486.74
06.02.03	LIMPIEZA Y ENCAUZAMIENTO DE ALCANTARILLAS	m3	67.25	1.28	86.08
06.02.04	EXCAVACION DE CAJA DE ALCANTARILLA ( A MANO)	m3	96.87	51.21	4,960.71
06.02.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	m2	201.74	7.57	1,527.17
06.02.06	ALCANTARILLA CORRUGADA HDPE DE 36"	m	63.00	858.64	54,094.32
06.02.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	104.14	14.96	1,557.93
06.02.08	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE ALCANTARILLAS	m2	97.28	40.22	3,912.60
06.02.09	CONCRETO Fc=210 kg/cm2 PARA ALCANTARILLAS	m3	11.49	649.62	7,464.13
06.02.10	ACERO FY=4200 KG/CM2 PARA ALCANTARILLAS	kg	96.60	4.82	465.61
06.02.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA FC=175 KG/CM3 +30% PM (INGRESO - SALIDA)	m3	8.19	93.48	765.60
6.03	OBRAS DE SUB DREN				
06.03.01	SUB DRENAJE				
06.03.01.01	EXCAVACION PARA SUB DRENAJE	m3	10,848.20	5.74	62,268.67
06.03.01.02	SUB DRENAJE PROFUNDO	m3	8,382.70	58.40	489,549.68
06.03.01.03	TUBERIA DE DRENAJE HDPE PERFORADO DE 6"	m	9,862.00	35.30	348,128.60
06.03.01.04	TUBERIA DE VENTILACION PARA SUB DRENAJE	m	693.00	30.24	20,956.32
06.03.01.05	SUMINISTRO E INSTALACION GEOTEXTIL PARA SUB DREN	m2	46,361.40	19.87	921,201.02
06.03.02	TUBERIAS DE SALIDA				
06.03.02.01	EXCAVACION PARA TUBERIA DE SALIDA	m3	247.50	5.74	1,420.65
06.03.02.02	TUBERIA DE DRENAJE HDPE NO PERFORADO DE 6"	m	225.00	30.59	6,882.75
06.03.02.03	CONCRETO Fc=175 kg/cm2	m3	3.62	303.66	1,099.25
06.03.02.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	28.96	49.55	1,434.97
06.03.02.05	ACERO CORRUGADO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	67.20	8.95	601.44
6.04	MUROS DE CONTENCION				
06.04.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	1,727.50	4.82	8,326.55
06.04.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA ESTRUCTURAS	m3	1,100.75	37.45	41,223.09

# A - 1.17

## PRESUPUESTO MODIFICADO DEL CONTRATO PRINCIPAL

ENTIDAD : GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
 OBRA : "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA DEPARTAMENTAL AY-122), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA Y LOS MOROCHUCOS, DE LAS PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO"  
 CONTRATISTA : ALTESA CONTRATISTAS GENERALES SA  
 SUPERVISOR : AMC INGENIEROS SAC

PARTIDA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO CONTRACTUAL			
		UND	CANT.	P.U.	PARCIAL
06.04.03	RELLENO CON MATERIAL CLASIFICADO EN MUROS	m3	646.85	28.78	18,616.34
06.04.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MUROS DE CONTENCION	m2	2,274.51	34.12	77,606.28
06.04.05	CONCRETO $f_c=175$ kg/cm <sup>2</sup> PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	995.99	376.52	375,010.15
06.04.06	TUBERIA DE DRENAJE HDPE PERFORADO DE 4"	m	695.00	60.10	41,769.50
06.04.07	TUBERIA DE EVACUACIÓN S/PERFORAR DE 4"	m	430.00	6.14	2,640.20
06.04.08	TUBERIA DE EVACUACIÓN S/PERFORAR DE 2"	m	278.00	4.75	1,320.50
06.04.09	GEOCOMPUESTO DE DRENAJE	m2	2,085.00	35.62	74,267.70
06.04.10	DOWELL DE 3/4"	u	139.00	29.91	4,157.49
06.04.11	JUNTA DE CONSTRUCCION CON TEKNO FORTE DE e=1" CADA 15 mts.	m	111.20	4.42	491.50
6.05	OBRAS EN ZONA URBANA				
06.05.01	<b>SARDINEL CENTRAL</b>				
06.05.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	2,000.00	4.82	9,640.00
06.05.01.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA ESTRUCTURAS	m3	83.79	37.45	3,137.94
06.05.01.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	744.80	49.55	36,904.84
06.05.01.04	CONCRETO $f_c=175$ kg/cm <sup>2</sup> PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	139.65	376.52	52,581.02
06.05.01.05	PINTADO DE PARAPETOS Y SARDINELES	m2	744.80	18.89	14,069.27
06.05.01.06	PLANTACION CON ESPECIES NATIVAS	u	102.00	54.70	5,579.40
06.05.01.07	GIBAS O RESALTOS	m	13.50	581.43	7,849.31
06.05.02	PASARELAS PEATONALES				
06.05.02.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	140.00	4.82	674.80
06.05.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	158.40	49.55	7,848.72
06.05.02.03	CONCRETO $f_c=175$ kg/cm <sup>2</sup> PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	22.50	376.52	8,471.70
06.05.02.04	ACERO CORRUGADO $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	1,113.00	8.95	9,961.35
6.06	CUNETAS				
06.06.01	CUNETA TIPO III				
06.06.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	20,080.84	4.82	96,789.65
06.06.01.02	EXCAVACION MANUAL DE CUNETAS	m3	412.62	30.26	12,485.88
06.06.01.03	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	27,232.92	2.18	59,367.77
06.06.01.04	CONCRETO $f_c=175$ KG/CM <sup>2</sup> EN CUNETAS	m3	2,585.75	278.52	720,183.09
06.06.01.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CUNETAS	m2	866.50	28.88	25,024.52
06.06.01.06	CURADO DE CUNETAS	m	13,754.00	2.64	36,310.56
06.06.01.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	343.85	14.96	5,144.00
06.06.01.08	JUNTAS ASFALTICAS	m	10,040.42	5.93	59,539.69
7	TRANSPORTE				
7.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D<=1Km.	m3k	13,215.16	9.64	127,394.14
7.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D>1Km.	m3k	1,825,650.39	1.19	2,172,523.96
7.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE D<1KM	m3k	7,877.15	7.49	58,999.85
7.04	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE D>1KM	m3k	41,582.10	1.69	70,273.75
7.05	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D<=1Km.	m3k	57,145.18	7.45	425,731.59
7.06	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D>1Km.	m3k	44,765.13	1.29	57,747.02
8	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				
8.01	SEÑALES PREVENTIVAS	u	70.00	286.44	20,050.80
8.02	SEÑALES REGLAMENTARIAS	u	18.00	448.66	8,075.88
8.03	SEÑALES INFORMATIVAS	u	12.00	2,003.82	24,045.84
8.04	POSTE DELINEADOR	u	88.00	129.53	11,398.64
8.05	TACHA RETROREFLECTIVA	u	3,450.00	15.73	54,268.50
8.06	MARCAS EN EL PAVIMENTO	m2	3,547.00	7.07	25,077.29
8.07	BARRERA CERTIFICADA, CONTENCION DE VEHICULOS	m	933.45	195.53	182,517.48
8.08	POSTES DE KILOMETRAJE	u	13.00	334.04	4,342.52
8.09	PINTADO DE PARAPETOS DE MUROS Y ALCANTARILLAS	m2	452.10	18.89	8,540.17
8.10	GIBAS O RESALTOS	m	150.00	581.43	87,214.50
9	PROGRAMA DE INVERSIÓN				
9.01	REASENTAMIENTO INVOLUNTARIO	glb	1.00	150,000.00	150,000.00
9.02	PREPARACION DE CAPA SUPERFICIAL DE SUELO	m2	21,500.83	8.35	179,531.93
9.03	REFORESTACION Y PLANTACION CON ESPECIES NATIVAS	ha	2.90	6,552.50	19,002.25
9.04	ACONDICIONAMIENTO DE DEPOSITO DE MATERIAL EXCEDENTE	m2	109,118.89	0.71	77,474.41
9.05	READECUACION AMBIENTAL DE PLANTA DE ASFALTO	m2	2,500.00	5.53	13,825.00
9.06	READECUACION AMBIENTAL DE CAMPAMENTO	m2	250.00	5.53	1,382.50
9.07	READECUACION AMBIENTAL DE PATIO DE MAQUINAS	m2	510.00	5.53	2,820.30
9.08	SEÑAL INFORMATIVA AMBIENTAL	u	65.00	585.10	38,031.50
9.09	EDUCACION AMBIENTAL Y CAPACITACION	Ev	8.00	2,071.82	16,574.56
9.10	CAPACITACION EN CONSERVACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL	glb	4.00	4,500.00	18,000.00
9.11	PLAN DE SENSIBILIZACION EN COMUNIDADES	mes	8.00	2,284.75	18,278.00
9.12	MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA	pto	84.00	381.36	32,034.24
9.13	MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE	pto	63.00	635.59	40,042.17
9.14	MONITOREO DE RUIDOS	pto	70.00	127.12	8,898.40
9.15	PLAN DE MONITOREO ARQUEOLOGICO	glb	1.00	8,000.00	8,000.00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				22,396,053.24
	GASTOS GENERALES (10% CD)	10.00%			2,239,605.32
	UTILIDAD (8.10% CD)	8.10%			1,814,080.31
	<b>SUB TOTAL</b>				26,449,738.87
	I. G. V.	18.00%			4,760,953.00
	<b>TOTAL</b>				31,210,691.87

# A - 1.18

## PRESUPUESTO NUEVO

ENTIDAD : GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
 OBRA : "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA DEPARTAMENTAL AY-122), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA Y LOS MOROCHUCOS, DE LAS PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO"  
 CONTRATISTA : ALTESA CONTRATISTAS GENERALES SA  
 SUPERVISOR : AMC INGENIEROS SAC

PARTIDA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO CONTRACTUAL			
		UND	CANT.	P.U.	PARCIAL
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.01	CARTEL DE OBRA S/DISEÑO	u	3.00	1,434.12	4,302.36
1.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS	glb	1.00	815,105.60	815,105.60
1.03	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	km	13.61	695.23	9,462.08
1.04	TRAZO Y REPLANTEO EN PROCESO CONSTRUCTIVO	km	13.61	1,350.43	18,379.35
1.05	DEMOLICION ESTRUCTURA DE CONCRETO	m3	1,507.09	38.21	57,585.91
1.06	MANTENIMIENTO DE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes		2,066.85	0.00
1.07	SEGURIDAD EN OBRA	glb	10.00	33,627.00	336,270.00
2	OBRAS PROVISIONALES				
2.01	ACCESOS A CANTERAS, D.M.E. Y FUENTES DE AGUA	km	5.50	28,685.69	157,771.30
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
3.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO	m3	17,482.03	5.74	100,346.85
3.02	CORTE ROCA SUELTA	m3	4,951.53	20.32	100,615.09
3.03	CORTE ROCA FIJA	m3	3,141.29	30.01	94,270.11
3.04	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	13,731.58	14.96	205,424.44
3.05	MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	63,885.87	11.28	720,632.61
3.06	REEMPLAZO DE SUBRASANTE CON MATERIAL CLASIFICADO	m3	86,245.92	27.87	2,403,673.79
3.07	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	119,145.88	2.18	259,738.02
4	SUB BASE Y BASE				
4.01	SUB - BASE DE 0.20 m	m3	23,188.00	61.66	1,429,772.08
4.02	BASE DE 0.15 m	m3	16,163.40	62.71	1,013,606.81
4.03	COLOCACIÓN DE GEOMALLA SOBRE SUB BASE	m2	108,230.00	5.51	596,455.53
5	PAVIMENTOS ASFALTICOS				
5.01	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	111,213.83	1.16	129,008.04
5.02	ASFALTO DILUIDO TIPO MC-30	L	133,456.87	2.90	387,024.92
5.03	FILLER MINERAL	kg	400,369.76	0.76	304,281.02
5.04	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	kg	6,856.33	23.72	162,632.15
5.05	CEMENTO ASFALTICO	kg	1,371,266.94	2.43	3,332,178.66
5.06	CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE	m3	8,341.04	195.93	1,634,259.97
6	OBRAS COMPLEMENTARIAS Y DE DRENAJE				
6.01	ALCANTARILLAS TIPO I				
6.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	1,031.74	4.82	4,972.99
6.01.02	ELIMINACION DE ALCANTARILLA EXISTENTE	m	439.04	26.53	11,647.73
6.01.03	LIMPIEZA Y ENCAUZAMIENTO DE ALCANTARILLAS	m3	263.42	1.28	337.18
6.01.04	EXCAVACION DE CAJA DE ALCANTARILLA ( A MANO)	m3	694.61	51.21	35,570.98
6.01.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	m2	526.85	7.57	3,988.25
6.01.06	ALCANTARILLA CORRUGADA HDPE DE 24"	m	439.04	301.69	132,453.98
6.01.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	769.48	14.96	11,511.42
6.01.08	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE ALCANTARILLAS	m2	684.73	40.22	27,539.84
6.01.09	CONCRETO f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> PARA ALCANTARILLAS	m3	80.55	649.62	52,326.89
6.01.10	ACERO FY=4200 KG/CM <sup>2</sup> PARA ALCANTARILLAS	kg	983.33	4.82	4,739.65
6.01.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA FC=175 KG/CM <sup>3</sup> +30% PM (INGRESO - SALIDA)	m3	93.24	93.48	8,716.08
6.02	ALCANTARILLAS TIPO II				
6.02.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	201.74	4.82	972.39
6.02.02	ELIMINACION DE ALCANTARILLA EXISTENTE	m	56.04	26.53	1,486.74
6.02.03	LIMPIEZA Y ENCAUZAMIENTO DE ALCANTARILLAS	m3	67.25	1.28	86.08
6.02.04	EXCAVACION DE CAJA DE ALCANTARILLA ( A MANO)	m3	96.87	51.21	4,960.71
6.02.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	m2	201.74	7.57	1,527.17
6.02.06	ALCANTARILLA CORRUGADA HDPE DE 36"	m	63.00	858.64	54,094.32
6.02.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	104.14	14.96	1,557.93
6.02.08	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE ALCANTARILLAS	m2	97.28	40.22	3,912.60
6.02.09	CONCRETO f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> PARA ALCANTARILLAS	m3	11.49	649.62	7,464.13
6.02.10	ACERO FY=4200 KG/CM <sup>2</sup> PARA ALCANTARILLAS	kg	96.60	4.82	465.61
6.02.11	EMBOQUILLADO DE PIEDRA FC=175 KG/CM <sup>3</sup> +30% PM (INGRESO - SALIDA)	m3	8.19	93.48	765.60
6.03	OBRAS DE SUB DREN				
6.03.01	SUB DRENAJE				
6.03.01.01	EXCAVACION PARA SUB DRENAJE	m3	10,848.20	5.74	62,268.67
6.03.01.02	SUB DRENAJE PROFUNDO	m3	8,382.70	58.40	489,549.68
6.03.01.03	TUBERIA DE DRENAJE HDPE PERFORADO DE 6"	m	9,862.00	35.30	348,128.60
6.03.01.04	TUBERIA DE VENTILACION PARA SUB DRENAJE	m	693.00	30.24	20,956.32
6.03.01.05	SUMINISTRO E INSTALACION GEOTEXTIL PARA SUB DREN	m2	46,361.40	19.87	921,201.02
6.03.02	TUBERIAS DE SALIDA				
6.03.02.01	EXCAVACION PARA TUBERIA DE SALIDA	m3	247.50	5.74	1,420.65
6.03.02.02	TUBERIA DE DRENAJE HDPE NO PERFORADO DE 6"	m	225.00	30.59	6,882.75
6.03.02.03	CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup>	m3	3.62	303.66	1,099.25
6.03.02.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	28.96	49.55	1,434.97
6.03.02.05	ACERO CORRUGADO fy=4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	67.20	8.95	601.44
6.04	MUROS DE CONTENCIÓN				
6.04.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	1,727.50	4.82	8,326.55
6.04.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA ESTRUCTURAS	m3	1,100.75	37.45	41,223.09
6.04.03	RELLENO CON MATERIAL CLASIFICADO EN MUROS	m3	646.85	28.78	18,616.34

# A - 1.19

## PRESUPUESTO NUEVO

ENTIDAD : GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
 OBRA : "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA DEPARTAMENTAL AY-122), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA Y LOS MOROCHUCOS, DE LAS PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO"  
 CONTRATISTA : ALTESA CONTRATISTAS GENERALES SA  
 SUPERVISOR : AMC INGENIEROS SAC

PARTIDA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO CONTRACTUAL			
		UND	CANT.	P.U.	PARCIAL
06.04.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MUROS DE CONTENCIÓN	m2	2,274.51	34.12	77,606.28
06.04.05	CONCRETO Fc=175 kg/cm2 PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	995.99	376.52	375,010.15
06.04.06	TUBERIA DE DRENAJE HDPE PERFORADO DE 4"	m	695.00	60.10	41,769.50
06.04.07	TUBERIA DE EVACUACIÓN S/PERFORAR DE 4"	m	430.00	6.14	2,640.20
06.04.08	TUBERIA DE EVACUACIÓN S/PERFORAR DE 2"	m	278.00	4.75	1,320.50
06.04.09	GEOCOMPUESTO DE DRENAJE	m2	2,085.00	35.62	74,267.70
06.04.10	DOWELL DE 3/4"	u	139.00	29.91	4,157.49
06.04.11	JUNTA DE CONSTRUCCIÓN CON TEKNO FORTE DE e=1" CADA 15 mts.	m	111.20	4.42	491.50
6.05	OBRAS EN ZONA URBANA				
06.05.01	<b>SARDINEL CENTRAL</b>				
06.05.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	2,000.00	4.82	9,640.00
06.05.01.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA ESTRUCTURAS	m3	83.79	37.45	3,137.94
06.05.01.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	744.80	49.55	36,904.84
06.05.01.04	CONCRETO Fc=175 kg/cm2 PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	139.65	376.52	52,581.02
06.05.01.05	PINTADO DE PARAPETOS Y SARDINELES	m2	744.80	18.89	14,069.27
06.05.01.06	PLANTACION CON ESPECIES NATIVAS	u	102.00	54.70	5,579.40
06.05.01.07	GIBAS O RESALTOS	m	13.50	581.43	7,849.31
06.05.02	PASARELAS PEATONALES				
06.05.02.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	140.00	4.82	674.80
06.05.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	158.40	49.55	7,848.72
06.05.02.03	CONCRETO Fc=175 kg/cm2 PARA OBRAS DE ARTE R=18 m3/día	m3	22.50	376.52	8,471.70
06.05.02.04	ACERO CORRUGADO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	1,113.00	8.95	9,961.35
6.06	CUNETAS				
06.06.01	CUNETETA TIPO III				
06.06.01.01	TRAZO Y REPLANTEO EN OBRAS DE ARTE	m2	20,080.84	4.82	96,789.65
06.06.01.02	EXCAVACION MANUAL DE CUNETAS	m3	412.62	30.26	12,485.88
06.06.01.03	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE CORTE	m2	27,232.92	2.18	59,367.77
06.06.01.04	CONCRETO FC=175 KG/CM2 EN CUNETAS	m3	2,585.75	278.52	720,183.09
06.06.01.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CUNETAS	m2	866.50	28.88	25,024.52
06.06.01.06	CURADO DE CUNETAS	m	13,754.00	2.64	36,310.56
06.06.01.07	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	343.85	14.96	5,144.00
06.06.01.08	JUNTAS ASFALTICAS	m	10,040.42	5.93	59,539.69
7	TRANSPORTE				
7.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D<=1Km.	m3k	13,215.16	9.64	127,394.14
7.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA D>1Km.	m3k	1,825,650.39	1.19	2,172,523.96
7.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE D<1KM	m3k	7,877.15	7.49	58,999.85
7.04	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE D>1KM	m3k	41,582.10	1.69	70,273.75
7.05	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D<=1Km.	m3k	57,145.18	7.45	425,731.59
7.06	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D>1Km.	m3k	44,765.13	1.29	57,747.02
8	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL				
8.01	SEÑALES PREVENTIVAS	u	70.00	286.44	20,050.80
8.02	SEÑALES REGLAMENTARIAS	u	18.00	448.66	8,075.88
8.03	SEÑALES INFORMATIVAS	u	12.00	2,003.82	24,045.84
8.04	POSTE DELINEADOR	u	88.00	129.53	11,398.64
8.05	TACHA RETROREFLECTIVA	u	3,450.00	15.73	54,268.50
8.06	MARCAS EN EL PAVIMENTO	m2	3,547.00	7.07	25,077.29
8.07	BARRERA CERTIFICADA, CONTENCIÓN DE VEHICULOS	m	933.45	195.53	182,517.48
8.08	POSTES DE KILOMETRAJE	u	13.00	334.04	4,342.52
8.09	PINTADO DE PARAPETOS DE MUROS Y ALCANTARILLAS	m2	452.10	18.89	8,540.17
8.10	GIBAS O RESALTOS	m	150.00	581.43	87,214.50
9	PROGRAMA DE INVERSIÓN				
9.01	REASENTAMIENTO INVOLUNTARIO	glb	1.00	150,000.00	150,000.00
9.02	PREPARACION DE CAPA SUPERFICIAL DE SUELO	m2	21,500.83	8.35	179,531.93
9.03	REFORESTACION Y PLANTACION CON ESPECIES NATIVAS	ha	2.90	6,552.50	19,002.25
9.04	ACONDICIONAMIENTO DE DEPOSITO DE MATERIAL EXCEDENTE	m2	109,118.89	0.71	77,474.41
9.05	READECUACION AMBIENTAL DE PLANTA DE ASFALTO	m2	2,500.00	5.53	13,825.00
9.06	READECUACION AMBIENTAL DE CAMPAMENTO	m2	250.00	5.53	1,382.50
9.07	READECUACION AMBIENTAL DE PATIO DE MAQUINAS	m2	510.00	5.53	2,820.30
9.08	SEÑAL INFORMATIVA AMBIENTAL	u	65.00	585.10	38,031.50
9.09	EDUCACION AMBIENTAL Y CAPACITACION	Ev	8.00	2,071.82	16,574.56
9.10	CAPACITACION EN CONSERVACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL	glb	4.00	4,500.00	18,000.00
9.11	PLAN DE SENSIBILIZACION EN COMUNIDADES	mes	8.00	2,284.75	18,278.00
9.12	MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA	pto	84.00	381.36	32,034.24
9.13	MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE	pto	63.00	635.59	40,042.17
9.14	MONITOREO DE RUIDOS	pto	70.00	127.12	8,898.40
9.15	PLAN DE MONITOREO ARQUEOLOGICO	glb	1.00	8,000.00	8,000.00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				22,276,528.31
	<b>GASTOS GENERALES (10% CD)</b>	10.00%			2,227,652.83
	<b>UTILIDAD (8.10% CD)</b>	8.10%			<b>1,804,398.79</b>
	<b>SUB TOTAL</b>				26,308,579.93
	<b>I. G. V.</b>	18.00%			4,735,544.39
	<b>TOTAL</b>				31,044,124.32

**Análisis de precios unitarios**

Presupuesto 0494026 "MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)

Subpresupuesto 001

Fecha presupuesto 06/04/2018

Partida	01.01.01	COLOCACIÓN DE GEOMALLA SOBRE SUB BASE					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 4,000.0000	EQ. 4,000.0000	Costo unitario directo por : m2			5.51
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	0.0040	15.21	0.06	
0147010004	PEON	hh	6.0000	0.0120	13.60	0.16	
						0.22	
	<b>Materiales</b>						
0230010102	GEOMALLA BIAXIAL (50X3.95 M)	m2		1.00	4.17	4.17	
						4.17	
	<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.22	1.12	
						1.12	

## Anexo B

Información del proyecto:

“Mejoramiento de la Carretera Abra  
Toccto – Condorccochoa (Ruta  
Nacional Pe-32a)”

# B - 1.0



**GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO**  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO-93

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)  
LUGAR : AYACUCHO  
FECHA : MARZO 2013

### A) DATOS PARA DISEÑO

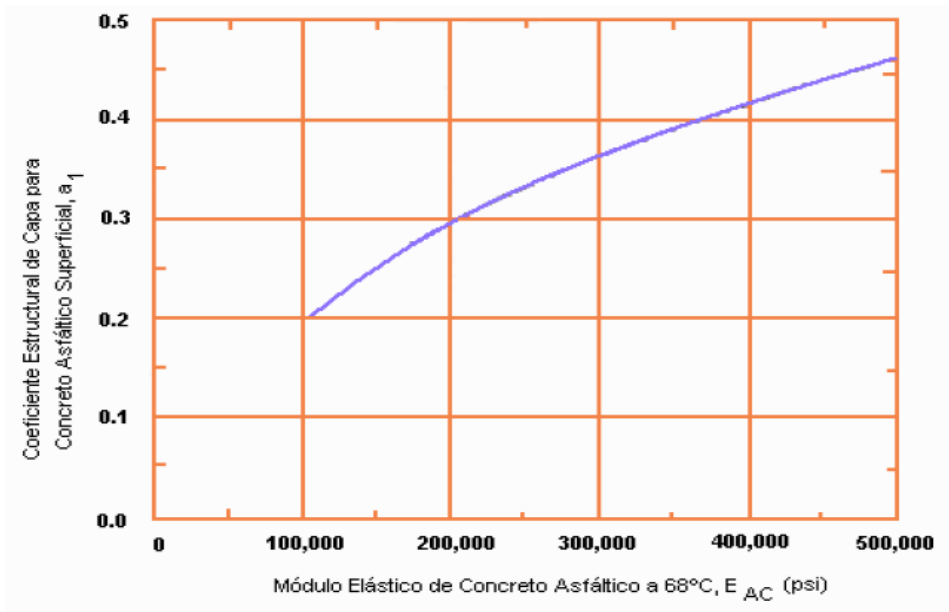
E asfalto (PSI)	435114
CBR BASE (%)	<b>80</b>
CBR SUB-BASE (%)	<b>60</b>
CBR SUBRAS. (%)	<b>4.5</b>
TRÁNSITO ( $W_{18}$ ) EQUIVALENTE	<b>1.65E+06</b>

TIPO DE VIA segun AASTHO: **vías principales**  
ZONA segun AASTHO: **RURAL**

### B) CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CAPA

#### 1. Para la carpeta asfaltica

$a_1 =$  **0.43225928**



Carta para calcular el coeficiente estructural de  
Concreto asfáltico de gradación densa

# B - 1.1



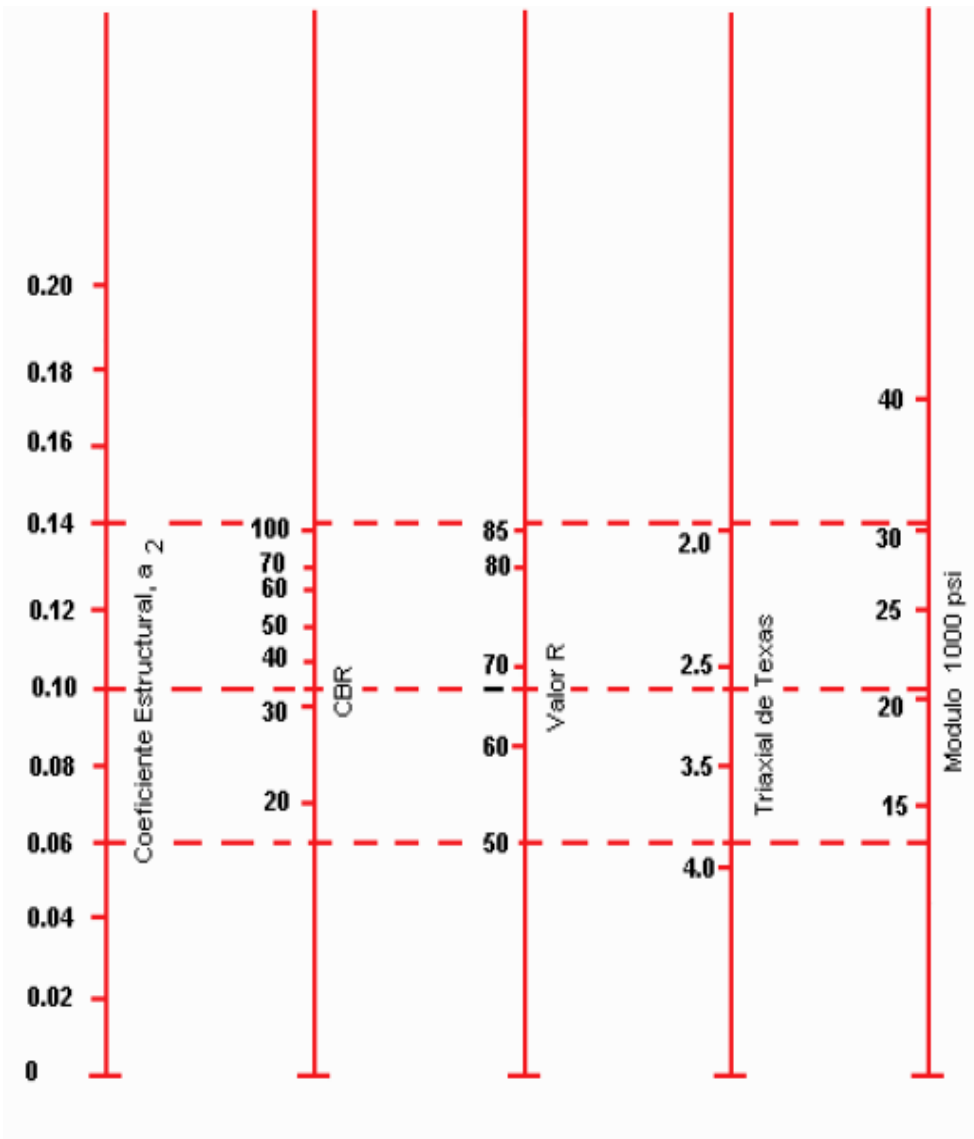
**GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO**  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO-93

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)  
LUGAR : AYACUCHO  
FECHA : MARZO 2013

### 2. Para la base granular

a<sub>2</sub> = 0.14



Variación de coeficiente de capa de base granular (a<sub>2</sub>) con la variación de los parámetros de resistencia

# B - 1.2



**GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO**  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

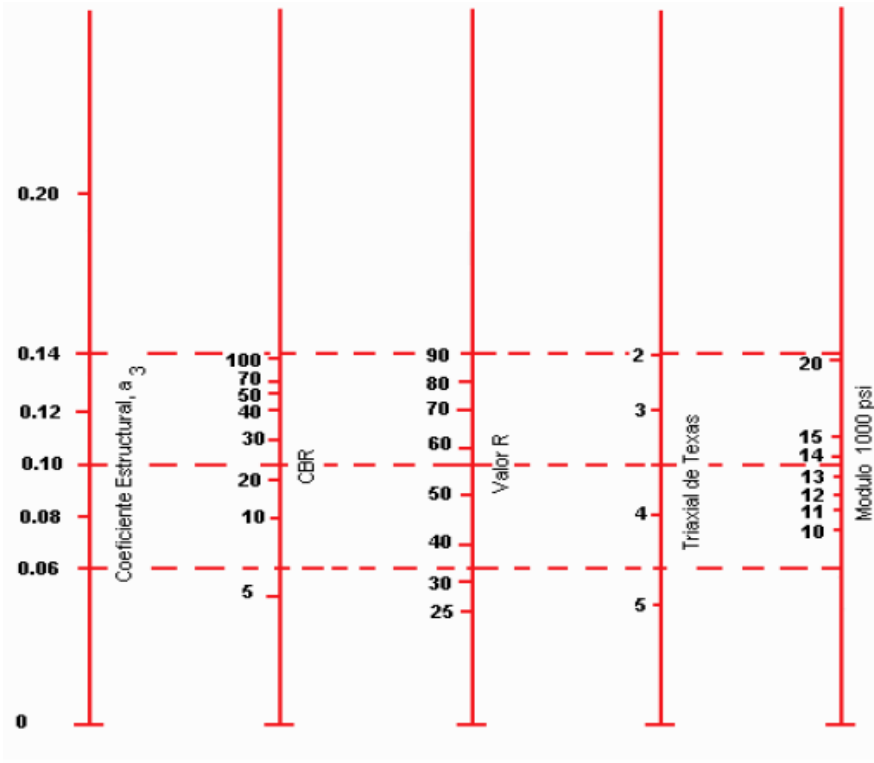
## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO-93

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)  
LUGAR : AYACUCHO  
FECHA : MARZO 2013

### 3. Para la sub base granular

a<sub>3</sub> =

0.12



Variación de coeficiente de capa de sub base granular (a<sub>3</sub>) con la variación de los parámetros de resistencia

### C) CALCULO DEL MODULO RESILIENTE (Mr)

#### 1. Para la sub rasante

<b>Mr = 1500 * CBR</b> SHELL (HEUKELOMM Y FOSTER 1960)	CBR ≤ 10%	6750	Mr  6720.16  PROMEDIO
<b>Mr = 3000 * CBR<sup>0.65</sup></b> CONCILIO SUR AFRICANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS E INDUSTRIALES (CSIR)	7.2% < CBR ≤ 20%	NO APLICABLE	
<b>Mr = 2555 * CBR<sup>0.64</sup></b>	CBR ≤ 12%	6690.32	
<b>Mr = 3205 * CBR<sup>0.55</sup></b> LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE TRANSPORTE Y CARRETERAS (TRRL) (LISTER 1987)	12% < CBR < 80%	NO APLICABLE	

# B - 1.3



**GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO**  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO-93

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)  
LUGAR : AYACUCHO  
FECHA : MARZO 2013

### 2. Para la Base granular

Mr si CBR=100%	CBR=100%	32000	Mr 32000
Mr = 1500*CBR SHELL (HEUKELOMM Y FOSTER 1960)	CBR≤10%	NO APLICABLE	
Mr = 3000* CBR <sup>0.65</sup> CONCILIO SUR AFRICANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS E	7.2%<CBR≤20%	NO APLICABLE	
Mr = 2555 *CBR <sup>0.64</sup>	CBR≤12%	NO APLICABLE	
Mr = 3205 *CBR <sup>0.55</sup> LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE TRANSPORTE Y CARRETERAS (TRRL) (LISTER	12%<CBR<80%	NO APLICABLE	

### 2. Para la Sub base granular

Mr si CBR=40%	CBR=40%	16000	Mr 16000
Mr = 1500*CBR SHELL (HEUKELOMM Y FOSTER 1960)	CBR≤10%	NO APLICABLE	
Mr = 3000* CBR <sup>0.65</sup> CONCILIO SUR AFRICANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS E	7.2%<CBR≤20%	NO APLICABLE	
Mr = 2555 *CBR <sup>0.64</sup>	CBR≤12%	NO APLICABLE	
Mr = 3205 *CBR <sup>0.55</sup> LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE TRANSPORTE Y CARRETERAS (TRRL) (LISTER	12%<CBR<80%	24375.92	

### D) CALCULO DE LA PERDIDA DE SERVICIALIDAD (ΔPSI)

índice de servicio inicial (Po)	4.50	P.RÍGIDO	4.00	ΔPSI
	4.20	P.FLEXIBLE		
índice de servicio final (Pt)	2.00	vías secundarias	2.50	1.50
	2.50			
	3.00	vías principales		

### E) CALCULO DEL FACTOR DE CONFIABILIDAD ( R )

	RURAL		URBANO		R 85
carretera interestatal	80 - 99.9	89.95	85 - 99.9	92.45	
vías principales	75 - 95	85	80 - 99	89.5	
vías secundarias	75 - 95	85	80 - 95	87.5	
redes rurales	50 - 80	65	50 -80	65	

### F) CALCULO DEL ERROR STANDART (So)

Pavimento rígido	0.35	So
Pavimento flexible	0.40 -0.50	0.45

### G) CALCULO DE LA DESVIACION STANDART NORMAL (ZR)

Para un factor de confiabilidad de 85 % según TABLA se tiene ZR = -1.037

# B - 1.4



**GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO**  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO-93

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)  
LUGAR : AYACUCHO  
FECHA : MARZO 2013

### H) CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (SN)

$$\text{Log } W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \text{Log} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right) / \left[ 0.40 + \left( \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}} \right) \right] + 2.30 * \text{Log} M_r - 8.07$$

#### 1. Para la sub rasante

SN3 = 3.65

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So): 85 % Zr=-1.037 So .45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 6720.16 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

W18 = 1.65e6

Número Estructural: SN = 3.65

Calcular Salir

#### 2. Para la Base

SN1 = 2.06

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So): 85 % Zr=-1.037 So .45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 32000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

W18 = 1.65e6

Número Estructural: SN = 2.06

Calcular Salir

# B - 1.5



**GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO**  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO-93

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)  
LUGAR : AYACUCHO  
FECHA : MARZO 2013

### 3. Para la Sub base

SN2 = 2.67

### I) DIMENSIONES MÍNIMAS EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO DE EJES EQUIVALENTES ( $W_{18}$ )

TRÁNSITO (ESAL's) EN EJES EQUIVALENTES	CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO (in)	BASES GRANULARES (in)
Menor de 50,000	1.0 ó T.S.	4.0
50,001 - 150,000	2.0	4.0
150,001 - 500,000	2.5	4.0
500,001 - 2'000,000	3.0	6.0
2'000,001 - 7'000,000	3.5	6.0
Mayor de 7'000,000	4.0	6.0

Para  $W_{18} = 1.65E+06$   
 Espesor pavimento = 3.00 pulg  
 Espesor base granular = 6.00 pulg

### J) CALCULO DE ESPESORES

#### 1. Para la carpeta asfáltica

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

SN1 = 2.06  
 a1 = 0.43  
 D1 = 4.79

==> ESPESOR FINAL D1 = 5 pulg

RECALCULADO:

SN 1 = 2.15

# B - 1.6



**GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO**  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASTHO-93

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)  
LUGAR : AYACUCHO  
FECHA : MARZO 2013

### 2. Para la BASE

$$\begin{aligned} \text{SN2} &= 2.67 \\ \text{a2} &= 0.14 \\ \text{m2} &= 1.15 \\ \text{D2} &= 3.23 \end{aligned} \implies \text{ESPESOR FINAL D2} = 4.00 \text{ pulg}$$

RECALCULADO:

$$\text{SN 2} = 0.644$$

### 2. Para la SUB BASE

$$\begin{aligned} \text{SN3} &= 3.65 \\ \text{a3} &= 0.12 \\ \text{m3} &= 1.10 \\ \text{D3} &= 6.48 \end{aligned} \implies \text{ESPESOR FINAL D3} = 7.00 \text{ pulg}$$

### K) RESUMEN FINAL DE DISEÑO

	und	proyectista	Espesor Min	promedio	final
D carpeta	in	5	3	3	3.00
	cm	12.5	7.5	10	(in)
D base	in	4	6	6	13.00
	cm	10	15	12.5	(cm)
D sub-base	in	7.00	11	9	23.00
	cm	17.5	27.5	22.5	(cm)



GOBIERNO REGIONAL AYACUCHO  
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E  
INVESTIGACION

**CALCULO DE EJES EQUIVALENTES DEL TRAFICO (ESAL)**

PROYECTO : ASFALTADO DE CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCOCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)

AYACUCHO

MARZO 2013

DISTRITO :

FECHA :

1) CARGAS POR TIPO DE VEHICULO Y NUMERO DE EJES

CLASE	DESCRIPCION	CARGA POR EJES (Tn)																		
		SIMPLE 1 TN	SIMPLE 1.3 TN	SIMPLE 2.5 TN	SIMPLE 7 TN	SIMPLE 11 TN	DOBLE 14 TN	DOBLE 16 TN	DOBLE 18 TN	TRIPLE 25 TN										
LIGEROS	Autos	2.00																		
	Camionetas Pick Up	2.00																		
	Camioneta Rural		1.30	2.50																
	Micro				14.00															
	Omnibus 2E				7.00	11.00														
	Omnibus 3E				7.00	7.00	11.00													
PESADOS	Camion 2E				7.00	7.00	7.00													
	Camion 3E				7.00	7.00	7.00													
	Camion 4E				7.00	7.00	7.00													
	Semi Traylor 2S1/2S2				7.00	7.00	7.00	11.00												
	Semi Traylor 2S3				7.00	7.00	7.00	11.00												
	Semi Traylor 3S1/3S2				7.00	7.00	7.00	7.00	36.00											
	Semi Traylor >=3S3				7.00	7.00	7.00	7.00	18.00											
	Traylor 2T2				7.00	7.00	7.00	33.00												
	Traylor 2T3				7.00	7.00	7.00	22.00												
	Traylor 3T2				7.00	7.00	7.00	7.00	22.00											
Traylor 3T3				7.00	7.00	7.00	7.00	11.00												

2) CALCULO DE EJES TIPO POR AÑO

CLASE	DESCRIPCION	IMDA	CARGA POR EJES (Tn)																	
			SIMPLE 1 TN	SIMPLE 1.3 TN	SIMPLE 2.5 TN	SIMPLE 7 TN	SIMPLE 11 TN	DOBLE 14 TN	DOBLE 16 TN	DOBLE 18 TN	TRIPLE 25 TN									
LIGEROS	Autos	185	135060																	
	Camionetas Pick Up	107	78110																	
	Camioneta Rural	124		45260																
	Micro	1			45260															
	Omnibus 2E	7				45260														
	Omnibus 3E	0						365	2555	2555										
PESADOS	Camion 2E	166																		
	Camion 3E	36																		
	Camion 4E	0																		
	Semi Traylor 2S1/2S2	0																		
	Semi Traylor 2S3	0																		
	Semi Traylor 3S1/3S2	3																		
	Semi Traylor >=3S3	6																		
	Traylor 2T2	0																		
	Traylor 2T3	0																		
	Traylor 3T2	0																		
Traylor 3T3	3																			
<b>TOTAL =</b>			<b>213160</b>	<b>45260</b>	<b>45260</b>	<b>45260</b>	<b>81030</b>	<b>64240</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>17520</b>	<b>2190</b>							



**CALCULO DE EJES EQUIVALENTES DEL TRAFICO (ESAL)**

PROYECTO : ASFALTADO DE CARRETERA ABRA TOCCTO – CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE-32A)

AYACUCHO  
MARZO 2013

DISTRITO :  
FECHA :

**3) CALCULO DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA (FEC)**

CLASE	EJES	CARGA (Tn)	LIBRAS	KIP (LIB/1000)	FEC
LIGEROS	SIMPLE	1	2204	2.20	0.000670
	SIMPLE	1.3	2865.2	2.87	0.001910
	SIMPLE	2.5	5510	5.51	0.013815
PESADOS	SIMPLE	7	15428	15.43	0.575400
	SIMPLE	11	24244	24.24	3.238800
	DOBLE (*)	14	30856	30.86	0.782600
	DOBLE (**)	16	35264	35.26	1.280600
	DOBLE	18	39672	39.67	1.999300
	TRIPLE	25	55100	55.10	1.792000

(\*) DELANTERO TÁNDEM PARA OBTENER VALOR FEC SE INTERPOLA EN LA TABLA 6.1

(\*\*) POSTERIOR EN BUS

**4) CALCULO DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA (FEC)**

CLASE	EJES	CARGA (Tn)	EAL = (FEC x (EJES TIPO AÑO) x FACTOR CRECIM.)		
			FEC	EJES TIPO AÑO	FACT. CREC.
LIGEROS	SIMPLE	1	0.000670	213160	1599.55
	SIMPLE	1.3	0.001910	45260	968.20
	SIMPLE	2.5	0.013815	45260	7002.99
PESADOS	SIMPLE	7	0.575400	81030	522196.21
	SIMPLE	11	3.238800	64240	2330277.73
	DOBLE (*)	14	0.782600	0	0.00
	DOBLE (**)	16	1.280600	0	0.00
	DOBLE	18	1.999300	17520	392310.64
	TRIPLE	25	1.792000	2190	43954.18

**TOTAL = 3.30E+06**

Factor carril=1.0  
Factor dirección=0.5

**ESA'L DE DISEÑO = 1.65E+06**

Tabla 6.1: Factores de Equivalencia de Carga

Carga bruta por eje	Factores de equivalencia de Carga	
	Ejes Simples	Ejes Tandem
KN		
lb		
4.45	1.000	0.0003
8.9	2.000	0.0007
17.8	4.000	0.0014
26.7	6.000	0.0021
35.6	8.000	0.0028
44.5	10.000	0.0035
53.4	12.000	0.0042
62.3	14.000	0.0049
71.2	16.000	0.0056
80.0	18.000	0.0063
89.0	20.000	0.0070
97.9	22.000	0.0077
106.8	24.000	0.0084
115.6	26.000	0.0091
124.5	28.000	0.0098
133.4	30.000	0.0105
142.3	32.000	0.0112
151.2	34.000	0.0119
160.1	36.000	0.0126
169.0	38.000	0.0133
178.0	40.000	0.0140
187.0	42.000	0.0147
195.7	44.000	0.0154
204.5	46.000	0.0161
213.5	48.000	0.0168
222.4	50.000	0.0175
231.3	52.000	0.0182
240.2	54.000	0.0189
249.0	56.000	0.0196
258.0	58.000	0.0203
267.0	60.000	0.0210
275.8	62.000	0.0217
284.5	64.000	0.0224
293.5	66.000	0.0231
302.5	68.000	0.0238
311.5	70.000	0.0245
320.0	72.000	0.0252
329.0	74.000	0.0259
338.0	76.000	0.0266
347.0	78.000	0.0273
356.0	80.000	0.0280
364.7	82.000	0.0287
373.6	84.000	0.0294
382.5	86.000	0.0301
391.4	88.000	0.0308
400.3	90.000	0.0315

# B - 1.9



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

## 4.4 CARACTERISTICAS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las características observadas en campo, los resultados de los ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos, la clasificación visual de los materiales nos permiten interpretar y describir las características físico-mecánicas de los materiales, recomendando su utilización o descartando de acuerdo a su calidad para cada una de las diferentes obras propuestas en el presente Estudio, los estratos encontrados en el estudio de campo se han clasificado según AASHTO y SUCS y ensayados según la Norma EM-2000 del MTC.

Las características de las Canteras Localizadas son las siguientes:

### Cantera Rio Cachi

Esta cantera está ubicada en la carretera Ayacucho – Huanta o San Francisco, en el kilómetro 20.0 al lado derecho, totalmente asfaltada y cuenta con un acceso de 7.8 km afirmado. Su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 es Este=578796m, Norte=8555230m. La cantera está conformada por depósitos de material grueso y finos que tienen formas redondeadas a sub redondeadas, constituidas por gravas bien gradadas y pobremente gradadas. Mezclas de grava arena y limos. Para poder cumplir con todas las exigencias de las Especificaciones Técnicas se requiere realizar previamente el proceso de chancado, para la fabricación de agregados para Carpeta Asfáltica.

#### Características de la Cantera

Denominación	: Cantera Rio Cachi
Ubicación	: a 36 km desde el Km 0+000 del proyecto luego en el Km. 20+000 lado izquierdo de la Carretera Ayacucho San Francisco asfaltada.
Acceso	: 8.0 km. De via afirmada
Área	: 25,0000 m <sup>2</sup>
Volumen de material	: Suficiente
Disponibilidad	: Terceros
Empleo	: Concreto Asfáltico
Rendimiento	: 95 %
Explotación	: Tractor y cargador frontal
Fecha de explotación	: Época de estiaje.
Tratamiento	: Zarandeo y Chancado con chancadora primaria y secundaria



**INGECOTECON**  
ING. VICTOR PORTAL QUICANA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO  
C.I.P. 11239

# B - 1.10



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

## Características del material:

Limite Líquido (Malla N° 40)	: 19.8 %
Limite Plástico (Malla N° 40)	: NP
Índice Plástico (Malla N° 40)	: NP
Equivalente de Arena	: 69%
Desgaste (Abrasión)	: 18.1 %
Sales Solubles Sulfatos	: 0.03 % arena y 0.04 % grava
Sales Solubles Cloruros	: 0.05 % arena y 0.05% grava
Partículas Chatas y Alargadas	: 6.5%
Durabilidad sulfato de sodio	: 4.7 % AG y 7.3 % AF
Partículas Friables	: 1.5 % AG y 0.2 % AF
Peso Unitario Suelto (tn/m3)	: 1.5 AG y 1.57 AF
Peso Unitario Compactado (tn/m3)	: 1.53 AG y 1.68 AF
Peso Específico	: 2.68AG y 2.64 AF
Absorción	: 1.06 % AG y 1.23% AF
Impurezas Orgánicas	: ATP
Sales Solubles Totales	: 0.474 % AG y 0.462% AF
Limite Líquido (Malla N° 200)	: 35.6 %
Limite Plástico (Malla N° 200)	: 34.4 %
Índice Plástico (Malla N° 200)	: 1.0 %
Adherencia	: Grado 3 AF.
Adherencia con Cal	: Grado 5 AF.

Se adicionará un aditivo mejorador de adherencia tipo AMINA con fines de corregir la afinidad del par agregado fino – asfalto en una proporción 0.5% del peso del Asfalto (Grado AF > 6)

## Cantera Material Granular MG-1

Esta cantera está ubicada en la carretera Ayacucho - Toccto al lado derecho en las coordenadas UTM WGS 84 Este=578796m, Norte=8555230m. Cuenta con un acceso de 20 m, conformada por depósitos de material grueso y fino que tienen formas sub redondeadas a sub angulosas, constituidas por gravas pobremente gradadas. Mezclas de grava arena y limos. Esta cantera podría ser utilizado para extraer material para relleno y mejoramientos,

**INGEOTECON**  
ING. VICTOR PORTAL QUICANA  
CONSULTOR EN INGENIERIA Y CONCRETO  
C.I.R. 71236

# B - 1.11



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

## Características de la Cantera

Denominación	: Cantera MG-1
Ubicación	: a 4.5km del Km. 0+000 del proyecto en la vía Toccto - Ayacucho.
Volumen de material	: 20,000 m <sup>3</sup>
Disponibilidad	: Terceros
Empleo	: Rellenos y mejoramientos.
Rendimiento	: 90%
Explotación	: Tractor y cargador frontal
Tratamiento	: Zarandeo

## Características del material:

Límite Líquido (Malla N° 40)	: 35.5 %
Límite Plástico (Malla N° 40)	: 26.8%
Índice Plástico (Malla N° 40)	: 9.0
Densidad Máxima	: 1.762%
Contenido Óptimo del Agua	: 19.6 %
Equivalente de Arena	: 14%
Desgaste (Abrasión)	: 30 %
CBR	: 39 % al 95% y 49% al 100% de la MDS
Sales Solubles Sulfatos	: 0.09% arena y 0.09 % grava
Sales Solubles Cloruros	: 0.03 % arena y 0.03 % grava
Durabilidad Sulfato de Sodio	: 6.3% AG y 7.2 % AF
Impurezas Orgánicas	: APT
Sales Solubles Totales	: 0.132 % AG y 0.144 AF
Límite Líquido (Malla N° 200)	: 40.6 %
Límite Plástico (Malla N° 200)	: 30.2 %
Índice Plástico (Malla N° 200)	: 10 %

**INGEOTECON**

ING. VICTOR PORTAL QUICANA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRET  
CIP: 71239

# B - 1.12



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

## Cantera Rocas N° 1

Esta cantera está ubicada en la carretera Toccto - Andahuaylas al lado izquierdo en las coordenadas UTM WGS 84 Este=595741m, Norte=8523659m. Cuenta con un acceso de 50 m, conformada por macizos rocosos fracturados Andesíticos que tienen formas sub angulosa a Angulosa. Esta cantera podría ser utilizado para extraer material para Agregado Grueso chancado y filtros.

### Características de la Cantera

Denominación	: Cantera Rocas N° 1
Ubicación	: a 11km del Km. 0+000 del proyecto en la vía Toccto - Andahuaylas.
Volumen de material	: 30,000 m3
Disponibilidad	: Terceros
Empleo	: Agregado Grueso Chancado y filtros.
Explotación	: Voladura, excavadora, tractor y cargador frontal
Tratamiento	: Chancado y Zarandeo

### Características del material:

Roca Matriz	: Andesita
Resistencia a la compresión simple	: 165.32 MPa
Densidad (Tn/m3)	: 2.61
Absorción	: 1.05%
Porosidad	: 1.57%
Gravedad específica	: 2.62
Desgaste (Abrasión)	: 19 %
Durabilidad Sulfato de Sodio	: 6.2%

## Cantera Ccelloccasa

Esta cantera está ubicada en la carretera Toccto-Andahuaylas al lado izquierdo en las coordenadas UTM WGS 84 Este=627736m, Norte=8527815m. Cuenta con un acceso de 50 m, conformada por depósitos de material grueso y fino que tienen formas sub angulosas, constituidas por Mezclas de grava arena y limos. Esta cantera podría ser utilizado para extraer material para Sub base previo mezclado, relleno y mejoramientos,

### Características de la Cantera



# B - 1.13



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

Denominación	: Cantera C Cellocasca
Ubicación	: a 14km del Km. 0+000 del proyecto en la vía Toccto - Andahuaylas.
Volumen de material	: 15,000 m <sup>3</sup>
Disponibilidad	: Terceros
Empleo	: Sub bases previo mezclado, rellenos y mejoramientos.
Explotación	: Tractor y cargador frontal
Tratamiento	: Mezclado y Zarandeo
Características del material:	
Límite Líquido (Malla N° 40)	: 28.8 %
Límite Plástico (Malla N° 40)	: 26.8%
Índice Plástico (Malla N° 40)	: 2.0
Densidad Máxima	: 2.14%
Contenido Óptimo del Agua	: 8.00 %
Equivalente de Arena	: 24%
Desgaste (Abrasión)	: 24 %
CBR	: 42 % al 95% y 60.5% al 100% de la MDS
Durabilidad Sulfato de Magnesio	: 7.6% AG y 12.9 % AF
Impurezas Orgánicas	: APT
Sales Solubles Totales	: 0.03%

## Cantera Km 1+100 - Km 1+000

Esta cantera está ubicada en la carretera del proyecto al lado derecho en las coordenadas UTM WGS 84 Este=588413m, Norte=8522970m. Cuenta con un acceso de 50 m, conformada por depósitos de material grueso y fino que tienen formas sub angulosas, constituidas por Mezclas de grava arena y arcillas. Esta cantera podría ser utilizado para extraer material para Sub base y mejoramientos previo mezclado y rellenos.

### Características de la Cantera

Denominación	: Cantera Km 1+000
Ubicación	: En la vía del proyecto en el Km 1+000.
Volumen de material	: 50,000 m <sup>3</sup>
Disponibilidad	: Terceros

**INGEOTECON**

ING. VICTOR PORTAL QUICANA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO  
C.I.P. 71230

# B - 1.14



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

Empleo	: Sub bases y mejoramientos previo mezclado así como rellenos.
Explotación	: Tractor y cargador frontal
Tratamiento	: Mezclado y Zarandeo
Características del material:	
Límite Líquido (Malla N° 40)	: 31.2%
Límite Plástico (Malla N° 40)	: 21.0%
Índice Plástico (Malla N° 40)	: 10.2%
Densidad Máxima	: 1.86%
Contenido Óptimo del Agua	: 12.0 %
Gravedad Especifica AG	: 2.15
Gravedad Especifica AF	: 2.55
Gravedad Especifica	: 2.27
Equivalente de Arena	: 54%
Desgaste (Abrasión)	: 36 %
CBR	: 65 % al 95% y 99.5% al 100% de la MDS
Impurezas Orgánicas	: APT
Salas Solubles Totales	: 0.01297%
Sulfatos	: 0.00654%
Cloruros	: 0.00543%

La matriz rocosa está conformada por:

Roca Matriz	: Dacita
Resistencia a la compresión simple	: 49.66 MPa
Densidad (Tn/m <sup>3</sup> )	: 2.09
Absorción	: 3.74%
Porosidad	: 6.55%



## Cantera Rocas N° 2 Km 2+360

Esta cantera está ubicada en la carretera en proyecto al lado derecho en las coordenadas UTM WGS 84 Este=588085m, Norte=8521860m. Cuenta con un acceso de 20 m, conformada por macizos rocosos fracturados Dacíticos que tienen formas sub angulosa a Angulosa. Esta cantera podría ser utilizado para extraer material para rellenos con enrocados.

# B - 1.15



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

## Características de la Cantera

Denominación	: Cantera Rocas N° 2
Ubicación	: En la via del proyecto Km 2+360.
Volumen de material	: 15,000 m <sup>3</sup>
Disponibilidad	: Terceros
Empleo	: Enrocados en rellenos.
Explotación	: Voladura, excavadora, tractor y cargador frontal
Tratamiento	: Zarandeo

## Características del material:

Roca Matriz	: Dacita
Resistencia a la compresión simple	: 59.42 MPa
Densidad (Tn/m <sup>3</sup> )	: 2.09
Absorción	: 3.06%
Porosidad	: 4.72%
Gravedad específica	: 2.11
Desgaste (Abrasión)	: 39 %

## Cantera Rio Sayacc

Esta cantera está ubicada en la carretera Desvió Condorccocho - Vilcashuaman, a una distancia de 26 Km desde el Km 13+720 (fin del Proyecto). Su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 es de Este=608570m, Norte=8523911m. La cantera está conformada por depósitos de material grueso y finos que tienen formas sub redondeadas a sub angulares, constituidas por gravas pobremente gradadas. Mezclas de grava arena y limos. Para poder cumplir con todas las exigencias de las Especificaciones Técnicas se requiere realizar previamente el proceso de chancado, para la fabricación de los materiales a usarse en la obra.

## Características de la Cantera

Denominación	: Cantera Rio Sayacc
Ubicación	: a 26 km desde el Km 13+720 del proyecto.
Volumen de material	: Suficiente
Disponibilidad	: Terceros
Empleo	: Agregado Grueso para Concreto Hidráulico, Sub Base y Base Granular previo chancado



# B - 1.16



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

Explotación	: Tractor y cargador frontal
Tratamiento	: Zarandeo y Chancado con chancadora primaria y secundaria
Fecha de explotación	: Época de estiaje.
Características del material:	
Límite Líquido (Malla N° 40)	: NP
Límite Plástico (Malla N° 40)	: NP
Índice Plástico (Malla N° 40)	: NP
Equivalente de Arena	: 87%
Desgaste (Abrasión)	: 25%
Sales Solubles Sulfatos	: 0.037%
Sales Solubles Cloruros	: 0.055%
Durabilidad sulfato de sodio	: 3.3% AG y 3.6% AF
Peso Unitario Suelto (tn/m3)	: 1.5 AG y 1.58 AF
Peso Unitario Compactado (tn/m3)	: 1.65 AG y 1.69 AF
Peso Específico	: 2.60AG y 2.53 AF
Absorción	: 1.01 % AG y 1.99% AF
Impurezas Orgánicas	: Posibilidad Dañina
Materia orgánica	: 0.001%
Sales Solubles Totales	: 0.0976%

## Cantera Rio Pampas - sector Cangallo

Esta cantera está ubicada en la carretera Desvió Condorccocho - Cangallo, a una distancia de 43 Km desde el Km 13+720 (fin del Proyecto). Su ubicación en coordenadas UTM WGS 84 es de Este=598662m, Norte=8532080m. La cantera está conformada por depósitos de material grueso y finos que tienen formas sub redondeadas a redondeadas, constituidas por gravas pobremente gradadas. Mezclas de grava arena y limos. Para poder cumplir con todas las exigencias de las Especificaciones Técnicas se requiere realizar previamente el proceso de chancado, para la fabricación de los materiales a usarse en la obra.

### Características de la Cantera

Denominación	: Cantera Rio Pampas - Sector Cangallo
Ubicación	: a 43 km desde el Km 13+720 del proyecto.
Volumen de material	: Suficiente



# B - 1.17



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

Disponibilidad : Terceros  
 Empleo : Agregados para Concreto Hidráulico, Agregado para Concreto Asfáltico  
 Fecha de explotación : Época de estiaje.  
 Explotación : Tractor y cargador frontal  
 Tratamiento : Zarandeo y Chancado con chancadora primaria y secundaria

**Características del material:**

Límite Líquido (Malla N° 40) : NP  
 Límite Plástico (Malla N° 40) : NP  
 Índice Plástico (Malla N° 40) : NP  
 Equivalente de Arena : 93%  
 Desgaste (Abrasión) : 18%  
 Sales Solubles Sulfatos : 0.067%  
 Sales Solubles Cloruros : 0.067%  
 Durabilidad sulfato de Magnesio : 0.8% AG y 2.6% AF  
 Peso Unitario Suelto (tn/m3) : 1.59 AG y 1.67 AF  
 Peso Unitario Compactado (tn/m3) : 1.71 AG y 1.78 AF  
 Peso Específico : 2.64AG y 2.47 AF  
 Absorción : 0.85% AG y 4.09% AF  
 Impurezas Orgánicas : Apta  
 Materia orgánica : 0.001%  
 Sales Solubles Totales : 0.151%



**4.5 LEYENDA DE USOS Y TRATAMIENTOS:**

USOS		TRATAMIENTOS	
R	Relleno	Z	Zarandeo
MSR	Mejoramiento de Subrasante	Tp	Trituración Primaria
SBG	SubBase Granular	Ts	Trituración Secundaria
BG	Base Granular Triturada	M	Mezcla
MACS	Mezcla Asfáltica en Caliente de Superficie	L	Lavado
MCCP	Mezcla de Concreto con Cemento Pórtland	E	Explosivos
EMP	Empedrado	SEL	Selección
DR	Defensa Ribereña	A	Aditivo mejorador de Adherencia
GV	Gaviones	F	Filler

# B - 1.18



**INGEOTECON**  
CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA  
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

## ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO (PDC)

Proyecto : \*MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCHOCHA (RUTA NACIONAL PE - 32A), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA, LOS MOROCHUCOS DE LA PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO\*

Solicitante : GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

Region : AYACUCHO

Ubicación : MATERIAL DE RASANTE ACTUAL

Provincias : HUAMANGA - CANGALLO

Progresiva : KM: 2+000

Distritos : CHIARA - LOS MOROCHUCOS

Fecha : MARZO DEL 2013

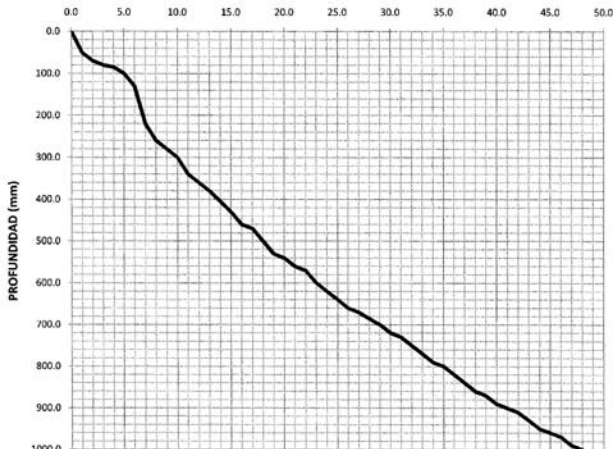
Lugar : DESVIO TOCCTO - MOROCHUCO

**PDC-7**

Numero Golpes	Profundidad (cm)	Profundidad (mm)
0.0	0.0	0.0
1.0	5.0	50.0
2.0	7.0	70.0
3.0	8.0	80.0
4.0	8.5	85.0
5.0	10.0	100.0
6.0	13.0	130.0
7.0	22.0	220.0
8.0	26.0	260.0
9.0	28.0	280.0
10.0	30.0	300.0
11.0	34.0	340.0
12.0	36.0	360.0
13.0	38.0	380.0
14.0	40.5	405.0
15.0	43.0	430.0
16.0	46.0	460.0
17.0	47.0	470.0
18.0	50.0	500.0
19.0	53.0	530.0
20.0	54.0	540.0
21.0	56.0	560.0
22.0	57.0	570.0
23.0	60.0	600.0
24.0	62.0	620.0
25.0	64.0	640.0
26.0	66.0	660.0
27.0	67.0	670.0
28.0	68.5	685.0
29.0	70.0	700.0
30.0	72.0	720.0
31.0	73.0	730.0
32.0	75.0	750.0
33.0	77.0	770.0
34.0	79.0	790.0
35.0	80.0	800.0
36.0	82.0	820.0
37.0	84.0	840.0
38.0	86.0	860.0
39.0	87.0	870.0
40.0	89.0	890.0
41.0	90.0	900.0
42.0	91.0	910.0
43.0	93.0	930.0
44.0	95.0	950.0
45.0	96.0	960.0
46.0	97.0	970.0
47.0	99.0	990.0
48.0	100.0	1000.0

### CURVA PDC

GOLPES ACUMULADOS (Golp)

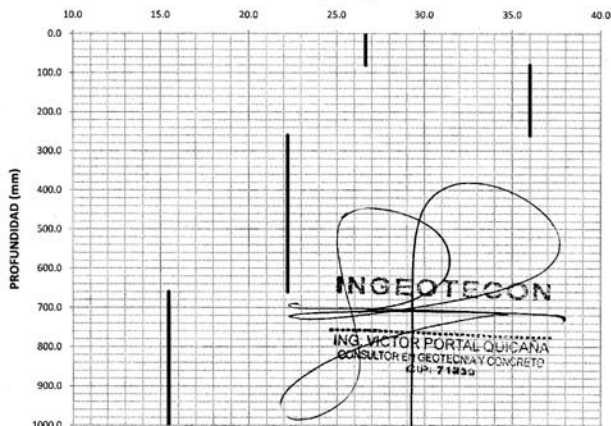


Profundidad (mm)	Numero de Golpes (golp)	DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	80.0	0.0	3.0	26.7
80.0	260.0	3.0	8.0	36.0
260.0	660.0	8.0	26.0	22.2
660.0	1000.0	26.0	48.0	15.5

6.7

### DIAGRAMA ESTRUCTURAL

DN (mm/Golp)



**INGEOTECON**

ING. VICTOR PORTAL QUICANA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO  
C.I.P. 71829

# B - 1.19



**INGEOTECON**  
CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA  
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

## ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO (PDC)

Proyecto : **"MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE - 32A), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA, LOS MOROCHUCOS DE LA PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO"**

Solicitante : **GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO** Region : **AYACUCHO**

Ubicación : **MATERIAL DE RASANTE ACTUAL** Provincias : **HUAMANGA - CANGALLO**

Progresiva : **KM: 4+620** Distritos : **CHIARA - LOS MOROCHUCOS**

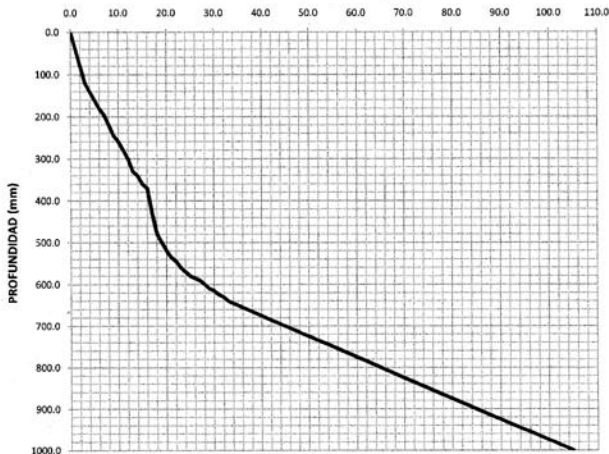
Fecha : **MARZO DEL 2013** Lugar : **DESVIO TOCCTO - MOROCHU**

**PDC-13**

Numero Golpes	Profundidad (cm)	Profundidad (mm)
0.0	0.0	0.0
1.0	4.0	40.0
2.0	8.0	80.0
3.0	12.0	120.0
4.0	14.0	140.0
5.0	16.0	160.0
6.0	18.0	180.0
7.0	19.5	195.0
8.0	22.0	220.0
9.0	24.5	245.0
10.0	26.0	260.0
11.0	28.0	280.0
12.0	30.0	300.0
13.0	33.0	330.0
14.0	34.0	340.0
15.0	36.0	360.0
16.0	37.0	370.0
17.0	43.0	430.0
18.0	46.0	460.0
19.0	50.0	500.0
20.0	52.0	520.0
21.0	53.5	535.0
22.0	54.5	545.0
23.0	56.0	560.0
24.0	57.0	570.0
25.0	58.0	580.0
26.0	58.5	585.0
27.0	59.0	590.0
28.0	60.0	600.0
29.0	61.0	610.0
30.0	61.5	615.0
31.0	62.5	625.0
32.0	63.0	630.0
33.0	64.0	640.0
34.0	64.5	645.0
35.0	65.0	650.0
36.0	65.5	655.0
37.0	66.0	660.0
38.0	66.5	665.0
39.0	67.0	670.0
40.0	67.5	675.0
41.0	68.0	680.0
42.0	68.5	685.0
43.0	69.0	690.0
44.0	69.5	695.0
45.0	70.0	700.0
46.0	70.5	705.0
47.0	71.0	710.0
48.0	71.5	715.0
49.0	72.0	720.0
50.0	72.5	725.0
51.0	73.0	730.0
52.0	73.5	735.0
53.0	74.0	740.0
54.0	74.5	745.0
55.0	75.0	750.0
56.0	75.5	755.0
57.0	76.0	760.0
58.0	76.5	765.0
59.0	77.0	770.0
60.0	77.5	775.0
61.0	78.0	780.0
62.0	78.5	785.0
63.0	79.0	790.0
64.0	79.5	795.0

### CURVA PDC

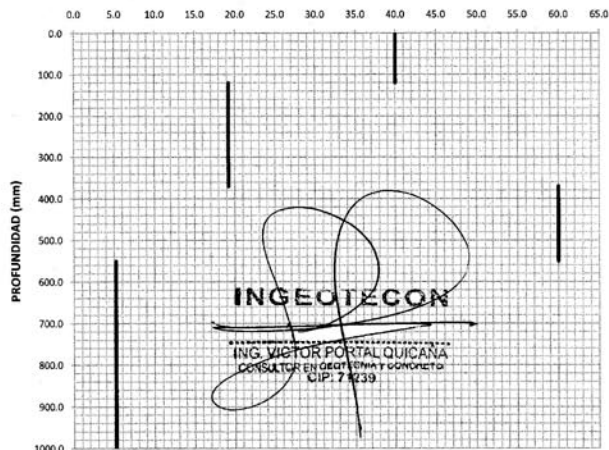
GOLPES ACUMULADOS (Golp)



Profundidad (mm)	Numero de Golpes (golp)	DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	0.0	40.0	4.7	6.0
120.0	3.0	16.0	10.6	
370.0	550.0	19.0	60.0	
550.0	1000.0	19.0	5.2	
		105.0	45.8	

### DIAGRAMA ESTRUCTURAL

DN (mm/Golp)



**INGEOTECON**

ING VICTOR PORTAL QUICANA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO  
CIP: 74239

# B - 1.20

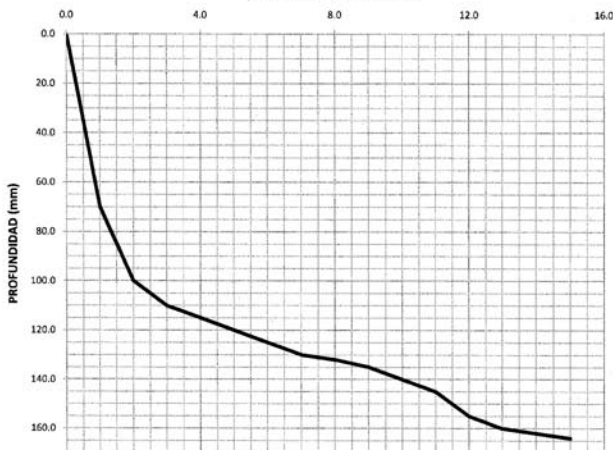
MOROCHUCOS DE LA PROVINCIA DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO

Solicitante	: GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO	Region	: AYACUCHO
Ubicación	: MATERIAL DE RASANTE ACTUAL	Provincias	: HUAMANGA - CANGALLO
Progresiva	: KM. 1+100 ( ENSAYO 1)	Distritos	: CHIARA - LOS MOROCHUCOS
Fecha	: MARZO DEL 2013	Lugar	: DESVIO TOCCTO - MOROCHUCO

**PDC-3**

Numero Golpes	Profundidad (cm)	Profundidad (mm)
0.0	0.0	0.0
1.0	7.0	70.0
2.0	10.0	100.0
3.0	11.0	110.0
4.0	11.5	115.0
5.0	12.0	120.0
6.0	12.5	125.0
7.0	13.0	130.0
8.0	13.2	132.0
9.0	13.5	135.0
10.0	14.0	140.0
11.0	14.5	145.0
12.0	15.5	155.0
13.0	16.0	160.0
14.0	16.2	162.0
15.0	16.4	164.0

## CURVA PDC GOLPES ACUMULADOS (Golp)

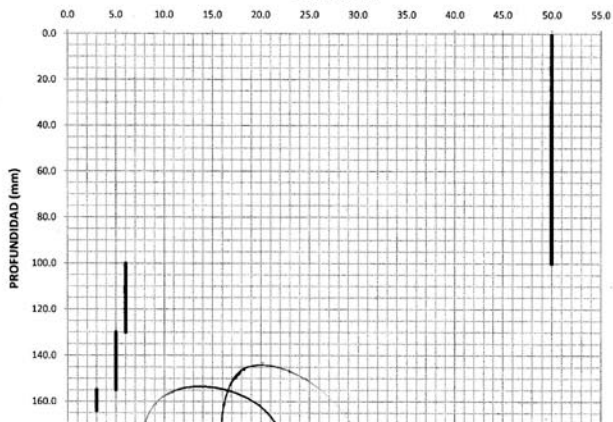


Profundidad (mm)	Numero de Golpes (golp)	DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	100.0	0.0	2.0	50.0
100.0	130.0	2.0	7.0	6.0
130.0	155.0	7.0	12.0	5.0
155.0	164.0	12.0	15.0	3.0

**8.4**

## DIAGRAMA ESTRUCTURAL

DN (mm/Golp)



DIRECCION: URB. MARIA PARADO DE BARRIO VICTOR PORTAL QUICANA, MOROCHUCO, AYACUCHO. TEL: 053 222 222 222

**INGEOTECOR**

ING. VICTOR PORTAL QUICANA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO  
CIP: 71279

Anexo C

Otros

# C - 1.0



## CONTENIDO DE HUMEDAD

(ASTM D-2216, MTC E 108-2000)

Proyecto : **" MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE - 32A), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA, LOS MOROCHUCOS DE LA PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO".**

---

Solicitante : **HINOSGAR HINOSTROZA MOLINA** Región : **AYACUCHO**

---

Calicata : **MATERIAL SUB RASANTE KM 2+000** Provincia : **HUAMANGA - CANGALLO**

---

Distrito : **CHIARA - LOS MOROCHUCOS**

---

Fecha : **MAYO DEL 2017** Lugar : **DESVIO TOCCTO - MOROCHUCOS**

## DETERMINACION DE LA HUMEDAD

	RECIPIENTE	Nº	15.0	16.0
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	125.00	130.00
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	114.52	119.01
3	PESO RECIPIENTE	gr	49.802	51.571
4	PESO AGUA EN LA MUESTRA	gr	10.48	10.99
5	PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	64.72	67.44
6	HUMEDAD	%	16.2%	16.3%
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		<b>%</b>	<b>16.2%</b>	

# C - 1.1

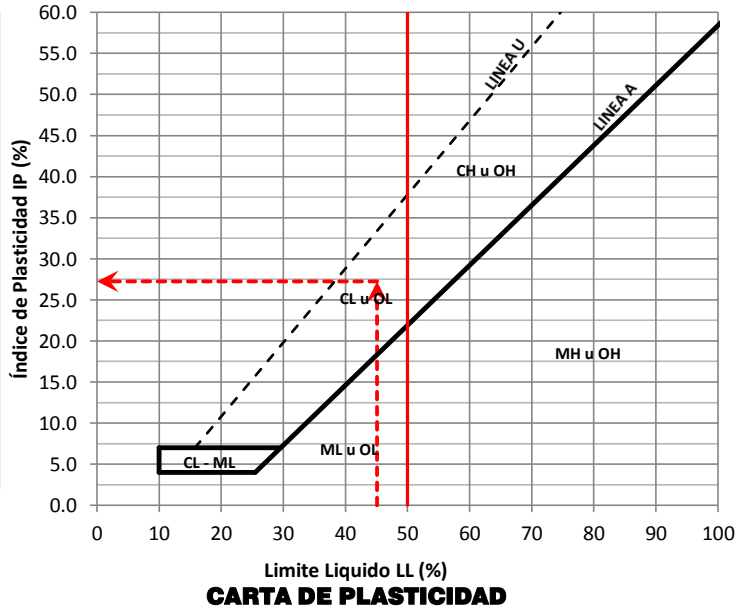
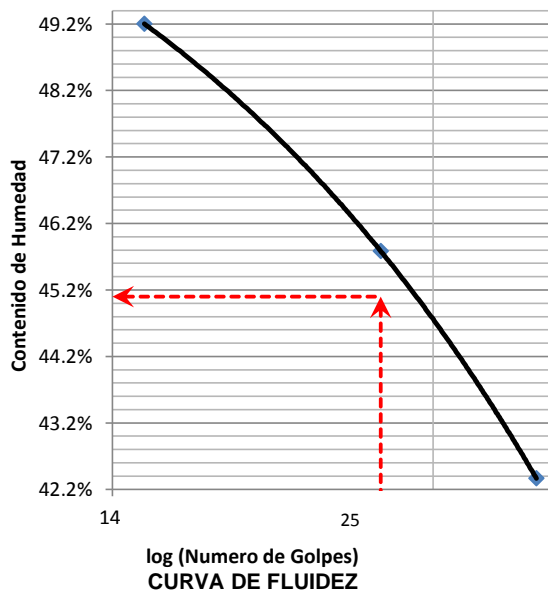


Proyecto	" MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE - 32A), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA, LOS MOROCHUCOS DE LA PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO".		
Solicitantes	: HINOSGAR HINOSTROZA MOLINA	Región	: AYACUCHO
Calicata	: MATERIAL SUB RASANTE KM 2+000	Provincia	: HUAMANGA - CANGALLO
Estrato	:	Distrito	: CHIARA - LOS MOROCHUCOS
Fecha	: MAYO DEL 2017	Lugar	: DESVIO TOCCTO - MOROCHUCOS

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS		(ASTM D-4318, MTC E 111)				
DEFINICIONES : El Limite Plástico de un suelo es el contenido de humedad expresado en % del suelo secado en horno, cuando esta se haya entre limite del estado semisólido y el estado plástico.						
	RECIPIENTE	Nº	44.0	125.0		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	26.715	15.261		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	26.285	14.675		
3	PESO RECIPIENTE	gr	23.860	11.415		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	0.43	0.59		
5	PESO SECO (2)-(4)	gr	2.43	3.26		
6	HUMEDAD	%	17.7%	18.0%		
<b>LIMITE PLASTICO</b>		<b>%</b>	<b>17.9%</b>			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS		(ASTM D-4318, MTC E 110)				
DEFINICIONES : El limite liquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en % del suelo secado en horno, cuando esta se haya entre limite del estado plástico y el estado líquido						
	RECIPIENTE	Nº	205.0	98.0	100.0	
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	31.224	36.965	39.205	
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	27.246	32.626	34.078	
3	PESO RECIPIENTE	gr	17.856	23.150	23.658	
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	3.98	4.34	5.13	
5	PESO SECO (2)-(4)	gr	9.39	9.48	10.42	
6	HUMEDAD	%	42.4%	45.8%	49.2%	
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	35.00	25.00	15.00	
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>%</b>	<b>45.1%</b>			

**INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 27.2%**



# C - 1.2

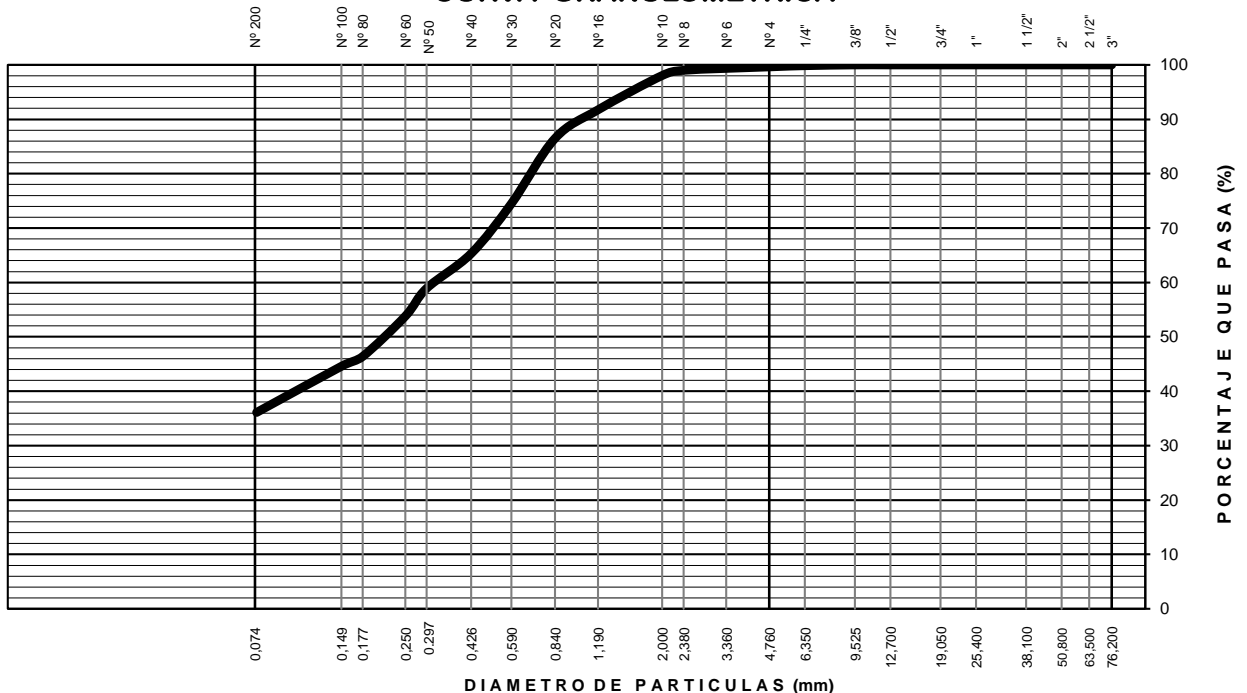


## ENSAYO ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (ASTM D 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, D 1557)

Proyecto	" MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE - 32A), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA, LOS MOROCHUCOS DE LA PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO".		
Solicitante	: HINOSGAR HINOSTROZA MOLINA	Región	: AYACUCHO
Calicata	: MATERIAL SUB RASANTE KM 2+000	Provincia	: HUAMANGA - CANGALLO
Fecha	: MAYO DEL 2017	Distrito	: CHIARA - LOS MOROCHUCOS
		Lugar	: DESVIO TOCCTO - MOROCHUCOS

	TAMIZ	Abertura	PESO	% RETEN	% RETEN	% QUE	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
	ASTM	(mm)	RETENIDO (gr.)	PARCIAL	ACUMULADO	PASA	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>	3"	76.200	-	-	-	100.00	PESOS (gr) Peso seco inicial 3098.8 Peso seco lavado 1995.6 Pérdida por lavado 1103.2
	2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00	
	2"	50.800	-	-	-	100.00	
	1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00	ENSAYOS ESTÁNDAR
	1"	25.400	-	-	-	100.00	
	3/4"	19.050	-	-	-	100.00	% Grava <b>0.4</b>
	1/2"	12.700	-	-	-	100.00	% Grava gruesa 0.0
	3/8"	9.525	-	-	-	100.00	% Grava fina 0.4
	1/4"	6.350	4.36	0.14	0.14	99.86	% Arena <b>63.5</b>
	Nº 4	4.760	6.74	0.22	0.36	99.64	% Arena gruesa 1.6
	Nº 8	2.380	19.44	0.64	1.00	99.00	% Arena media 32.7
	Nº 10	2.000	29.18	0.95	1.95	98.05	% Arena fina 29.2
	Nº 16	1.190	192.68	6.31	8.26	91.74	% de Finos <b>36.1</b>
	Nº 20	0.840	160.64	5.26	13.52	86.48	D <sub>10</sub> = D <sub>e(mm)</sub> = 0.0208
	Nº 30	0.590	366.30	11.99	25.51	74.49	D <sub>30(mm)</sub> = 0.0623
	Nº 40	0.426	280.42	9.18	34.68	65.32	D <sub>60(mm)</sub> = 0.3189
	Nº 50	0.297	195.64	6.40	41.09	58.91	Cu = 15.35
	Nº 60	0.250	156.24	5.11	46.20	53.80	Cc = 0.59
	Nº 80	0.177	226.40	7.41	53.61	46.39	CLASIFICACION AASHTO <b>A-7-6 (4)</b> Clasificación SUCS <b>SC</b>
	Nº 100	0.149	55.26	1.81	55.42	44.58	
Nº 200	0.075	259.06	8.48	63.89	36.11	<b>ARENA ARCILLOSA</b>	
Fondo			-	63.89			
Lavado		1,103.2	36.11	100.00			
<b>TOTAL</b>		<b>3055.6</b>	<b>100.0</b>				

### CURVA GRANULOMÉTRICA



<b>LIMO Y ARCILLA</b>	<b>ARENA</b>			<b>GRAVA</b>		<b>BOLEOS/B LOQUES</b>
	<b>FINA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>GRUESA</b>	<b>FINA</b>	<b>GRUESA</b>	

# C - 1.3



## PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557, MTC E 115-2000)

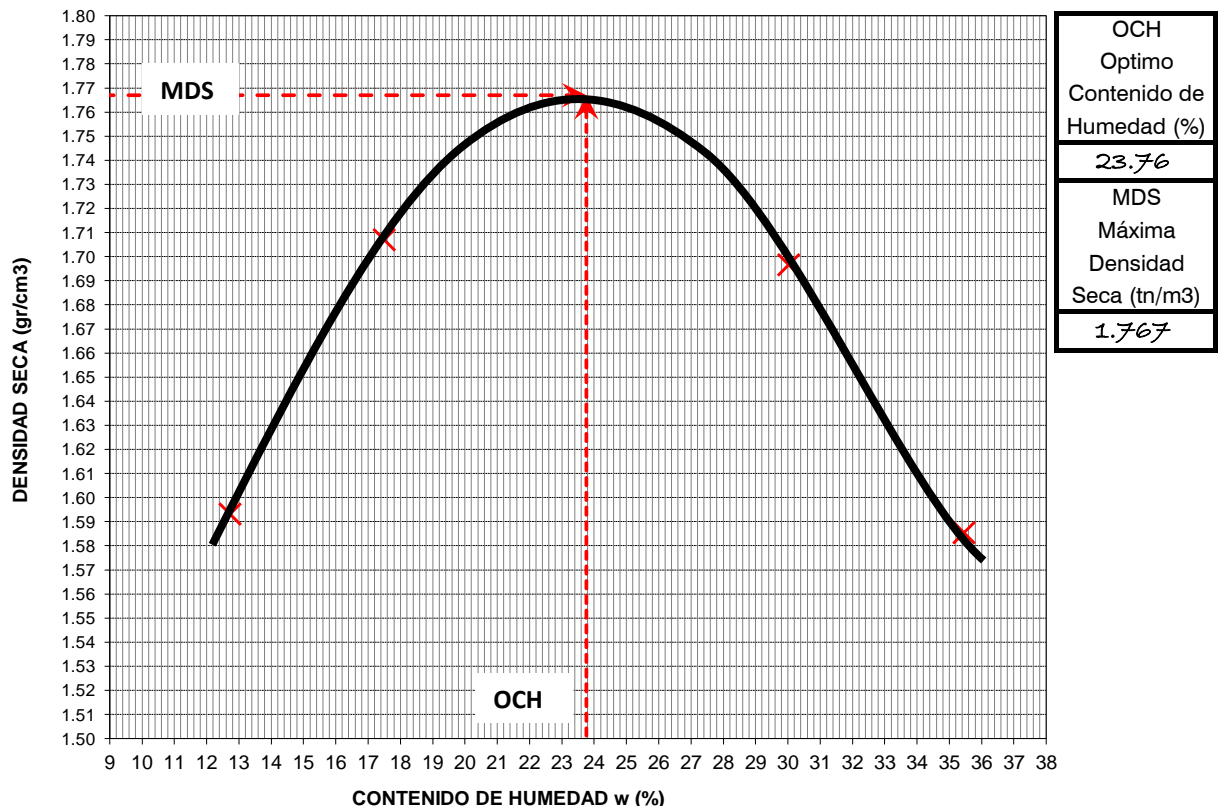
Proyecto	" MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE - 32A), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA, LOS MOROCHUCOS DE LA PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO".			
Solicitante	: HINOSGAR HINOSTROZA MOLINA	Región	: AYACUCHO	
Material	: MATERIAL SUB RASANTE KM 2+000	Provincia	: HUAMANGA - CANGALLO	
		Distrito	: CHIARA - LOS MOROCHUCOS	
Fecha	: MAYO DEL 2017	Lugar	: DESVIO TOCCTO - MOROCHUCOS	

DATOS DEL ENSAYO				
Clasificación SUCS :	SC	ARENA ARCILLOSA	METODO A	
Clasificación AASHTO :	A-7-6 (4)	Capas :	5.00	Golpes/Capa 25
% Retenido acumulado malla N° 4 :	0.4	Material Pasante a usar	PASA N° 4 "	
% Retenido acumulado malla 3/8" :	0.0	Molde (Pulg)	4	Codigo M3
% Retenido acumulado malla 3/4" :	0.0	Peso Molde (gr) :	4102.00	Volumen : 933.38

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Determinación N°		01	02	03	04	05
Peso del molde y muestra	gr	5,778.2	5,974.2	6,161.2	6,106.5	
Peso de la muestra compactada	gr	1,676.2	1,872.2	2,059.2	2,004.5	
Densidad húmeda	gr/cc	1.80	2.01	2.21	2.15	
<b>Densidad seca</b>	<b>gr/cc</b>	<b>1.59</b>	<b>1.71</b>	<b>1.70</b>	<b>1.59</b>	

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tarro N°		23.0	20.0	22.0	13.0	
Peso del tarro	gr	60.967	62.946	60.392	62.670	
Peso tarro + suelo húmedo	gr	65.22	66.84	72.43	74.36	
Peso de tarro + suelo seco	gr	64.74	66.26	69.65	71.30	
Peso del agua	gr	0.48	0.58	2.78	3.06	
Peso del suelo seco	gr	3.77	3.31	9.26	8.63	
<b>Contenido de humedad</b>	<b>%</b>	<b>12.72</b>	<b>17.50</b>	<b>30.03</b>	<b>35.46</b>	

### CURVA DE PROCTOR MODIFICADO



# C - 1.4



CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA  
**AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO**

<b>PARTE DE LA EXPLORACION</b>	<b>OBRA</b>	* MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ABRA TOCCTO - CONDORCCOCHA (RUTA NACIONAL PE - 32A), EN LOS DISTRITOS DE CHIARA, LOS MOROCHUCOS DE LA PROVINCIAS DE HUAMANGA Y CANGALLO DE LA REGION DE AYACUCHO*.
	<b>CALICATA</b>	: MATERIAL SUB RASANTE KM 2+000
	<b>LOCALIZACION</b>	: DESVIO TOCCTO - MOROCHUCOS
	<b>FECHA DE REALIZACION</b>	: 1 MAYO DEL 2017
	<b>UBICACION EXPLORAC.</b>	: DATUM WGS84 ZONA 18S E=588259 m N=8522184 m
	<b>SOLICITANTES</b>	: HINOSGAR HINOSTROZA MOLINA
	<b>TIPO DE EXCAVACION</b>	: MANUAL

<b>PROFUNDIDAD</b> :	1.50m	<b>COLUMNA</b>																														
<b>DESCRIPCION</b> :																																
<p>De 0.00m a 0.50m, terreno de cobertura de color negruzco expuesto al intemperismo, conformado por material orgánico, con presencia de raíces, material suelto y compresible, estrato no adecuado, estrato a eliminar.</p>		<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="5">C-1</th> </tr> <tr> <th>Escala. (m)</th> <th>Profundid. (m)</th> <th>Longitud Tramo (m)</th> <th>SIMBOLO GRAFICO</th> <th>Muestra Clasific. SUCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.20</td> <td rowspan="2">0.50</td> <td rowspan="2">0.50</td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2">M-1/E-1</td> </tr> <tr> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>0.60</td> <td rowspan="5">1.00</td> <td rowspan="5">1.00</td> <td rowspan="5"></td> <td rowspan="5">M-2/E-2 SC A-7-6 (4)</td> </tr> <tr> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>1.40</td> </tr> <tr> <td>1.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	C-1					Escala. (m)	Profundid. (m)	Longitud Tramo (m)	SIMBOLO GRAFICO	Muestra Clasific. SUCS	0.20	0.50	0.50		M-1/E-1	0.40	0.60	1.00	1.00		M-2/E-2 SC A-7-6 (4)	0.80	1.00	1.20	1.40	1.50				
C-1																																
Escala. (m)	Profundid. (m)	Longitud Tramo (m)	SIMBOLO GRAFICO	Muestra Clasific. SUCS																												
0.20	0.50	0.50		M-1/E-1																												
0.40																																
0.60	1.00	1.00		M-2/E-2 SC A-7-6 (4)																												
0.80																																
1.00																																
1.20																																
1.40																																
1.50																																
<b>NIVEL FREATICO</b> :	No se encontró a la profundidad de excavación.																															



# C - 1.5



OBTENCIÓN DE MUESTRA DEL MATERIAL SUB RASANTE



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

12.2.c. VALORACIÓN SUELOS SUCS

TABLA 12.9.

Principales divisiones	Letra	Nombre	Valor como terreno de apoyo 4	Valor como subbase 5	Valor como base 6	Acción potencial de la helada	Compresibilidad y expansión	Características de drenaje	Equipo de compactación	Peso unitario en seco en Tm/m <sup>3</sup>	CBR	Módulo k en Tm/m <sup>3</sup> y en lb/pulg <sup>3</sup>	
Suelos de grano grueso	2	3	7	8	9	10	11	12	13				
	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Excelente	Excelente	Bueno	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo onuga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero	2,00-2,24	40-80	5536-8304 200-300	
		Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo onuga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero	1,76-2,24	30-60	5536-8304 200-300	
	GP	d G M u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno	Ligera a media	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	2,00-2,32	40-60	5536-8304 200-300	
				Bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ligera	Pobre a prácticamente impermeable	1,84-2,16	20-30	2768-8304 100-300		
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ligera a media	Ligera	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	2,08-2,32	20-40	2768-5536 100-200	
			Bueno	Mediano a bueno	Pobre	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo onuga, rodillo de neumáticos	1,76-2,08	20-40	5536-8304 200-300	
	Suelos de grano fino	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino	Mediano a bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo onuga, rodillo de neumáticos	1,68-2,16	10-40	5536-8304 200-300
				Mediano a bueno	Mediano a bueno	Pobre	Ligera a alta	Muy ligera	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,92-2,16	15-40	5536-8304 200-300
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Mediano	Pobre a mediano	No conveniente	Ligera a alta	Ligera a media	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,60-2,08	10-20	2768-5536 100-200
Pobre a mediano				Pobre	No conveniente	Ligera a alta	Ligera a media	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,60-2,16	5-20	2768-8304 100-300	
Suelos de grano fino	ML	Limos inorgánicos	Pobre a mediano	No conveniente	No conveniente	Media a muy alta	Ligera a media	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,44-2,08	15 ó menos	2768-5536 100-200	
			Pobre a mediano	No conveniente	No conveniente	Media a alta	Media	Prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,44-2,08	15 ó menos	1384-5536 50-200	
	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad	Pobre	No conveniente	No conveniente	Media a alta	Media a alta	Pobre	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,44-1,68	5 ó menos	1384-2768 50-100	
			Pobre	No conveniente	No conveniente	Media a muy alta	Alta	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,28-1,68	10 ó menos	1384-2768 50-100	
Suelos altam. orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	No conveniente	No conveniente	No conveniente	Media	Alta	Prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,44-1,84	15 ó menos	1384-5536 50-200	
			No conveniente	No conveniente	No conveniente	Media	Alta	Prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,28-1,76	5 ó menos	692-2768 25-100	

NOTAS. 1. Columna 2. La división de los grupos GM y SM en las subdivisiones d y u se basa en los límites de Atterberg, el sufijo d se usará cuando el límite líquido es 25 ó menor y el índice de plasticidad es 5 ó menor ; el sufijo u en caso contrario. 2. Columna 11. Los pesos unitarios en seco son para suelos compactados al óptimo contenido de humedad en el esfuerzo requerido por el Proctor modificado.

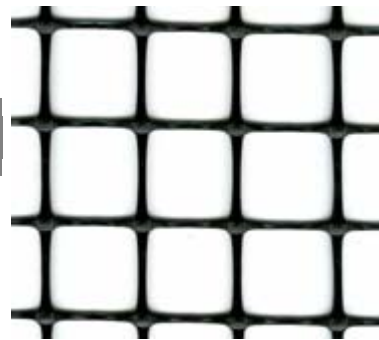
# MacGrid<sup>®</sup> EGB 20

C - 1.7

## Geomalla Biaxial Extruida

### Características técnicas

MacGrid<sup>®</sup> 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) <sup>(1)</sup>	mm		38
Abertura nominal de la malla transversal (TD) <sup>(1)</sup>	mm		36
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/deg	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  $\pm 2$ mm.

Los datos técnicos e informaciones indicadas en la presente hoja técnica están basados en la más recientes informaciones disponibles y pueden estar sujetas a variaciones, debido a modificaciones de los procesos productivos y de la política comercial.

# MacGrid<sup>®</sup> EGB 30

C - 1.8

## Geomalla Biaxial Extruida

### Características técnicas

MacGrid<sup>®</sup> 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) <sup>(1)</sup>	mm		36
Abertura nominal de la malla transversal (TD) <sup>(1)</sup>	mm		38
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Propiedades Mecánicas	Unidades	Ensayo	EGB 30
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	kN/m	ASTM D 6637	30.0
Resistencia transversal a la tracción (TD)	kN/m	ASTM D 6637	30.0
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	10.5
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	10.5
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	21.0
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	21.0
Eficiencia de las juntas	%	GRI GG2	93
Rigidez Flexural	mg-cm	ASTM D 1388	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 Aperturas	m-N/deg	COE Method	1.40

Presentación del Rollo	Unidades	Ensayo	EGB 30
Ancho del rollo	m		3.95
Largo del rollo	m		50

(1) La tolerancia de las dimensiones de la abertura es de  $\pm 2$ mm.

Los datos técnicos e informaciones indicadas en la presente hoja técnica están basados en la más recientes informaciones disponibles y pueden estar sujetas a variaciones, debido a modificaciones de los procesos productivos y de la política comercial.

# MacGrid<sup>®</sup> EGB 40

C - 1.9

## Geomalla Biaxial Extruida

### Características técnicas

MacGrid<sup>®</sup> 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) <sup>(1)</sup>	mm		34
Abertura nominal de la malla transversal (TD) <sup>(1)</sup>	mm		36
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Propiedades Mecánicas	Unidades	Ensayo	EGB 40
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	kN/m	ASTM D 6637	40.0
Resistencia transversal a la tracción (TD)	kN/m	ASTM D 6637	40.0
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	14.0
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	14.0
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	28.0
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	28.0
Eficiencia de las juntas	%	GRI GG2	93
Rigidez Flexural	mg-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/deg	COE Method	2.10

Presentación del Rollo	Unidades	Ensayo	EGB 40
Ancho del rollo	m		3.95
Largo del rollo	m		50

(1) La tolerancia de las dimensiones de la abertura es de  $\pm 2$ mm.

Los datos técnicos e informaciones indicadas en la presente hoja técnica están basados en la más recientes informaciones disponibles y pueden estar sujetas a variaciones, debido a modificaciones de los procesos productivos y de la política comercial.

**MACCAFERRI****LISTA DE PRECIOS GEOSINTÉTICOS MACCAFERRI**

(Actualizada al 11 febrero 2014)

MACDRAIN (Brasil)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
MacDrain 2L 20.2	1x30 / 2x30		6.35	6.23	6.16	6.03
MacDrain 2S 20.2	2x30		8.38	8.21	8.13	7.96
MacDrain TD 20.2	1x30 / 2x30		7.09	6.95	6.87	6.73
MacDrain FP 2L 20.2	1x30 / 2x30		6.72	6.59	6.52	6.38
MacDrain J 20.1	1x30 / 2x30		5.15	5.04	4.99	4.89
MacDrain TD 20.2	1,40x30		7.98	7.82	7.74	7.58
MACDRAIN R (Skaps)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
MacDrain 2R 55 40.1	3,81x76,20	290.32	5.31	5.20	5.15	5.04
MacDrain 2R 55 50.1	3,81x70,10	267.08	5.87	5.75	5.69	5.58
MACNET (Brasil - Skaps)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
MacNet 04 10	2,50x50	125	2.80	2.74	2.72	2.66
MacNet 05 10	2,50x50	125	3.32	3.25	3.22	3.15
MacNet 55	3,81x91,44	348.39	3.45	3.38	3.35	3.28
MACMAT (Brasil)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
MacMat L 10.1	2x50	100	3.79	3.71	3.68	3.60
MacMat R 6/2.20 Galfan+PVC	2x25	50	9.90	9.70	9.60	9.41
MacMat R 8/2.70 Galfan+PVC	2X25	50	11.34	11.11	11.00	10.77
MACLINE (PQA)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
MacLine SDH 050	7x400	2800	1.55	1.52	1.50	1.47
MacLine SDH 075	7x270	1890	2.31	2.26	2.24	2.19
MacLine SDH 100	7x200	1400	3.08	3.02	2.99	2.93
MacLine SDH 150	7x135	945	4.61	4.52	4.47	4.38
MacLine SDH 200	7x100	700	6.16	6.04	5.98	5.85
MACLINE (PQA)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
MacLine TMH 150	7x120	840	5.08	4.98	4.93	4.83
MacLine TMH 200	7x90	630	6.79	6.65	6.59	6.45
MacLine TDH 150	7x110	770	5.32	5.21	5.16	5.05
MacLine TDH 200	7x80	560	6.80	6.66	6.60	6.46
MACLINE GCL (Laviosa)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
GCL W44 4.2	5x45	225	6.46	6.33	6.27	6.14
MACGRID WG (China - ACE) - UNIAXIAL			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
WG 60X30	3,90X100	390	1.88	1.84	1.82	1.79
WG 90X30	3,90X100	390	2.15	2.11	2.09	2.04
WG 120X30	3,90X100	390	2.55	2.50	2.47	2.42
WG 150X30	3,90X100	390	2.93	2.87	2.84	2.78
WG 200X30	3,90X100	390	3.53	3.46	3.42	3.35
WG 300X30	3,90X50	195	5.24	5.13	5.08	4.98
WG 400X30	3,90X50	195	6.81	6.68	6.61	6.47
PARAWEB (LINEAR INDIA - MACCAFERRI)			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	ml.	US\$ / ml.	US\$ / ml.	US\$ / ml.	US\$ / ml.
Paraweb 2D 30 kN	8,3cm x100m	8.3	0.62	0.61	0.60	0.59
Paraweb 2D 40 kN	8,3cm x100m	8.3	0.77	0.75	0.74	0.73
Paraweb 2D 50 kN	9,0cm x100m	9.0	0.93	0.92	0.91	0.89
Paraweb 2D 75 kN	9,0cm x100m	9.0	1.17	1.14	1.13	1.11
Paraweb 2D 100 kN			1.56	1.53	1.52	1.49
MACGRID EGB (TAIAN) - BIAxIAL			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
EGB 15	3,95X50	197.5	0.84	0.82	0.81	0.80
EGB 20	3,95X50	197.5	1.25	1.22	1.21	1.19
EGB 30	3,95X50	197.5	1.77	1.74	1.72	1.69
EGB 40	3,95X50	197.5	2.61	2.56	2.54	2.48
MACGRID EGB (TAIAN) - BIAxIAL			PRECIO DE VENTA	PL-2%	PL-3%	PL-5%
Material	Rollos (m)	m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2	US\$ / m2
AR 5.7		200	1.13	1.11	1.10	1.08
AR 10.7	4x100	400	1.66	1.63	1.61	1.58

# C - 1.11

30/7/2017

Gmail - cotizacion



Hinosgar A. Hinostroza Molina <hinosgar.hm@gmail.com>

## cotizacion

1 mensaje

Hinosgar A. Hinostroza Molina <hinosgar.hm@gmail.com>  
Para: "Hinosgar A. Hinostroza Molina" <hinosgar.hm@gmail.com>

30 de julio de 2017, 19:45

Juan Ruiz <juan.ruiz@maccaferri.com.pe>

21 jul. (hace 9 días)

para mí, maphoovao, Luz, Elizabeth

Estimado Hinosgar

Buenas tardes, adjunto la cotización solicitada. Tal como conversamos vía telefónica.

Favor de depositar para realizar la gestión de despacho ya que como le mencione, podría tomar unas semanas gestionar las mensionas que requiere. Enviarnos el voucher a la brevedad posible.

Saludos cordiales,

**Arq. Juan Ruiz Vera**  
Departamento Comercial  
Sucursal Lima  
Maccaferri de Perú

Tel.: +51 2011060

Cel.: +51 941543994

www.maccaferri.com.pe

**MACCAFERRI**



/maccaferri



@Maccaferri\_BR



/maccaferriatriz



+MaccaferriWorld



/maccaferriworld

Antes de imprimir, piense en el medio ambiente. En este e-mail y en cualquier anexo en él contenido pueden constar informaciones sigilosas o confidenciales protegidas por ley. El uso del presente e-mail es destinado exclusivamente al(los) destinatario(s), siendo prohibida la divulgación de esta comunicación, aún que parcialmente, sin la previa autorización del remitente. Si usted recibió esta mensaje por error, por favor comuníquelo al remitente, respondiendo al e-mail y, posteriormente, apáguelo. SECI SpA y las empresas que pertenecen al Grupo Maccaferri no se responsabilizan por el contenido y anexos de este e-mail, ni por cualquier eventual interceptación, modificación o daños causados a terceros.

Antes de imprimir, pense no meio ambiente. Este e-mail e qualquer anexo nele contido podem trazer informações sigilosas ou confidenciais protegidas por lei. O uso do presente e-mail é destinado exclusivamente ao(s) destinatário(s), sendo proibida a divulgação desta comunicação, mesmo que parcialmente, sem prévia autorização do remetente. Se você recebeu esta mensagem por engano, por favor, comunique o remetente, respondendo ao e-mail e, após, apague-o. SECI SpA e as empresas pertencentes ao Grupo Maccaferri não se responsabilizam



**PUCP**

HINOSGAR ALEXSANDROVICH HINOSTROZA MOLINA <h.hinostroza@pucp.edu.pe>

## Re: [26-06-2017] Licence: Educational license

3 mensajes

Plaxis bv <sales@plaxis.com>  
Para: Hinosgar <h.hinostroza@pucp.pe>

27 de junio de 2017, 2:54

Dear Hinosgar,

Please find attached our price list for academics.

For students we offer the following rental prices:

3D educational licenses:

One month rental €600  
Three month rental €1,200  
One year rental €2,400

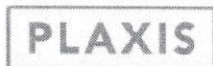
D educational licenses:

One month rental €225  
Three month rental €450  
One year rental €900

All educational licenses include all available modules.

We don't have any free licenses but you can request the PLAXIS Introductory here:  
<https://www.plaxis.com/free-demo/>

Kind regards,  
Michael Andriessen



Plaxis bv | Sales & Marketing  
P.O. Box 572 | 2600 AN Delft | The Netherlands  
Tel: +31 (0)15 251 7740 | Fax: +31 (0)15 2573 107

Follow us:

On 26 June 2017 at 19:27, Plaxis <noreply@plaxis.com> wrote:

### Contact details

Subject: Educational license  
Name: Hinosgar  
Company: PUCP  
E-mail address: h.hinostroza@pucp.pe

### Question / remarks

Good morning I am a student of civil engineering, I am currently in the development of an investigation and I am in need of having the program 2D for plaxis, I would like to know if you can provide me an educational license because I do not have the resources to Acquire the program. Thank you in advance for your kind cooperation, hoping to provide me the information thanks.

### Pricelist PLAXIS Software

Valid until 30 November 2017



Educational Licence				
Subscription <sup>1</sup> Annual fee	Flexible <sup>2</sup> Network 1 user	Network <sup>2</sup> 10 users	Network <sup>2</sup> 25 users*	PLAXIS VIP <sup>2</sup> Annual fee

PLAXIS 3D Suite (incl. PLAXIS 3D, 3D Dynamics, and 3D PlaxFlow)					
3D Suite	€ 2,400	€ 8,000	€ 12,000	€ 16,000	€ 1,200

PLAXIS 2D Suite (incl. PLAXIS 2D, 2D Dynamics, 2D PlaxFlow and 2D Thermal)					
2D Suite	€ 900	€ 3,000	€ 6,000	€ 9,000	€ 450

<sup>1</sup> Includes complementary PLAXIS VIP benefits, 1 flexible user licence.  
<sup>2</sup> One year PLAXIS VIP is compulsory with Flexible and Network licence purchases.  
 \* A 25 users network version also includes one flexible licence for professor or PhD.

For questions, please contact us at [sales@plaxis.com](mailto:sales@plaxis.com).  
 Prices are valid for purchase of the latest version of PLAXIS software only.  
 Shipment will be executed upon receipt of payment and signed EULA and PLAXIS VIP confirmation letter.

# C - 1.14

30/7/2017

Correo de Pontificia Universidad Católica del Perú - Re: [26-06-2017] Licence: Educational license

 **Pricelist Euros 2017 Educational.pdf**  
418K

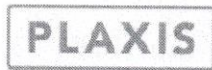
**Plaxis bv** <sales@plaxis.com>  
Para: Hinosgar <h.hinostroza@pucp.pe>

11 de julio de 2017, 3:45

Dear Hinosgar,

Do you wish to order a rental license?

Kind regards,  
Michael Andriessen



Plaxis bv | Sales & Marketing  
P.O. Box 572 | 2600 AN Delft | The Netherlands  
Tel: +31 (0)15 251 7740 | Fax: +31 (0)15 2573 107

Follow us:   

[El texto citado está oculto]

**Plaxis bv** <sales@plaxis.com>  
Para: Hinosgar <h.hinostroza@pucp.pe>

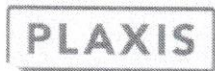
25 de julio de 2017, 6:25

Dear Hinosgar,

Can you please let me know if the rental license is an option for you?

Kind regards,  
Michael Andriessen

*Plaxis bv, Sales Administration*



Plaxis bv | Sales & Marketing  
P.O. Box 572 | 2600 AN Delft | The Netherlands  
Tel: +31 (0)15 251 7740 | Fax: +31 (0)15 2573 107

Follow us:   

[El texto citado está oculto]