



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



## TESIS

---

**“ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE COSTOS EN OBRAS VIALES MEDIANTE OPTIMIZACIONES DE INGENIERÍA EN LOS DISEÑOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES: CASO DE ESTUDIO, OBRA MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CU-110 “HUAROCONDO – PACHAR”, UBICADO EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y OLLANTAYTAMBO, PROVINCIAS DE ANTA Y URUBAMBA, REGIÓN CUSCO”**

---

**Presentado por los bachilleres:**

AGUIRRE ZÚÑIGA, Cesar Luis

FLÓREZ ROJAS, José Diego

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

Asesor:

MGT. ING. CARMEN CECILIA GIL RODRÍGUEZ

CUSCO – PERÚ

2016



## DEDICATORIA

*A Dios, por bendecirme con la vida, por haberme dado las fuerzas para vivirla, las ganas para disfrutarla y los retos para valorarla.*

*A mis padres Carmen del Roció Zúñiga y Cesar Fernando Aguirre por darme la vida y apoyo para así demostrarles lo orgullosos que podrían estar al haber confiado en mí, Pero especialmente a mi madre esa fuerte mujer que lucho incansablemente para poder ver a sus hijos salir adelante y que por sí misma forjo un futuro diferente para mí,*

*A mis hermanos, Jaqueline, Estefani, Mariela y Verónica, por estar conmigo apoyarme en las decisiones que tome.*

*A mi Madre Aidé Góngora, por su infinito amor, tenacidad y perseverancia.*

*A mis amigos, Diego Flórez, Gonzalo Gamarra, Jean Franco García, Américo Arriaga por su amistad sincera e incondicional.*

*A la mujer de mi vida Shadira Durand, por el amor que le tengo, la dulzura que me demuestra con su existencia, y todo el apoyo que me brinda día a día.*

*Y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.*

*¡Gracias de todo Corazón!*

*Cesar Luis Aguirre Zúñiga*



## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mis padres José Amílcar y Marianela por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron. Papá gracias por tus consejos, tus valores por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. Mamá gracias por los ejemplos de perseverancia y constancia que te caracterizan y que has infundado siempre en mí por el valor mostrado para salir adelante.  
Pero más que nada, por su amor, todo esto se lo debo a ustedes.*

*A mis hermanos, José Gonzalo y Camila, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.*

*A mi tío Klever, a mi tía Roció y mi tía Fela, por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.*

*A todos mis amigos, Arturo Fernández, Jorge Luza, Cesar Aguirre, Lucia Suarez, Edouard Huamán, por todos los buenos y malos momentos.*

*Y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.*

*¡Gracias a ustedes!*

*José Diego Flórez Rojas*



### **AGRADECIMIENTO**

*A nuestra querida universidad por la formación que nos dio una guía en el camino del saber, a todas aquellas personas involucradas en nuestra formación profesional, y todas aquellas personas nos ayudaron a culminar la presente investigación.*

*Nuestros sinceros agradecimientos están dirigidos hacia la Mgt. Ing. Carmen Cecilia Gil Rodríguez nuestra asesora que nos ayudó en todo momento desinteresadamente para alcanzar con éxito el desarrollo de este la presente Tesis.*

*Cesar Luis Aguirre Zúñiga*

*José Diego Flórez Rojas*



## RESUMEN

El presente trabajo analiza el uso de geomallas (tipo de geosintéticos), como refuerzo de bases granulares dentro de la estructura de pavimento flexible. De esta manera busca determinar si son una alternativa viable para la reducción de costos frente a un diseño pavimentos flexibles convencional, manteniendo las propiedades estructurales planteados en el diseño inicial, Con este propósito se realizaron 2 alternativas de diseño bajo los mismos parámetros del diseño inicial plasmados en el Expediente Técnico Aprobado: la primera alternativa es un diseño convencional o no reforzado conformado por 3 capas (Base, Subbase y Carpeta Asfáltica); mientras que la siguiente alternativa de diseño consisten en el refuerzo de la capa de base con geomallas biaxiales, en ambos casos se omite la construcción de la capa de mejoramiento de subrasante debido a que los CBR característicos de cada tramo son mayores a 6%.

Los diseños alternativos propuestos nos obligan a conocer las propiedades de las geomallas, por eso se hizo una recopilación de la clasificación de las mismas y se mostraron sus aplicaciones típicas. También se muestran los mecanismos de refuerzo y los beneficios varios derivados del uso de geomallas dentro de las estructuras de pavimento.

Con esta información como base se procedió a elaborar al diseño de las estructuras de pavimentos para 31 diferentes secciones subdivididas en función a su CBR. Esto permitió hacer un análisis más completo de los diferentes factores que influyen en el resultado final obtenido con el uso de las Geomallas como refuerzo de bases granulares; y encontrar las condiciones en donde esta alternativa da un mejor resultado de costo-beneficio para el proyecto en análisis. Por último, se hace la recopilación de un modelo de especificación técnica, elaborada en función a los lineamientos de las especificaciones generales presentadas por el MTC (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES), que puede servir para su inclusión dentro de los procesos constructivos de otros proyectos a nivel nacional.



## **ABSTRACT**

This investigation analyzes the use of geosynthetics, specifically geogrids as reinforcement for granular bases within the structure of flexible pavement. In this way it seeks to determine whether they are an economically and viable alternative maintaining the capacity of the proposed project. For this purpose two design alternatives under the same parameters of the initial design embodied in the Approved Technical File were made: the first alternative is a conventional design of a flexible pavement with 3 layers (Base, Subbase and Folder Asphalt); while the next alternative design consist strengthening the base layer with biaxial geogrids, in both cases the construction of the enhancement layer of subgrade is omitted because the characteristic CBR of each section are greater than 6%.

Then for the alternative designs it is necessary to know the properties of geogrids, so a classification of these and their typical applications are shown. Strengthening mechanisms related to the use of geogrids in pavement structures and benefits of its application they were also described.

Design methodologies that were used for this case and the investigations that led to obtain the factors involved in the design of geogrid reinforced sections were collected.

With this information as a basis we proceeded to design pavement structures for 31 different sections subdivided based on their CBR. This allowed us a more complete analysis of the different factors that influence the final result obtained with the use of geogrids as reinforcement of granular bases; and find the conditions in which this alternative gives a better result of cost analysis for the project. Finally, the compilation of a technical specification model, developed according to the guidelines of the general specifications submitted by the MTC (MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS), which can serve for inclusion within the construction processes of other projects nationwide.



## INTRODUCCIÓN

En el Perú la forma más utilizada de transporte es el terrestre. Dentro de esta modalidad están las vías de tránsito vehicular cada una jerarquizada y clasificada por el MTC el cual en trabajo con organismos del estado de acuerdo a su jurisdicción se encargan de su construcción, mantenimiento y operación, de esta manera las carreteras permiten optimizar costos y tiempos de recorrido de los usuarios finales siempre y cuando estas se encuentre en óptimos niveles de servicio. Es en donde un buen diseño toma un gran rol debido a que es necesario garantizar el correcto desempeño de la estructura durante el tiempo de vida para el que fue diseñado.

La optimización de ingeniería consiste en una revisión completa de todos los elementos del diseño del proyecto de manera que estos se hayan hecho en concordancia a los principios de la ingeniería (economía, eficacia, calidad y durabilidad), adicionalmente se hace una revisión completa a nivel del análisis de precios unitarios en el presupuesto general de obra identificando las actividades de ingeniería que involucran más gasto presupuestal, con este análisis se proponen los cambios en los diseños iniciales para economizar en las partidas más relevantes del proyecto que en este caso es el del diseño de pavimento por tramos tomando en cuenta la heterogeneidad del CBR que presenta a lo largo del trazado del eje principal.

En este sentido la presente investigación se centra el análisis de la ingeniería del proyecto de la obra Mejoramiento de la Carretera Cu-110 “Huarcocondo – Pachar”, de forma que haciendo cambios en esta se puedan optimizar los costos finales de obra, haciendo uso de geomallas como refuerzo en la estructura del pavimento.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
INTRODUCCIÓN .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.1.2.    FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA .....	16
1.2.        JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
1.2.1.    JUSTIFICACIÓN TÉCNICA .....	17
1.2.2.    JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....	18
1.2.3.    JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD .....	18
1.2.4.    JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA .....	19
1.3.        LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
1.3.1.    LIMITACIONES DE LUGAR .....	19
1.3.2.    LIMITACIONES DE MATERIALES .....	19
1.3.3.    LIMITACIONES DE DISEÑO .....	20
1.4.        OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.4.1.    OBJETIVO GENERAL .....	20
1.4.2.    OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	20
1.5.        HIPÓTESIS .....	21
1.5.1.    HIPÓTESIS GENERAL .....	21
1.5.2.    SUB-HIPÓTESIS .....	22
1.6.        DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	23
1.6.1.    VARIABLES INDEPENDIENTES .....	23
1.6.2.    VARIABLES DEPENDIENTES .....	23
1.6.3.    INDICADORES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES .....	24





1.6.4. INDICADORES DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES .....24

1.6.5. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....25

CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....26

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL.....26

2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL .....26

2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....27

2.2. BASES TEÓRICO CONCEPTUALES .....28

2.2.1. ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO .....28

2.2.2. USO DE GEOMALLAS COMO REFUERZO DE PAVIMENTOS.....33

2.2.3. COSTOS EN CARRETERAS .....46

2.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO RELACIONADOS AL ANÁLISIS.....51

2.2.5. METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....54

CAPITULO III: METODOLOGÍA .....78

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....78

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....78

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....78

3.1.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....79

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....79

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO .....79

3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA .....80

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....81

3.3.1. POBLACIÓN.....81

3.3.2. MUESTRA .....81

3.3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....84

3.4. INSTRUMENTOS.....84

3.4.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....84

3.4.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA .....87

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....87

3.5.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES AASHTO 93.....87

3.5.2. METRADOS .....89

3.5.3. PRESUPUESTOS DE OBRA .....91

3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS .....92

3.6.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES AASHTO 93.....94



3.6.2. METRADOS ..... 140

3.6.3. PRESUPUESTOS DE OBRA ..... 148

CAPITULO IV: RESULTADOS ..... 156

4.1. COMPARACIÓN TÉCNICA ..... 156

4.1.1. NUEVOS ESPESORES DE DISEÑO ..... 156

4.1.2. METRADOS ..... 163

4.2. COMPARACIÓN ECONÓMICA ..... 167

4.3. PROPUESTA DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ..... 169

CAPITULO V: DISCUSIÓN ..... 170

GLOSARIO ..... 174

CONCLUSIONES ..... 179

RECOMENDACIONES ..... 182

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 185

ANEXOS ..... 186

**ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 1 CATEGORÍAS DE SUBRASANTE ..... 31

TABLA 2 VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR EN SUB-BASE GRANULAR ..... 32

TABLA 3 VALOR RELATIVO DE SOPORTE, CBR EN BASE GRANULAR ..... 32

TABLA 4 PROPIEDADES DE LA GEOMALLA BIAIXIAL QUE AFECTAN SU COMPORTAMIENTO ..... 40

TABLA 5 NIVELES RECOMENDADOS DE CONFIABILIDAD (R) ..... 56

TABLA 6 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL SO ..... 56

TABLA 7 VALOR DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL ZR EN FUNCIÓN DE LA CONFIABILIDAD “SO” ..... 57

TABLA 8 LINEAMIENTOS DE DURACIÓN DEL PERIODO DE ANÁLISIS ..... 58

TABLA 9 ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ... 61

TABLA 10 DIFERENCIAS EN LA CALIDAD DEL DRENAJE DE LA ESTRUCTURA ..... 65

TABLA 11 DIFERENCIAS EN LA CALIDAD DEL DRENAJE DE LA ESTRUCTURA ..... 66



TABLA 12 APLICABILIDAD O NO DEL USO DE GEOSINTÉTICOS ..... 71

TABLA 13 BENEFICIOS A LOGRARSE CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS ..... 73

TABLA 14 CUADRO RESUMEN Nº 1 PARÁMETROS FÍSICOS MECÁNICOS DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA..... 83

TABLA 15 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO ..... 85

TABLA 16 REPORTE DE NUEVOS ESPESORES DEL DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO..... 86

TABLA 17 ANÁLISIS DEL PERIODO DE DISEÑO ..... 88

TABLA 18 SUBDIVISIÓN DE TRAMOS EN FUNCIÓN A LA CARACTERIZACIÓN DE CBR..... 89

TABLA 19 PARTIDAS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO DE OBRA EN EL QUE LOS METRADOS SERÁN MODIFICADOS..... 90

TABLA 20 PRECIOS UNITARIOS INCLUIDOS EN EL ANÁLISIS ECONÓMICO..... 92

TABLA 21 PRESUPUESTO TOTAL DE LA OBRA MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CU-110 “HUAROCONDO - PACHAR” ..... 93

TABLA 22 AFORO VEHICULAR Y TRAFICO PROYECTADO ..... 94

TABLA 23 CÁLCULO DE W18 DE DISEÑO..... 95

TABLA 24 OBTENCIÓN DE LA PÉRDIDA DE SERVICIABILIDAD..... 97

TABLA 25 COEFICIENTES DE SN PARA CADA UNA DE LAS SECCIONES ANALIZADAS ..... 98

TABLA 26 DISEÑO DEL TRAMO CRÍTICO PARA COMPROBACIÓN DE ESAL DE DISEÑO ..... 99

TABLA 27 DATOS DEL DISEÑO CRÍTICO PARA COMPROBACIÓN DE ESAL DE DISEÑO..... 99

TABLA 28 CÁLCULO DE MÓDULOS DE RESILIENCIA A PARTIR DE CBR DE SUBRASANTE ..... 101

TABLA 29 ESPESORES EQUIVALENTES DE BASES REFORZADAS CON GEOMALLAS BIAXIALES ..... 106

TABLA 30 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 0+000 – 0+250 ..... 107

TABLA 31 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 0+250 – 0+500 ..... 108

TABLA 32 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 0+500 – 2+000 ..... 109

TABLA 33 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 2+000 – 2+500 ..... 110

TABLA 34 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 2+500 – 3 +500 ..... 111



TABLA 35 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 3+500 – 4+250 ..... 112

TABLA 36 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 4+250 – 4+750 ..... 113

TABLA 37 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 4+750 – 5+000 ..... 114

TABLA 38 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 5+000 – 6+000 ..... 115

TABLA 39 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 6+000 – 6+250 ..... 116

TABLA 40 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 6+250 – 6+750 ..... 117

TABLA 41 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 6+750 – 7+250 ..... 118

TABLA 42 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 7+250 – 8+000 ..... 119

TABLA 43 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 8+000 – 9+250 ..... 120

TABLA 44 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 9+250 – 9+500 ..... 121

TABLA 45 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 9+500 – 10+000 ..... 122

TABLA 46 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 10+000 – 10+750 ..... 123

TABLA 47 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 10+750 – 11+750 ..... 124

TABLA 48 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 11+750 – 12+000 ..... 125

TABLA 49 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 12+000 – 12+500 ..... 126

TABLA 50 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 12+500 – 14+500 ..... 127

TABLA 51 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 14+500 – 15+250 ..... 128

TABLA 52 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 15+250 – 15+500 ..... 129

TABLA 53 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 15+500 – 15+750 ..... 130

TABLA 54 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 15+750 – 17+250 ..... 131

TABLA 55 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 17+250 – 18+000 ..... 132

TABLA 56 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 18+000 – 18+250 ..... 133

TABLA 57 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 18+250 – 18+500 ..... 134

TABLA 58 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 18+500 – 18+750 ..... 135

TABLA 59 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 18+750 – 19+000 ..... 136

TABLA 60 REPORTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 19+000 – 19+250 ..... 137



TABLA 61 ESPESORES NO REFORZADOS OBTENIDOS ..... 138

TABLA 62 ESPESORES OBTENIDOS DEL REFUERZO DE BASES GRANULARES EMPLEANDO GEOMALLAS..... 138

TABLA 63 CÁLCULO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA TOTALES PARA SUBBASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO..... 141

TABLA 64 CALCULO DE LAS PARTIDAS QUE INTERVIENEN EN LA CONFORMACIÓN DE SUBBASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO ..... 142

TABLA 65 CALCULO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA TOTAL PARA BASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO..... 142

TABLA 66 PARTIDAS QUE INTERVIENEN EN LA CONFORMACIÓN DE SUBBASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO..... 143

TABLA 67 CÁLCULO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA TOTAL PARA SUBBASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS ..... 143

TABLA 68 CALCULO DE LAS PARTIDAS QUE INTERVIENEN EN LA CONFORMACIÓN DE SUBBASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS..... 144

TABLA 69 CALCULO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA TOTAL PARA BASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS ..... 144

TABLA 70 PARTIDAS QUE INTERVIENEN EN LA CONFORMACIÓN DE SUBBASE DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS ..... 145

TABLA 71 NUEVOS METRADOS DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO..... 145

TABLA 72 NUEVOS METRADOS DISEÑO AASHTO 93 OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS ... 146

TABLA 73 PRESUPUESTO DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO..... 149

TABLA 74 PRESUPUESTO DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS TENSAR BX – 1100..... 152

TABLA 75 ESPESORES OBTENIDOS PARA CADA CASO DE DISEÑO ..... 156

TABLA 76 ESPESORES TOTALES DE LOS DISEÑOS DE PAVIMENTO FLEXIBLES ..... 161

TABLA 77 PARTIDAS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO DE OBRA OMITIDAS EN EL ANÁLISIS DE COSTOS PARA LOS NUEVOS DISEÑOS..... 164

TABLA 78 METRADOS NUEVOS DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO..... 164

TABLA 79 METRADOS NUEVOS DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS ..... 166



TABLA 80 CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS FINALES DE CONSTRUCCIÓN..... 168

TABLA 81 AHORRO FINAL PORCENTUAL EN ALTERNATIVAS DE DISEÑO ..... 168

**ÍNDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1 SECCIÓN TÍPICA DE UN PAVIMENTO .....29

FIGURA 2 MECANISMO DE CONFINAMIENTO LATERAL .....36

FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE CONFINAMIENTO.....37

FIGURA 4 MECANISMO DE MEJORAMIENTO DE CAPACIDAD DE SOPORTE .....37

FIGURA 5 EFECTO DE ZAPATO DE NIEVE .....38

FIGURA 6 EFECTO DE MEMBRANA TENSIONADA .....38

FIGURA 7 FORMA DE LAS ABERTURAS DE LAS GEOMALLAS BIAXIALES .....39

FIGURA 8 DIFERENCIAS EN LA DISPOSICIÓN DE LAS COSTILLAS ENTRE LAS GEOMALLAS MULTIAXIALES Y BIAXIALES.....41

FIGURA 9 FORMA DE LAS ABERTURAS DE LA NUEVA GEOMALLA MULTIAXIAL.....42

FIGURA 10 FORMA DE LAS JUNTAS EN LAS GEOMALLAS BIAXIALES Y MULTIAXIALES.....43

FIGURA 11 ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN RADIAL DE ESFUERZOS LOGRADA CON LA GEOMALLA MULTIAXIAL, .....44

FIGURA 12 NOMOGRAMA PARA LA OBTENCIÓN DEL SN.....62

FIGURA 13 OBTENCIÓN DE COEFICIENTE A1 .....63

FIGURA 14 OBTENCIÓN DE COEFICIENTE A2.....64

FIGURA 15 OBTENCIÓN DE COEFICIENTE A3.....64

FIGURA 16 EQUIVALENTES DE BASES REFORZADAS CON GEOMALLAS.....76

FIGURA 17 DISEÑO DE ESPESORES INICIALES PARA LA OBRA MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CU-110 “HUAROCONDO – PACHAR .....93

FIGURA 18 CLASIFICACIÓN VEHICULAR EXPRESADOS EN PORCENTAJE .....95

FIGURA 19 CLASIFICACIÓN VEHICULAR EN EJES EXPRESADOS EN PORCENTAJE .....95



FIGURA 20 CÁLCULO DEL COEFICIENTE A2 DE BASE PARA EL CASO DE ESTUDIO..... 102

FIGURA 21 CÁLCULO DEL COEFICIENTE A3 DE SUB-BASE PARA EL CASO DE ESTUDIO ..... 103

FIGURA 22 CAMBIOS EN LOS ESPESORES DE DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO ..... 139

FIGURA 23 CAMBIOS EN LOS ESPESORES DE DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS..... 139

FIGURA 24 DIFERENCIA DE METRADOS DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO – DISEÑO INICIAL..... 146

FIGURA 25 DIFERENCIA DE METRADOS DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO – DISEÑO INICIAL..... 147

FIGURA 26 COMPARATIVO DE COSTOS ..... 155

FIGURA 27 ESPESORES FINALES DE CAPA DE BASE GRANULAR SECCIÓN 1 – 15 ..... 157

FIGURA 28 ESPESORES FINALES DE CAPA DE BASE GRANULAR SECCIÓN 16 – 31 ..... 157

FIGURA 29 ESPESORES FINALES DE CAPA DE SUB-BASE GRANULAR SECCIÓN 1 – 15..... 158

FIGURA 30 ESPESORES FINALES DE CAPA DE SUB-BASE GRANULAR SECCIÓN 16 – 31..... 158

FIGURA 31 ESPESORES REDUCIDOS EN BASE EMPLEANDO GEOMALLAS ..... 159

FIGURA 32 ESPESORES INCREMENTADOS EN BASE SIN USAR GEOMALLAS COMO REFUERZO ..... 160

FIGURA 33 ESPESORES INCREMENTADOS EN SUBBASE EN AMBOS DISEÑOS. .... 160

FIGURA 34 PORCENTAJES DE ESPESOR REDUCIDOS TOTALES SIN EL USO DE GEOMALLAS COMO REFUERZO ..... 162

FIGURA 35 PORCENTAJES DE ESPESOR REDUCIDOS TOTALES CON EL USO DE GEOMALLAS COMO REFUERZO ..... 163

FIGURA 36 DIFERENCIA PORCENTUAL ENTRE EL METRADO INICIAL Y EL METRADO DEL DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO ..... 165

FIGURA 37 DIFERENCIA PORCENTUAL ENTRE EL METRADO INICIAL Y EL METRADO DEL DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO EMPLEANDO GEOMALLAS ..... 166

FIGURA 38 AHORRO FINAL EN ALTERNATIVAS DE DISEÑO ..... 169



## CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

##### 1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El diseño y construcción de obras de infraestructura vial en nuestro país posee muchas fuentes de incertidumbre debido principalmente a: la geomorfología diversa de nuestro país, la variabilidad existente en los materiales geológicos, la variación en los precios de materiales, etc. Dicha variabilidad origina que, en la mayoría de casos, los presupuestos estimados en la concepción del diseño original, generándose retrasos en la culminación de los trabajos y/o reducciones de alcance por déficits presupuestales.

Con la finalidad de controlar la variabilidad del costo del proyecto, es de gran importancia identificar algunos aspectos del proyecto que permitan reducir costos, sin que el alcance ni la calidad se vean afectados. Uno de los aspectos principales del proyecto cuya optimización permite la reducción de costos corresponde a la modificación de la ingeniería del proyecto mediante el empleo de nuevas tecnologías y/o realización de estudios más detallados que permitan sustentar factores de seguridad menos conservadores (sin que esto afecte la seguridad y durabilidad de las obras a construir).

Por lo general, en las obras ejecutadas actualmente, no se realiza una revisión adecuada de la ingeniería, procediendo con la construcción de estructuras dimensionadas con grandes factores de seguridad y/o obviando el empleo de nuevas tecnologías. Con la finalidad de realizar un estudio detallado, la presente tesis, tomó como caso de estudio la obra **(MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CU-110 “HUAROCONDO – PACHAR”, UBICADO EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y OLLANTAYTAMBO, PROVINCIAS DE ANTA Y URUBAMBA, REGIÓN CUSCO)**, la misma que a partir del mes de agosto se encuentra paralizada por problemas presupuestales, encontrándose a un 47.01% de avance físico de acuerdo al último reporte de INFOBRAS del mes de julio del 2016.





## 1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

### 1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál será el resultado del **análisis de costos** de construcción entre el costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93), el costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando Geomallas Tensar BX-1100 y el costo del diseño planteado inicialmente en el expediente Técnico Aprobado de la Obra Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Huarcocondo – Pachar manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales y los precios unitarios de obra a ejecutar?

### 1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- **PROBLEMA ESPECIFICO Nº 1**

¿Cuáles serán los nuevos espesores de diseño provenientes del diseño optimizado (AASHTO 93) manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales?

- **PROBLEMA ESPECIFICO Nº 2**

¿Cuáles serán los nuevos espesores de diseño provenientes del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando geomallas Tensar BX-1100 manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales?

- **PROBLEMA ESPECIFICO Nº 3**

¿Cuáles serán los nuevos metrados de movimientos de tierra en explanaciones y conformación de capas del pavimento provenientes de los



nuevos diseños propuestos manteniendo las propiedades mecánicas de los suelos?

- **PROBLEMA ESPECIFICO Nº 4**

¿Cuáles serán los costos de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93), manteniendo los precios unitarios de obras a ejecutar del expediente Técnico de la obra mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar”?

- **PROBLEMA ESPECIFICO Nº 5**

¿Cuáles serán los costos de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando geomallas Tensar BX-1100, manteniendo los precios unitarios de obras a ejecutar del expediente Técnico de la obra mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar”?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

El siguiente trabajo de investigación se realiza para poder tener un alcance real de las incidencias de un correcto diseño de pavimentos flexibles usando el método AASHTO 93 (America Association of State Highway and transportation officials) adoptado en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014, tomando como datos de diseño principal los números de CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante del expediente técnico de la Obra: Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Huariocondo Pachar” y el uso de Geomallas (Tensar BX-1100) para obtener la máxima eficiencia en construcción teniendo en cuenta que la ciudad de cusco presenta una gran demanda de carreteras pavimentadas que permitan el tráfico seguro y comfortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática, reduciendo los costos y maximizando la eficiencia del presupuesto de



obra, contribuyendo al uso de una amplia gama de materiales para la conformación de subrasantes, con CBR entre 6% y 30% como materiales estables gracias al uso de geomallas en la estructura del pavimento.

### **1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

En la medida que los diseños propuestos por la presente investigación sean empleados en el Expediente Técnico de obra como una modificatoria al diseño inicial, el primer grupo beneficiario será la población del Cusco debido a que el costo de obra será optimizado reduciendo el gasto presupuestal de dicha meta dejando como saldo el dinero ahorrado de la diferencia del costo inicial con el de la nueva modificatoria realizada por el cambio en la ingeniería del diseño de pavimentos, esta investigación también trata de dar una herramienta de información acerca del uso de geomallas en proyectos viales para la estabilización de las capas de la estructura de pavimentos flexibles información que será de gran uso para la comunidad ingenieros siendo este el segundo grupo beneficiario.

### **1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD**

Los diseños a realizar están normados y basados en el Manual de Carretera Suelos, Geología y pavimento en la sección de suelos y pavimentos 2014 con R.D. N<sup>o</sup> 10-2014-MTC/14, el cual opta que para el dimensionamiento de las secciones del pavimento el procedimiento más generalizado de uso actual en el país es el Método AASHTO guide for desing of pavements Structures 1993, de esta manera los tesisas asumen toda la inversión económica y de tiempo para la realización de dicha investigación.

Económicamente es viable por el libre acceso a la información del proyecto por los diferentes portales del estado los cuales por el principio de transparencia exhiben los datos del proyecto y su proceso constructivo para su acceso público, entre los cuales tenemos el portal INFOBRAS, el MEF (Ministerio de



Economía y Finanzas), el GRC (Gobierno Regional Cusco), el Plan COPESCO, etc.

#### **1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA**

La presente investigación justifica su importancia debido a que aspira a proponer nuevos diseños de pavimentos flexibles para la Obra Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Huarcoondo Pachar”, de manera que los costos derivados del proceso constructivos sean menores a los planteados en el diseño inicial del expediente técnico de obra aprobado.

### **1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. LIMITACIONES DE LUGAR**

Los resultados de los diseños obtenidos será válidos para la Obra Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Huarcoondo Pachar” ubicado en los distritos de Huarcoondo y Ollantaytambo, provincias de Anta y Urubamba, Región de Cusco, de modo que los datos de diseño y análisis como los de los análisis de precios unitarios, estudio de tráfico, y ensayos de laboratorio fueron tomados del expediente Técnico Aprobado de la obra en mención.

#### **1.3.2. LIMITACIONES DE MATERIALES**

Los valores de CBR de subrasante considerados fueron tomados de los ensayos de laboratorio hechos para el expediente de la obra “Mejoramiento de la Carretera cu-110 Huarcoondo Pachar” de esta manera estos valores para el diseño de los pavimentos flexibles están comprendidos entre 6% y 20% lo cual los clasifica como regulares S2  $CBR \geq 6\%$   $CBR < 10\%$ , buenos S3  $CBR \geq 10\%$   $CBR < 20\%$  y muy buenos S4  $CBR \geq 20\%$   $CBR < 30\%$ , de acuerdo a lo prescrito por el Manual de Carretera Suelos, Geología y pavimento en la sección de suelos y pavimentos 2014, para base y subbase el CBR de diseño serán 50% y 90% respectivamente, las geomallas para el diseño de bases reforzadas serán de la marca Tensar modelo BX-1100 y los demás parámetros



de diseño serán los mismo que los planteados en el diseño inicial del expediente técnico de obra.

### **1.3.3. LIMITACIONES DE DISEÑO**

El estudio y los diseños solo van dirigidos a los procedimientos establecidos en el método AASHTO 93 adoptado en Manual de Carretera Suelos, Geología y pavimento en la sección de suelos y pavimentos 2014 y los ábacos de equivalencia de bases reforzadas con geomallas Tensar BX-1100 proporcionadas por el fabricante.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un análisis comparativo de costos entre el costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93), el costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando Geomallas Tensar BX-1100 y el costo del diseño planteado inicialmente en el expediente Técnico aprobado de la obra Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huaroscondo – Pachar”, manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales y los precios unitarios de obras a ejecutar.

### **1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- **OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 1**

Calcular los nuevos espesores de diseño provenientes del diseño optimizado (AASHTO 93) manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales.



- **OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 2**

Calcular los nuevos espesores de diseño provenientes del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando Geomallas Tensar BX-1100 manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 3**

Calcular los nuevos metrados de movimiento de tierras de explanaciones y de conformación de capas de pavimento provenientes de los nuevos diseños propuestos manteniendo las propiedades mecánicas de los suelos.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 4**

Calcular los costos de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93), en la Obra Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar” manteniendo los precios unitarios de obras a ejecutar del expediente Técnico.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 5**

Calcular los costos de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando geomallas Tensar BX-1100, en la Obra Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar” manteniendo los precios unitarios de obras a ejecutar del expediente Técnico.

## 1.5. HIPÓTESIS

### 1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

El costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando Geomallas Tensar BX-1100, es menor que el costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) y el costo planteado inicialmente en el expediente Técnico Aprobado de la obra Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar” manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales y los precios unitarios de obras a ejecutar.



### 1.5.2. SUB-HIPÓTESIS

- **SUB-HIPÓTESIS ESPECIFICA Nº 1**

Los nuevos espesores de diseño provenientes del diseño optimizado (AASHTO 93) manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales son menores a los del diseño de pavimentos inicial.

- **SUB-HIPÓTESIS ESPECIFICA Nº 2**

Los nuevos espesores de diseño provenientes del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando geomallas Tensar BX-1100 manteniendo las propiedades mecánicas de los materiales son menores a los del diseño de pavimentos inicial.

- **SUB-HIPÓTESIS ESPECIFICA Nº 3**

Existen menores metrados de movimiento de tierras de explanaciones y de conformación de capas de pavimento provenientes de los nuevos diseños propuestos manteniendo las propiedades mecánicas de los suelos.

- **SUB-HIPÓTESIS ESPECIFICA Nº 4**

En la obra mejoramiento de la carretera CU-110 “Huarcoondo – Pachar” los costos de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93), son menores y permiten reducir los costos finales de construcción manteniendo los precios unitarios de obras a ejecutar del expediente Técnico.



- **SUB-HIPÓTESIS ESPECIFICA Nº 5**

En la obra mejoramiento de la carretera CU-110 “Huarcoondo – Pachar” los costos de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando Geomallas Tensar BX-1100, son menores y permiten reducir los costos finales de construcción manteniendo los precios unitarios de obras a ejecutar del expediente Técnico.

## **1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### **1.6.1. VARIABLES DEPENDIENTES**

- Costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93)
- Costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando Geomallas Tensar BX-1100

#### **1.6.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES**

- Consiste en el cálculo del costo resultante de las nuevas propuestas de diseño de pavimentos flexibles optimizados usando el método (AASHTO 93).
- Consiste en el cálculo del costo resultante de las nuevas propuestas de diseño de pavimentos flexibles optimizados usando el método (AASHTO 93) empleando Geomallas.

### **1.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Propiedades mecánicas de los materiales (CBR).
- Precios unitarios de obras a ejecutar.





#### **1.6.2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Consiste en el Análisis y la recopilación de datos de los ensayos de laboratorio aprobados en el Expediente Técnico.
- Consiste en los Análisis de Precios Unitarios aprobados en el Expediente Técnico.

#### **1.6.3. INDICADORES DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES**

- Propiedades mecánicas de los materiales (CBR).
- ESAL de diseño
- Confiabilidad (R%)
- Desviación Estándar normal (Zr)
- Desviación Estándar Total (So)
- Nivel De Servicio Inicial (Po)
- Nivel De Servicio Final (Pt)
- Espesores Equivalentes De Base Reforzada Con Geomallas
- Metrados
- Precios Unitarios

#### **1.6.4. INDICADORES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES**

- CBR (%)
- Módulo Resiliente (Mr)
- Precios unitarios de obras a ejecutar en soles.



1.6.5. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTOS
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>				
• Costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93)	Consiste en el cálculo del costo resultante de las nuevas propuestas de diseño de pavimentos flexibles optimizados usando el método (AASHTO 93).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo de construcción en función al inicial</li> <li>• Menor costo de construcción en función al inicial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades mecánicas de los materiales</li> <li>• ESAL de diseño</li> <li>• Confiabilidad (R%)</li> <li>• Desviación Estándar (Zr)</li> <li>• Desviación Estándar Total (So)</li> <li>• Nivel De Servicio Inicial (Po)</li> <li>• Nivel De Servicio Final (Pt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guía de Diseño de Pavimentos Flexibles AASHTO 93</li> <li>• Cuadro de equivalencias de Bases Granulares Reforzadas (Tensar)</li> <li>• Expediente Técnico de Obra Aprobado</li> <li>• Análisis de Costos</li> </ul>
• Costo de construcción del diseño optimizado (AASHTO 93) empleando Geomallas Tensar BX-1100	Consiste en el cálculo del costo resultante de las nuevas propuestas de diseño de pavimentos flexibles optimizados usando el método (AASHTO 93) empleando Geomallas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo de construcción en función al inicial</li> <li>• Menor costo de construcción en función al inicial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesores Equivalentes De Base Reforzada Con Geomallas</li> <li>• Metrados</li> <li>• Precios Unitarios</li> </ul>	
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>				
Propiedades mecánicas de los materiales	• Consiste en el Análisis y la recopilación de datos de los ensayos de laboratorio aprobados en el Expediente Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel CBR (%)</li> <li>• Dosificación Granulométrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CBR (%)</li> <li>• Módulo Resiliente (Mr)</li> </ul>	• Expediente Técnico de Obra Aprobado
Precios unitarios de obras a ejecutar.	• Consiste en los Análisis de Precios Unitarios aprobados en el Expediente Técnico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios Unitarios Propuestos</li> <li>• Precios Unitarios Elaborados</li> </ul>	• Precios unitarios de obras a ejecutar en soles.	• Expediente Técnico de Obra Aprobado

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL

##### 2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

Autor : Orrego Cabanillas Daniel Alberto

Institución : Pontificia Universidad Católica del Perú

Año : 2014

Título : “Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles”

Comentario : Este trabajo realizado en Lima consiste en un análisis del uso de geomallas como refuerzo en bases granulares dentro de un pavimento flexible, con lo que se busca determinar si es una alternativa económicamente viable, realizando un diseño de tres alternativas con el mismo parámetro de diseño (sección convencional o no reforzada; mientras que dos alternativas reforzadas con geomallas biaxiales y multiaxiales, conociendo sus propiedades y beneficios las cuales están disponibles en el mercado actual), luego de obtener los factores necesarios para el diseño con geomallas se propusieron nueve diferentes secciones, realizando un análisis, encontrando las condiciones más óptimas donde esta alternativa es tecno-económica mejor **concluyendo** en que el uso de geomallas triaxiales considerando solo los costos de materiales para conformación de capas de pavimento reducen el costo de obra.

Autor : Guzmán Balcázar Jesús Arturo

Institución : Pontificia Universidad Católica del Perú

Año : 2015



Título : “Rediseño del Ovalo de Naranjal”

Comentario : Este trabajo realizado en Lima nos muestra el incremento de la flota vehicular y como el tránsito es más caótico en Lima especialmente en los conos uno de ellos es el Ovalo Naranjal, se busca con esta investigación la solución más simple y económica para esta intersección. Como primer objetivo es el rediseño de ingeniería del ovalo en estudio, buscando la información teórica necesaria para cumplir con ello especialmente en fuentes extranjeras. El análisis se realizó en campo donde se obtuvo el flujo de vehículos y peatones, colas y tiempo aproximado de cruce de la intersección, analizando también las posibles causas. En los primeros se comparó el funcionamiento a través de los niveles de servicio, para el segundo se utilizaron parámetros como colas y demoras con las que se obtuvo el ciclo óptimo y por último se opta la solución más viable que ofrece resultados con mejoras en el funcionamiento de la intersección en que dentro del diseño del Pavimento Flexible, **Concluyendo** en que del análisis previamente hecho y siguiendo las recomendaciones del método AASTHO -93 se obtuvo el siguiente diseño para el ovalo naranjal: carpeta 10cm., base hidráulica 35cm. Y subbase 35cm.

### 2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

Autor : Calzeta Valdés Manuel Alejandro

Institución : Universidad Nacional Autónoma de México

Año : 2012

Título : “Ingeniería de Valor Beneficios y oportunidades de incremento del valor en obras de ingeniería civil”

Comentario : Este trabajo realizado en México D.F. nos demuestra existe un notorio aumento en la exigencia en la Ingeniería Civil como es el caso de México. Podemos presenciar la ejecución de puentes más altos y carreteras cuya velocidad de diseño es mayor, presas cuyo procedimiento constructivo es más complicado. Por ello resulta necesario definir mejoras en la creatividad



para poder incrementar su funcionalidad y reducir costos totales. En este trabajo se encuentra una propuesta para lograr dos objetivos, la primera llamada Ingeniería de Valor, donde se elabora un plan de trabajo donde se generan alternativas creativas y funcionales, con la que se obtiene un incremento significativo del valor del proyecto. Como objetivo general fue definir las estrategias y condiciones generales para su correcta aplicación y consecuente reducción de costos. **Concluyendo** en que la metodología de Ingeniería de Valor no tiene efectos significativos al aplicarse en la etapa de construcción, y se tiene además la posibilidad de aplicar el método analizado en la investigación con fines preventivos desde el punto de vista financiero.

## **2.2. BASES TEÓRICO CONCEPTUALES**

### **2.2.1. ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO**

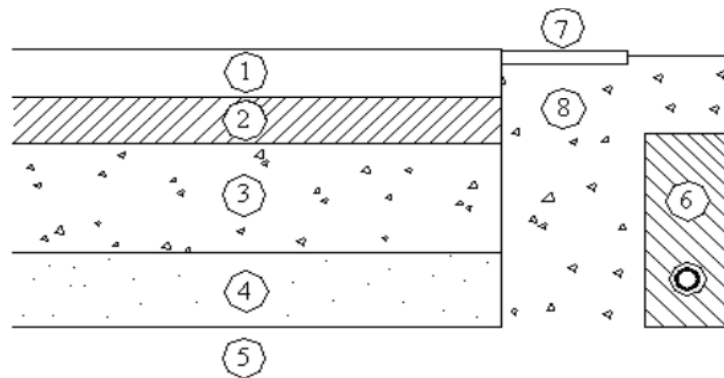
#### **2.2.1.1. CONCEPTOS GENERALES DEL PAVIMENTO**

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformado por las siguientes capas; Base, sub-base y capa de rodadura. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

#### **2.2.1.2. PAVIMENTO FLEXIBLE**

El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (sub-base, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica en frío y mezclas asfálticas en caliente. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

FIGURA 1 SECCIÓN TÍPICA DE UN PAVIMENTO



FUENTE: (Instituto Tecnológico de Aeronautica, 2000)

1. Capa de Rodadura
2. Capa Base
3. Capa Sub-base
4. Suelo
5. Subrasante
6. Sub-drenaje longitudinal
7. Revestimiento de Hombreras
8. Sub-base de Hombreras

### 2.2.1.3. MATERIALES PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos del manual de carreteras; Especificación Técnicas Generales para Construcción, vigente; no obstante cuando en un determinado proyecto de pavimentación se requiera especificaciones nuevas concordantes con el estudio o que amplíen, completamente o reemplacen a las especificaciones generales, el autor del proyecto o el ingeniero responsable de suelos y pavimentos deberá emitir las especificaciones especiales para el proyecto y solo será aplicable para su ejecución. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

#### 2.2.1.3.1. SUB-RASANTE

Es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno) sobre la cual se coloca la estructura de pavimento o afirmado.

La subrasante es el asiento directo del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada de la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el



fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportara la estructura del pavimento, y está conformado por suelos seleccionados de características aceptables y compactados para constituir un cuerpo estable en óptimo estado de tal manera que no se vea afectada por la capa de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocara encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida en el ensayo de Proctor modificado (MTC-EM-115).

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

Las categorías de la subrasante sobre las que se asienta el pavimento, están definidas en 6 categorías de sub-rasante, en base a su capacidad de soporte CBR (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

TABLA 1 CATEGORÍAS DE SUBRASANTE

CATEGORÍAS DE SUB RASANTE	CBR
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub rasante excelente	CBR ≥ 30%

FUENTE: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

### 2.2.1.3.2. SUB-BASE GRANULAR

Es una capa de material especificado, con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta puede obviarse, esta puede ser de material granular (CBR ≥ 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento.

El material granular para la capa de sub-base granular deberá cumplir con los requisitos mínimos requeridos en la sección 402 del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción, Vigente. Así mismo se deberán cumplir los requisitos mínimos de equipos. Requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR para el diseño de pavimento. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)



TABLA 2 VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR EN SUB-BASE GRANULAR

CBR en Subbase Granular	Mínimo 40%
-------------------------	------------

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

FUENTE: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

### 2.2.1.3.3. BASE GRANULAR

Es la capa inferior a la superficie de rodadura, que tiene como principal función de sostener distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR > 80%), o será tratada con asfalto, cal, o cemento.

El material granular para la capa de base deberá cumplir los requisitos de calidad establecidos en la sección 403 del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción, Vigente. Así mismo se deberán cumplir los requisitos mínimos de equipos. Requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR mencionados en la tabla 3 y que según el caso deberá estar en las especificaciones del proyecto. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

TABLA 3 VALOR RELATIVO DE SOPORTE, CBR EN BASE GRANULAR

Para Carreteras de Segunda Clase, Tercera Clase, Bajo Volumen de Tránsito; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^6$	Mínimo 80%
Para Carreteras de Primera Clase, Carreteras Duales o Multicarril, Autopistas; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $> 10 \times 10^6$	Mínimo 100%

Fuente: Elaboración Propia en base a la Sección 403 de las EG-Vigente del MTC y al Tipo de Carretera especificada en la RD 037-2008-MTC/14

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

FUENTE: (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)



#### **2.2.1.3.4. CAPA DE RODADURA:**

Es la parte superior de un pavimento que puede ser de tipo bituminoso (Flexible) o de concreto de cemento portland (Rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

#### **2.2.2. USO DE GEOMALLAS COMO REFUERZO DE PAVIMENTOS**

Estos materiales deberán cumplir los requisitos mínimos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas (INDECOPI) (El Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual), En las Normas de Ensayos de Materiales del MTC, o en ausencia de ellas en las Normas Técnicas Internacionales Vigentes, así mismo para la colocación y ejecución de la partida deberá estar de acuerdo al Manual de Carreteras; Especificaciones técnicas para obras Vigente. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

Al diseñarse una vía como en toda obra civil se busca la eficiencia, la economía, la calidad, y un buen tiempo de vida útil, con este concepto claro se pretende que todos los gastos se hagan de forma inteligente y eficaz para que los usuarios finales puedan disponer de estas con los niveles de servicio óptimos a lo largo de su vida útil.

También podemos describir dentro del ámbito nacional dos tipos de vías entre las cuales tenemos la vías no pavimentadas y pavimentadas, estas últimas que son materia de estudio de la presente investigación tendrán un diseño y operación eficiente, siempre y cuando se cuiden ciertos factores entre los cuales tenemos el diseño propiamente dicho el cual deberá ser el adecuado de acuerdo al tráfico el cual soportaran, la geología, hidrología, geografía, etc. del entorno para el diseño, y por último el mantenimiento al que será sometido en las fases de operación dentro del ciclo de vida del proyecto.

Con el uso de geo-sintéticos buscamos maneras de hacer diseños más esbeltos en lo que se refiere a espesores de capas , más económicos ya que



conlleva a hacer menos uso de maquinaria, materiales y reducir tiempos de construcción en concordancia a la geología, topografía y otros aspectos que intervienen en el diseño de una carretera.

Por lo general se tratan de hacer vías que esperen tráficos mayores a un millón de pasadas de ejes equivalente con periodos de diseño que superen 10 años, así que el diseño de esta consistirá en determinar materiales adecuados para evitar fallas prematuras en el pavimento.

Dicho esto podemos distinguir dos tipos de fallas entre las cuales tenemos: una falla estructural y una falla funcional en el pavimento.

Las fallas estructurales están relacionadas a un colapso de la sección o en cualquiera de sus capas lo cual impida ser capaz de soportar las cargas de diseño para las cuales fue construido. Las razones por las cuales esta pueda ocurrir es por la incursión del material de la subrasante en las otras capas, disminuyendo sus propiedades mecánicas, también puede estar relacionado a cargas vehiculares superiores a las consideradas en el diseño inicial, la falta de drenaje superficial produciendo cambios bruscos de volumen, aumentos en la presión de poros o fenómenos como los de la ascensión de humedad por capilaridad o asentamientos diferenciales de la subrasante producidos por fallas geotécnicas no consideradas o efectos de la naturaleza aleatorios.

Las fallas funcionales son aquellas que se presentan en la superficie de la capa de rodadura y afectan a los niveles de servicio percibidos por el usuario, entre estas tenemos las ondulaciones longitudinales, deformaciones transversales, cambios de color por exudación, textura inadecuada de la superficie entre otras y muchas de estas son producidas por fallas estructurales, y su no tratamiento tiende a generar que estas se agraven o produzcan nuevas fallas no relacionadas a su aparición inicial.

En ambos casos se plantean muchas formas de solución en el nuevo Manual de Mantenimiento o Conservación Vial 2014 publicado por el Ministerio de Transportes Y Comunicaciones pero también hay soluciones con geosintéticos como el uso de geomallas en el control de reflexión de grietas en recapeos asfálticos, en la reconstrucción mejoramientos de subrasante y suelos blandos



o el refuerzo de bases o sub-bases entre otros esto para saber de los muchos usos que tienen estos tipos de materiales.

Pero en la etapa constructiva y en el diseño inicial uno de los principales beneficios del uso de las geomallas es la reducción de los espesores de corte y relleno; además de la construcción de una plataforma que permita compactar las capas superiores de esta (ETL1110-1-189). Y con estos diferenciar y separar los materiales de las mismas.

Las geomallas confieren confinamiento a las partículas del agregado evitando su movimiento natural producido por las cargas a las que son sometidas el tamaño de las aberturas también están ligadas a un estudio de granulometría para así determinar el correcto y evitar la mezcla de material entre capas por ejemplo un (geo textil).

Las geomallas proporcionan refuerzo a las capas estructurales del pavimento para mejorar su desempeño a través del control del ahuellamiento producido en la superficie por el desplazamiento lateral de las partículas cuando estas se alejan del área de aplicación de la cargas.

Y como último aumentan la vida útil del pavimento manteniendo los espesores de diseño y también reducir los costos de construcción reduciendo espesores de capa.

#### 2.2.2.1. MECANISMOS DE REFUERZO DE LAS GEOMALLAS

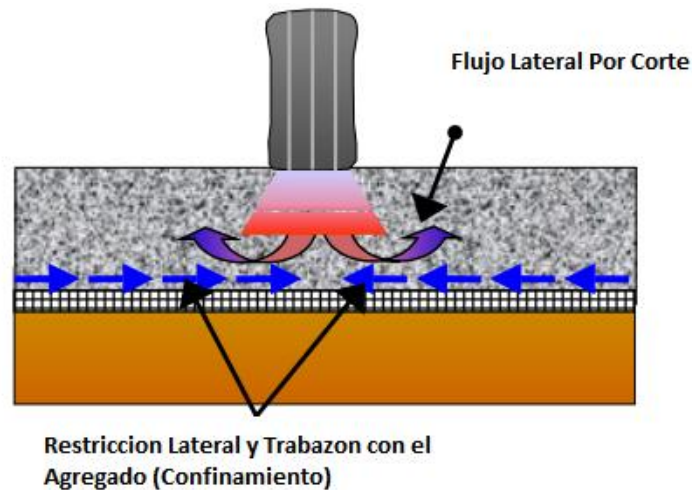
Los tres principales mecanismos de refuerzo que son proporcionados por una geomalla biaxial o por una geomalla multiaxial (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS., 2003) son:

- Confinamiento lateral

Este mecanismo se obtiene por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo (**Figura 2**). Al aumentar el confinamiento lateral e impedir el desplazamiento lateral de las partículas, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla. Además, se reducen las deformaciones verticales y los ahuellamiento en la superficie de rodadura.

A lo largo de los años se ha demostrado que este es el mecanismo más importante al momento de determinar el aporte de la geomalla (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS., 2003)

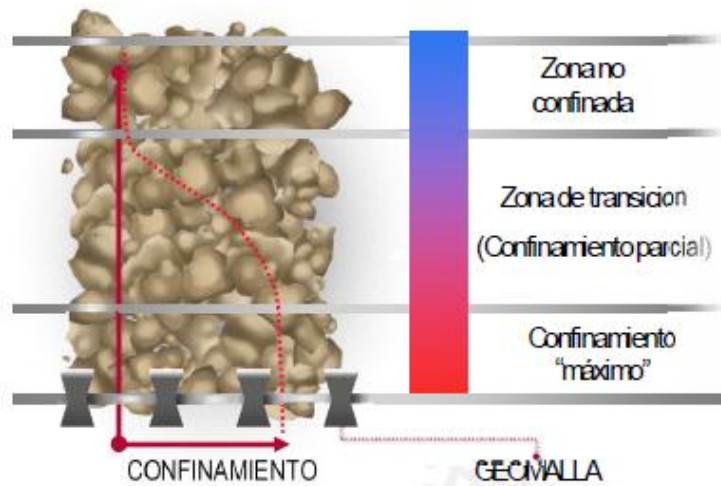
FIGURA 2 MECANISMO DE CONFINAMIENTO LATERAL



FUENTE: (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS., 2003)

Si tenemos en cuenta que este confinamiento generado crea una capa de material más rígida; entonces debemos ser conscientes de la importancia de la forma y tipo de abertura para tener un mejor comportamiento del material, el resultado será distinto para cada tipo de geomalla. Además, es importante mencionar que se tendrá un confinamiento “máximo” en la zona próxima al elemento de refuerzo; mientras que, a medida de que nos alejamos de este, este efecto ira disminuyendo (**Figura 3**). En algunos casos, cuando el espesor de la capa a reforzar es muy grande, será necesario colocar más de una capa de geomalla para asegurar el correcto comportamiento del material y una capa lo suficientemente rígida para soportar las solicitaciones sobre la estructura. (VALENCIA, 2009).

FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE CONFINAMIENTO

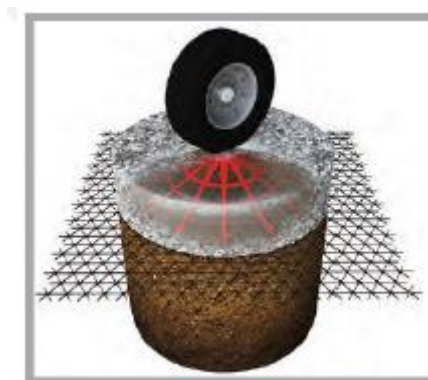


FUENTE: (VALENCIA, 2009)

- Mejoramiento de la capacidad portante

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 4**) disminuyendo los esfuerzos que el material no competente (suelo blando) debe soportar (TENSAR, 2009).

FIGURA 4 MECANISMO DE MEJORAMIENTO DE CAPACIDAD DE SOPORTE



FUENTE: (TENSAR, 2009)

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 5**) (TENSAR, 2009).

FIGURA 5 EFECTO DE ZAPATO DE NIEVE

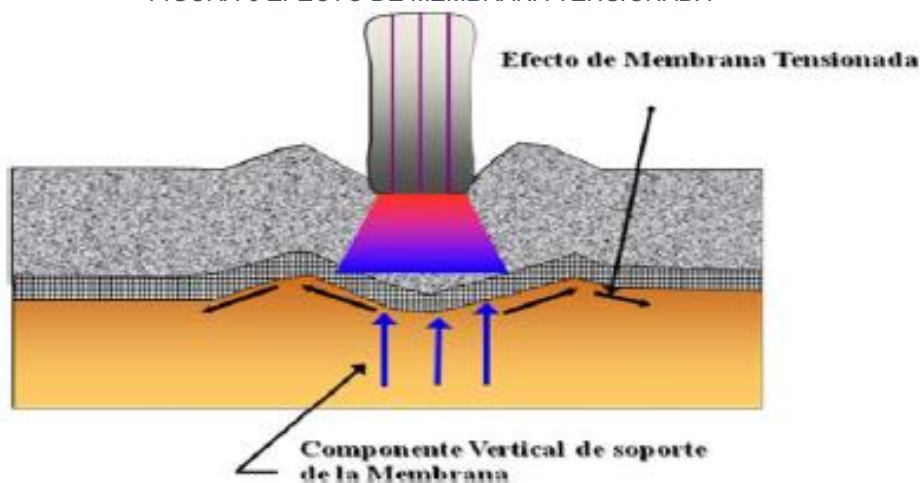


FUENTE: (TENSAR, 2009)

- Membrana tensionada

Este mecanismo se origina cuando se presenta una deformación considerable en el terreno natural debido a cargas vehiculares presentes sobre la vía; en este se desarrollan esfuerzos importantes que son soportados por la resistencia a la tensión que tiene el refuerzo (**Figura 6**) (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS., 2003).

FIGURA 6 EFECTO DE MEMBRANA TENSIONADA



FUENTE: (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS., 2003)

Durante mucho tiempo se consideró que este era el principal mecanismo de refuerzo. Sin embargo, si se hace un análisis de las condiciones necesarias para activarlo podemos encontrar una paradoja.

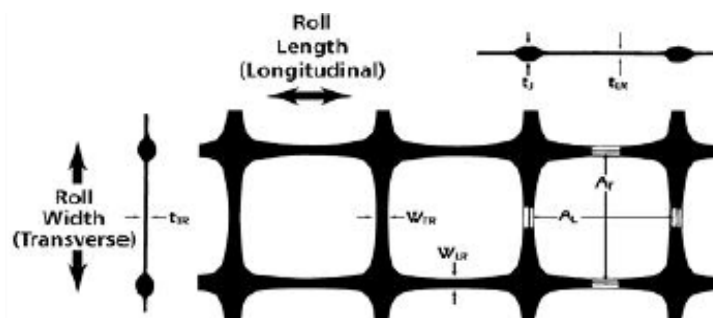
Debido a que este mecanismo se activa para altos niveles de deformación, generalmente solo ocurre en vías no pavimentadas después de que la vía ha soportado un elevado número de cargas debido al tráfico. Esto se debe a que en vías pavimentadas, la deformación necesaria para movilizar este sistema de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

Por esta razón, podemos considerar que en aplicaciones 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 y el que deberíamos asegurar (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS., 2003).

#### 2.2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS GEOMALLAS BIAXIALES Y MULTIAXIALES

En el área de pavimentos, la geomalla biaxial (**Figura 7**) cumplió un papel importante ya que alcanzó un amplio desarrollo y se encontraron distintas aplicaciones para esta. Sin embargo, su uso como refuerzo de base tuvo un desarrollo menor debido a la falta de conocimiento de los mecanismos de refuerzo que se presentan al usar este material (TENSAR, 2013).

FIGURA 7 FORMA DE LAS ABERTURAS DE LAS GEOMALLAS BIAXIALES



FUENTE: (TENSAR, 2013)



En la **Tabla 4** se presentan los resultados obtenidos en la investigación desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en el año 1992. En este ensayo, a escala real, se compararon secciones reforzadas con diversos tipos de geomallas biaxiales con el fin de determinar su aporte dentro de la sección de pavimento ensayada y así poder obtener mayor información acerca de las características que afectaban su comportamiento estructural (VALENCIA, 2009).

*TABLA 4 PROPIEDADES DE LA GEOMALLA BIAxIAL QUE AFECTAN SU COMPORTAMIENTO*

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

*FUENTE: (VALENCIA, 2009)*

Por lo tanto, las características más importantes al momento de elegir una geomalla para utilizarla como refuerzo de base serían:

- Tamaño de la abertura

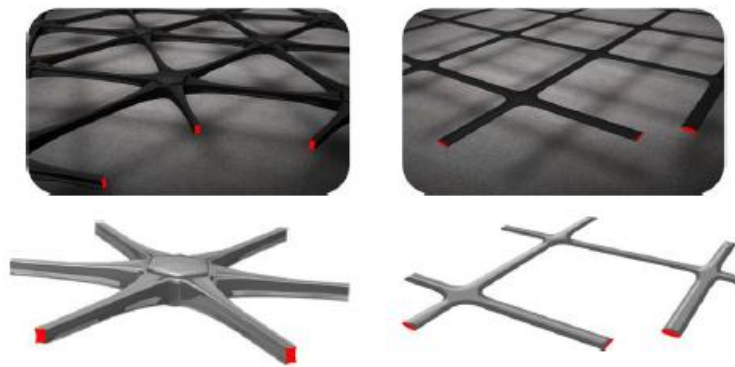
Las aberturas de las geomallas deben tener el tamaño suficiente para permitir que los agregados y el suelo de relleno puedan penetrar a través de estas. Sin

embargo, también deben ser suficientemente pequeñas para que las partículas puedan generar una trabazón eficaz y asegurar el confinamiento del material dentro de estas (TENSAR, 2013).

- Grosor de las costillas

Al momento de confinar las partículas de agregado, el grosor de las costillas juega un papel importante ya que mientras mayor sea este, la interacción entre la geomalla y el suelo será mayor. Además, las costillas cuadradas, o rectangulares, tienen un mejor comportamiento para lograr este mecanismo en comparación con las de forma redondeada (TENSAR, 2013).

*FIGURA 8 DIFERENCIAS EN LA DISPOSICIÓN DE LAS COSTILLAS ENTRE LAS GEOMALLAS MULTIAXIALES Y BIAXIALES*



*FUENTE: (TENSAR, 2013)*

- Resistencia a la torsión

Se refiere a la resistencia ante el movimiento de rotación que presenta la unión central de una muestra en el mismo plano de la carga aplicada (TENSAR, 2013).

- Resistencia a la tensión

En las aplicaciones en pavimentos no es una propiedad determinante ya que se busca que los elementos de refuerzo no soporten altos esfuerzos de tensión sino que puedan soportar las sollicitaciones a partir de otros mecanismos de refuerzo ya mencionados (TENSAR, 2013).

- Resistencia de las juntas

Se busca la mayor eficiencia posible, es decir, que las juntas sean lo suficientemente resistentes para transmitir las cargas hacia las costillas. Es así que si existiese alguna falla por resistencia, esta debería producirse en las costillas y no en las uniones.

A partir del entendimiento de estas propiedades, a lo largo de cinco años, una de las empresas líderes en el mercado desarrollo un nuevo material buscando obtener un mejor comportamiento que las geomallas biaxiales. Es en este contexto que se crea la geomalla MULTIAXIAL que tiene como principal característica sus aberturas triangulares aprovechando la estabilidad de esta forma geométrica (**Figura 9**) (TENSAR, 2013).

*FIGURA 9 FORMA DE LAS ABERTURAS DE LA NUEVA GEOMALLA MULTIAXIAL*



*FUENTE: (TENSAR, 2013)*

Ensayos realizados a pequeña y gran escala (ver Anexo) demostraron que:

- Asegurar la trabazón de las partículas del agregado entre las aberturas de la geomalla es la principal medida que se debe cumplir cuando esta es utilizada como refuerzo de base.
- El confinamiento lateral es un mecanismo de refuerzo importante; este estará relacionado con el espesor y la forma de las costillas.
- La distribución de cargas en una mayor área se lograra a partir de la restricción del movimiento de las partículas, esto se lograra aumentando la rigidez de la geomalla y la eficiencia de las juntas.

Con la creación de la geomalla MULTIAXIAL se logró una estructura más rígida.

Esto se debe al uso de una nueva disposición de las costillas, en comparación con la usada en las geomallas biaxiales, buscando optimizar el confinamiento de las partículas.

La altura de la costilla asegura la trabazón del agregado granular con la geomalla y permite una mejor transferencia de esfuerzos y una menor deflexión de las capas del agregado; evitando la contaminación o migración de partículas finas hacia las capas de refuerzo (TENSAR, 2013).

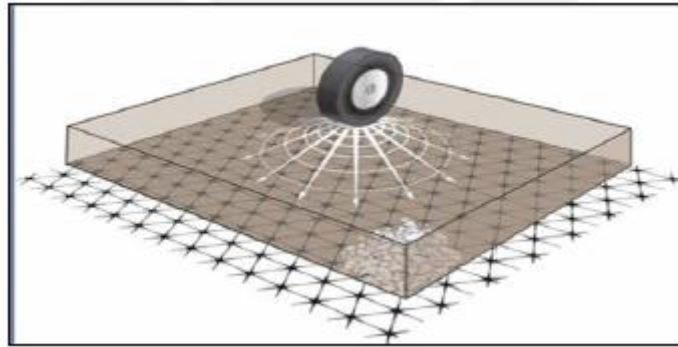
*FIGURA 10 FORMA DE LAS JUNTAS EN LAS GEOMALLAS BIAXIALES Y MULTIAXIALES*



*FUENTE: (TENSAR, 2013)*

Esta mejora en la configuración del material permite que las cargas sean distribuidas radialmente hacia las capas de suelo subyacentes (**Figura 11**). Sabiendo que las cargas de tráfico a la que estará sometido el pavimento serán transmitidas en todas las direcciones (360 grados), esta característica diferencia a las geomallas multiaxiales de todas las demás existentes en la actualidad (TENSAR, 2013).

FIGURA 11 ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN RADIAL DE ESFUERZOS LOGRADA CON LA GEOMALLA MULTIAXIAL,



FUENTE: (TENSAR, 2013)

### 2.2.2.3. BENEFICIOS OBTENIDOS CON EL USO DE GEOMALLAS

Las principales funciones que cumplen los geo sintéticos dentro de las estructuras de pavimentos son:

#### 2.2.2.3.1. SEPARACIÓN

Evitar la mezcla de materiales con granulometrías distintas, para conservar las propiedades asumidas en el diseño inicial de las capas del pavimento.

#### 2.2.2.3.2. FILTRACIÓN

No interfiere en la filtración de agua a través de las capas del pavimento muy útil en muros de contención con gaviones evitando que se colmaten por el transporte de partículas finas en el flujo de agua.

#### 2.2.2.3.3. DRENAJE

Es capaz de dejar pasar el flujo de agua de un plano de material a otro a través de los vacíos de su propia estructura.

#### 2.2.2.3.4. REFUERZO

Reduce drásticamente los espesores de capa del pavimento e incrementa el tiempo de vida si se mantienen los espesores iniciales de diseño. Ocasionado



por los mecanismos de refuerzo de las geomallas, el efecto del creep también que es producido sobre el elemento de refuerzo en el tiempo.

#### **2.2.2.3.5. REDUCCIÓN DE ESPESORES**

Con la capacidad de soporte incrementada en una capa, se reduce el espesor de la misma, este es el mecanismo de acción de las geomallas sobretodo en el mejoramiento de subrasantes lo cual conlleva a una optimización de costos finales en transporte de materiales, uso de maquinaria entre otros aspectos los cuales a la larga sumado llegan a ser un aspecto significativo en el costo final del proyecto.

#### **2.2.2.3.6. INCREMENTO DE VIDA ÚTIL DE LA VÍA**

Cuando los espesores iniciales se mantienen y se hace uso de geomallas se llega a incrementar el número de ejes equivalentes (ESAL's) (Equivalent Single Axle Load) que soportara el pavimento antes de presentar fallas o necesitar de mantenimiento. Considera en un ahorro significativo a largo plazo.

#### **2.2.2.3.7. INCREMENTO DE CAPACIDAD DE SOPORTE**

El uso de geomallas en haulroads (caminos mineros), es muy frecuente ya que incremente notablemente la capacidad de carga del suelo sobre todo en vías sobre suelos muy blandos.

#### **2.2.2.3.8. NIVELACIÓN DE SUBRASANTES DÉBILES**

Se puede lograr una "APARENTE" mayor capacidad de soporte. Lo que conlleva a crear plataformas o vías en suelos muy blandos generalmente en vías de acceso sobre suelos pantanosos.

#### **2.2.2.3.9. CONTROL DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES**

Al colocar dos o más capas de geomallas, se puede lograr crear una capa más rígida de acuerdo a un confinamiento lateral "más eficiente" gracias al uso de más de una capa de geomalla.

### 2.2.3. COSTOS EN CARRETERAS

#### 2.2.3.1. COSTOS DIRECTOS EN CARRETERAS

Costos directos es la sumatoria de la mano de obra, equipos, herramientas y materiales necesarios para la realización de un proceso productivo.

Nuestro producto es una carretera de construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento en donde existen un sinnúmero de actividades que se ejecutan en base a las Especificaciones Técnicas, planos y diversos estudios propios de este producto. Saber cuál es el costo directo de una carretera es sencillo si se tienen los metrados y los costos unitarios de cada una de las partidas (actividades). Los metrados varían de acuerdo a la magnitud de la obra y los costos unitarios se calculan mediante un análisis bien detallado.

Los costos unitarios pueden representarse por la siguiente fórmula matemática.

$$\text{C.U.} = \text{Mj} + \text{Me} + \text{Oh} + \text{Pm}$$

**Donde:**

**j, e, h, m** : Son variables (costos de mano de obra, equipo, herramientas y materiales)

**M, N, O, P** : Son variables condicionadas (cantidades, consumidas de mano de obra, equipo, herramientas y materiales).

Las variables condicionadas pueden convertirse en constantes para una obra específica para un rango de obras promedio. En el presente libro este tipo de variables van a estar dadas como constantes, las cuales han sido calculadas en base a la experiencia en los diferentes Métodos Constructivos, Tipos de Construcción y Tendencia Estadística. Estas constantes le facilitarán para calcular un costo unitario lo más aproximado posible. (IBAÑEZ, 2011)



### **2.2.3.2. MANO DE OBRA EN CARRETERA**

El costo de la mano de obra está determinado por categorías (capataz, operario, oficial, y peón), si bien es cierto que el gobierno ha unificado el Jornal Básico para todos los Departamentos del Perú, el costo de la Mano de Obra varía conforme a la dificultad o facilidad de la realización de la obra, el riesgo o de la seguridad en el Proceso constructivo, las condiciones climáticas, costumbres locales, etc.

El costo de la mano de obra es la sumatoria de los siguientes rubros que están sujetos a las disposiciones legales vigentes. (IBAÑEZ, 2011)

#### **2.2.3.2.1. CATEGORÍAS**

En el Perú se establecen la categoría de los trabajadores de construcción civil los cuales son; Operario, Oficial, Peón y Capataz (IBAÑEZ, 2011).

### **2.2.3.3. MATERIALES EN CARRETERAS**

En la ejecución de una carretera se integran materiales elaborados semielaborados mano de obra herramientas y equipos. El costo de los materiales necesarios para la construcción de carreteras son componentes básicos dentro de un análisis de costos unitarios no deberán incluir I.G.V. (Impuesto de General de las Ventas), así mismo deberán ser determinados teniendo en cuenta los gastos que se requiere para ser colocados al pie de la obra por tal razón el costo utilizado además de su costo ex fábrica debe de ser incrementado con los siguientes rubros. (IBAÑEZ, 2011)

- Costo del flete
- Costo del manipuleo
- Costo del almacenamiento
- Costo por mermas y desperdicios
- Costo por viáticos



#### **2.2.3.3.1. COSTO DEL FLETE**

El flete es el costo del transporte desde su lugar de fabricación o expendio hasta el almacén de la obra, el mismo que deberá ser ubicado en el centro de gravedad dentro de la obra.

A la fecha el cálculo del flete se hace de acuerdo que establece el D.S. 049-2002-MTC, 010-2006-MTC y su modificatoria 033-2006-MTC (IBAÑEZ, 2011)

#### **2.2.3.3.2. COSTO DEL MANIPULEO**

Manipular materiales es recoger y depositar, mover en un plano horizontal o vertical o ambos casos a la vez y por cualquier medio, materiales o productos de cualquier clase de estado bruto, semi acabado o completamente acabado. (IBAÑEZ, 2011)

#### **2.2.3.3.3. COSTO DE ALMACENAMIENTO**

Almacenar es un servicio auxiliar en la construcción de las obras. Sus deberes son:

1. Recibir, para su salvaguarda y protección, todos los materiales necesarios para la construcción vial.
2. Proporcionar materiales y suministros, mediante solicitudes autorizadas por el Ingeniero Residente.
3. Llevar los registros de almacén necesarios
4. Hacerse cargo de los materiales en el curso de la construcción
5. Mantener el almacén limpio y en orden, teniendo un lugar para cada cosa y manteniendo cada cosa en su lugar.

En el presente documento el costo de almacenamiento se estima en un monto no mayor del 2% del costo del material. (IBAÑEZ, 2011)

#### **2.2.3.3.4. COSTO POR MERMAS Y DESPERDICIOS**

Merma es la porción de un material que se consume naturalmente. Desperdicios son pérdidas irre recuperables e inutilizables de los materiales, desechos. Se presentan en el proceso de transporte desde el centro abastecedor hasta el almacén de la Obra, en el proceso constructivo, etc., en fin son costos que deben considerarse dentro del costo de material. En el presente libro se le considera 5% del costo del material en el centro abastecedor. (IBAÑEZ, 2011)

Para el presente caso de estudio este valor corresponde a un valor de 3% ya que en su manipulación y colocación final no se generan desperdicios relevantes.

#### **2.2.3.3.5. COSTO POR VIÁTICOS**

Es la subvención por concepto de gastos de viaje, que se le abona al personal de seguridad que salvaguarda el transporte de explosivos (dinamita, fulminante, guía, etc.) a la Obra. Para fines de cálculo se considera el 30% del precio del material en el centro abastecedor. (IBAÑEZ, 2011)

#### **2.2.3.4. EQUIPOS**

Es un elemento muy importante y tiene una gran incidencia en el costo de las carreteras, sobre todo en las actividades de movimiento de tierra y pavimentos.

Para calcular el costo de alquiler horario de los equipos hay que tener presente dos elementos fundamentales. (IBAÑEZ, 2011)

Costo de posesión.- Donde incluye depreciaciones, intereses, capital, obligaciones tributarias, seguros, etc.

Costo de operación.- Donde incluye combustibles, lubricantes, filtros, neumáticos, mantenimiento, operador y elementos de desgaste.

#### **2.2.3.5. ALQUILER DE EQUIPO MECÁNICO**

El costo del alquiler horario del equipo mecánico, para los diversos proyectos de carreteras debe estar determinado por la oferta y la demanda, pero con fines de ilustración.

A continuación vamos a transcribir la tarifa de equipo mecánico aprobado por el Comité Técnico conformado por profesionales de la Cámara Peruana de la Construcción y del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (IBAÑEZ, 2011).

#### **2.2.3.6. HERRAMIENTAS**

Se refiere a cualquier utensilio pequeño que va a servir al personal en la ejecución de trabajos simples y/o complementarios a los que se hace mediante la utilización de equipo pesado. En la construcción de carreteras se utilizan herramientas tales como: cizalla para fierro de construcción, cortadoras, lijadoras eléctricas de disco, motosierras, pulidoras, taladros (manuales y eléctricos), galopas, cepillos, tornos, esmeriles, palas, picos, carretillas, etc.

Dado que el rubro herramientas en un Análisis de Costos Unitarios es difícil determinarlo, además de que incide muy poco en el presente documento se está considerando un porcentaje promedio de 3% de la mano de obra, cuyo porcentaje ha sido calculado en base a criterios más técnicos y a la experiencia en ejecución de carreteras. (IBAÑEZ, 2011).

#### **2.2.3.7. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS**

Existen rubros en los presupuestos, que por ser netamente diferenciados y de considerable incidencia en el monto de ejecución de obra deberán ser considerados separados.

Las partidas genéricas que intervienen en los trabajos de construcción, mejoramiento y/o rehabilitación de una carretera son; Obras Preliminares,



Explanaciones, Pavimento, Obras de Arte y Drenaje, Señalización y Varios (IBAÑEZ, 2011).

## 2.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO RELACIONADOS AL ANÁLISIS

### 2.2.4.1. ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR

El ensayo de soporte de California se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en construcción de carreteras.

El ensayo CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. De paso es interesante comentar que el experimento puede hacerse en el terreno o en un suelo compactado.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria (lb/pulg<sup>2</sup>) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración con un área de (19.4 cm<sup>2</sup>) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado en forma de ecuación esto es:

$$CBR = \frac{CARGA\ UNITARIA\ DEL\ ENSAYO}{CARGA\ UNITARIA\ PATRON} \times 100(\%)$$

*ECUACIÓN 1 OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE CBR*



De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero. (Bowles, 1980)

#### **2.2.4.2. ENSAYO TRIAXIAL DE TEXAS**

El principal objetivo de este ensayo es obtener los parámetros del suelo como la cohesión y el ángulo de rozamiento interno que permiten establecer su resistencia al corte (esfuerzo a la fuerza por unidad de área), aplicando esfuerzos verticales y laterales que tratan de reproducir las condiciones naturales a las que está sometido nuestro suelo que puede ser usado para la obtención de los coeficientes estructurales de capa a2 y a3.

De esta manera se tienen 3 ensayos contenidos el no drenado, el consolidado no drenado y el consolidado drenado, (Bowles, 1980)

#### **2.2.4.3. PROCTOR MODIFICADO**

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 o 6 pulgadas (101.6 o 152.4 mm) de diámetro con un pistón de 10lbf (44.5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457mm) produciendo una energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

El suelo utilizado para base se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería tales como: Resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. Estos ensayos proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de ingeniería requerida y para el control de la construcción para asegurar la obtención de compactación requerida y los contenidos de agua. (MTC, 2000).

#### **2.2.4.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

El objetivo es la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo el cual se hace independiente para la fracción fina que pasa el tamiz n°4 y la retenida en el tamiz n°4. (MTC, 2000)

#### **2.2.4.5. MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ASFALTICO**

El módulo de elasticidad expresado en (psi o lb/pulg<sup>2</sup>) es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplican las fuerzas.

Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de elasticidad tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero. (Bowles, 1980)

El grado de elasticidad que presentan los asfaltos se puede determinar con el ensayo de recuperación elástica por torsión ya que en casos particulares de clima, orografía o de tránsito este valor es crítico para determinar las características y principalmente el coeficiente estructural que aportara a nuestro diseño.

#### **2.2.4.6. DISEÑO OPTIMIZADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

El concepto de diseño optimizado abarcaría muchos aspectos pero para la presente investigación este se refiere a la búsqueda de la mejor manera de reducir los costos de construcción de una manera eficiente y técnica de modo que el método de diseño se mantenga constante pero las variables dentro de su análisis cambien sin que la capacidad estructural del pavimento varíe, así concretamente para la presente investigación el concepto de diseño optimizado varían en relación al diseño clásico en la selección de CBR de subrasante ya que en este último se toman los CBR característicos de cada tramo y no el CBR de diseño usado en el análisis inicial del expediente Técnico de Obra.

## 2.2.5. METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

### 2.2.5.1. MÉTODO DE DISEÑO AASHTO-93 DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporársele algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972. Por esta razón, en el período 1984-1985 el Subcomité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93. (Corredor, 2014)

A lo largo de los años, se han realizado modificaciones para incluir parámetros o factores no considerados, incluyendo experiencias adquiridas por esta institución, otras dependencias y consultores independientes.

En relación al diseño de pavimentos flexibles, este método busca identificar un "numero estructural" o SN que pueda soportar el nivel de carga al que será solicitada la estructura. Para realizar este cálculo, se consideran los siguientes parámetros:

Para realizar el cálculo del parámetro del tránsito W18 (Numero de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas) se puede hacer uso de la Siguiete ecuación:

$$N = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \times F.C.$$

*ECUACIÓN 2 CALCULO DE W18 (AASHTO, 1993)*



- **W18 o N:** Numero de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.
- **TPD:** Transito promedio diario inicial.
- **A:** Porcentaje estimado de vehículos pesados.
- **B:** Porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño.
- **r:** Tasa de crecimiento anual de tránsito.
- **n:** Periodo de diseño.
- **F.C.:** Factor camión.

Para el diseño de pavimentos flexibles necesitaremos analizar los siguientes conceptos:

#### **2.2.5.1.1. W18 (NUMERO DE EJES EQUIVALENTES)**

Este valor corresponde al número de ejes equivalentes sencillos de 18,000lb (8.2ton), acumulados durante el periodo de diseño del pavimento, que transitaran por el carril de diseño en este tiempo.

Con el fin de traducir los resultados de composición vehicular obtenida en los parámetros de diseño, se ha adoptado como eje estándar o de referencia un eje simple de 8.2 toneladas (18,000 libras), determinándose los factores de equivalencia siguiendo la metodología AASHTO, la misma que tiene por criterio de comparación la valorización de la pérdida de la serviciabilidad del pavimento por efecto de la carga. (INSTITUTO METROPOLITANO PROTRANSPORTE DE LIMA, 2008)

#### **2.2.5.1.2. CONFIABILIDAD:**

La "Confiabilidad del Diseño (R)" se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar, en la realidad, el tiempo establecido en el período seleccionado. La confiabilidad también puede ser definida como la probabilidad de que el número de repeticiones de cargas



(Nt) que un pavimento pueda soportar para alcanzar un determinado nivel de servicapacidad de servicio, no sea excedida por el número de cargas que realmente estén siendo aplicadas (WT) sobre ese pavimento".

También se le conoce como "R" y en el método de la AASHTO utilizado sus valores varían entre 50 y 99.99 de acuerdo al nivel que tendrá la vía como podemos ver en la **Tabla 5**. A medida que aumente la importancia de la vía, mayor deberá ser este valor.

TABLA 5 NIVELES RECOMENDADOS DE CONFIABILIDAD (R)

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado (R)					
	Urbano			Rural		
Autopista y carreteras interestatales, y otras vías	85	-	99.9	80	-	99.9
Arterias principales	80	-	99	75	-	95
Colectoras	80	-	95	75	-	95
Locales	50	-	80	50	-	80

FUENTE: (AASHTO, 1993)

### 2.2.5.1.3. VARIABILIDAD $S_o$ :

También llamada desviación estándar total o confiabilidad y representa las posibles variaciones que se pueden presentar en los datos utilizados en el diseño. La guía AASHTO recomienda que para el diseño de pavimentos flexibles se utilice un valor dentro del rango 0.40 – 0.50; mientras que para pavimentos rígidos, se toma como referencia los valores entre 0.30 – 0.40.

TABLA 6 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL  $S_o$

Criterio para la selección de la Desviación estándar total (			
0.30	-	0.40	Pavimentos rígidos
0.40	-	0.50	Pavimentos flexibles

FUENTE: (AASHTO, 1993)

#### 2.2.5.1.4. DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL $Z_r$ :

Es un valor que nos permite tener un parámetro de ingreso en la ecuación del número estructural SN, el coeficiente estadístico de desviación estándar representa un valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

TABLA 7 VALOR DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL  $Z_r$  EN FUNCIÓN DE LA CONFIABILIDAD “ $S_o$ ”

**TABLE 11.15 STANDARD NORMAL DEVIATES FOR VARIOUS LEVELS OF RELIABILITY**

Reliability (%)	Standard normal deviate ( $Z_R$ )	Reliability (%)	Standard normal deviate ( $Z_R$ )
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

FUENTE: (AASHTO, 1993)

#### 2.2.5.1.5. PERIODO DE DISEÑO

Es el tiempo en el cual la estructura funcionara a los niveles de servicio correctos antes de que esta requiera ser reconstruida, de este modo el periodo de diseño a ser empleando para la presente investigación será 20 años, pero la norma sugiere hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, periodo de diseños por dos etapas 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2014)

Datos los cuales son congruentes pero son menores a lo establecido en el manual de diseño AASHTO 93 mostrado en la **Tabla 8**.

TABLA 8 LINEAMIENTOS DE DURACIÓN DEL PERIODO DE ANÁLISIS

**TABLE 11.13 GUIDELINES FOR LENGTH OF ANALYSIS PERIOD**

Highway conditions	Analysis period (years)
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

FUENTE: (AASHTO, 1993)

#### 2.2.5.1.6. MÓDULO DE RESILIENCIA:

Es la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación que puede usarse, en procedimientos analíticos que incluyen cargas de tráfico dinámico y requieran de un módulo de elasticidad.

El ensayo “MTC E 128 - 2000 Modulo Resiliente de Suelos de Subrasantes” cubre los procedimientos normalizados para la determinación del módulo elástico dinámico (de resiliencia) de los suelos haciendo uso de la cámara de compresión triaxial similar a la de los ensayos triaxiales excepto que es algo más grande para facilitar la carga montada internamente el equipo de medida de la deformación, y que tiene salidas adicionales para las guías eléctricas de los aparatos de medida. (MTC, 2000)

Para este método, la propiedad que define cada uno de los materiales es el módulo de resiliencia efectivo o “Mr”; este módulo se obtiene en base a pruebas de laboratorio realizadas con el material a utilizarse en la conformación de la capa de Subrasante.

El módulo de resiliencia es una medida de las propiedades elásticas del suelo y se cuenta con escasa información para poder calcularlo con un ensayo de laboratorio. Sin embargo, existen muchos algoritmos reconocidos internacionalmente que permiten obtener el Mr a partir del cálculo de otras propiedades; en este caso se utilizaron los valores de CBR obtenidos de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$MR=2555*CBR^{0.64}$$

*ECUACIÓN 3 CALCULO DE MR (AASHTO, 1993)*

También se puede estimar valores "normales" de módulo resiliente de los materiales, a partir de propiedades conocidas, tales como CBR. Luego, mediante la aplicación de relaciones empíricas se estima el módulo resiliente para diferentes épocas del año.

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 7,2%

$$M_R = 1.500 * CBR$$

*ECUACIÓN 4 RELACIÓN MR CBR 1 (AASHTO, 1993)*

Para materiales de sub-rasante con CBR mayor de 7,2% pero menor o igual a 20,0%

$$M_R = 3.000 * (CBR)^{0.65}$$

*ECUACIÓN 5 RELACIÓN MR CBR 2 (AASHTO, 1993)*

Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20,0%, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia Guía de Diseño AASHTO-93:

$$M_R = 4.326 * \ln(CBR) + 241$$

*ECUACIÓN 6 RELACIÓN MR CBR 3 (AASHTO, 1993)*

- **Mr** : Modulo de resiliencia del material buscado
- **CBR** : California Bearing Ratio del material de Subrasante

**2.2.5.1.7. SERVICIABILIDAD:**

La servicapacidad de un pavimento se ha definido como su habilidad de servir al tipo de tráfico que utiliza la facilidad vial. La medida fundamental de la servicapacidad, tal como fue establecida en el Experimento Vial de la AASHO (American Association of State Highway Officials), es el Índice de Servicapacidad Actual (PSI), y que puede variar entre los rangos de cero (0) - vía intraficable- a cinco (5) - vía con un pavimento perfecto.

Los índices de servicapacidad inicial (**po**) y final -o terminal- (**pt**), deben ser establecidos para calcular el cambio total en servicapacidad que será incorporado en la ecuación de diseño. (Corredor, 2014)

- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico:

$$pt = 2.5 - 3.0$$

- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas Interurbanas:

$$pt = 2.0 - 2.5$$

- Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de:

$$pt = 1.8 - 2.0$$

El valor de diseño para el criterio de comportamiento que se introduce en la ecuación de diseño es la diferencia entre  $p_o$  y  $p_t$ , es decir:

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

ECUACIÓN 7 CÁLCULO DE  $\Delta PSI$  (AASHTO, 1993)

Donde podemos definir el “po” como la estimación hecha por el usuario inmediatamente después de la construcción (el valor recomendado para pavimentos flexibles es 4.2). Mientras que “pt” es el índice de servicio terminal, un valor que se recomienda oscile entre 2.5 y 3.0 para vías importantes, todos estos valores los encontramos resumidos en la **Tabla 9** proporcionada por el método AASHTO 93.

TABLA 9 ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

- Índice de serviciabilidad inicial (pi)	
4.2	pavimentos flexible
4.5	pavimentos rígidos
- Índice de serviciabilidad final (pt)	
2.5 ó 3.0	carreteras principales
2	carreteras con clasificación menor
1.5	carreteras relativamente menores , donde las condiciones económicas determinan que gastos iniciales deben ser mantenidos bajos

FUENTE: (AASHTO, 1993)

### 2.2.5.1.8. NUMERO ESTRUCTURAL

Es el valor adimensional del aporte total de resistencia de las capas del pavimento sumadas que puede encontrarse haciendo uso de los parámetros arriba descritos mediante la siguiente expresión:

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

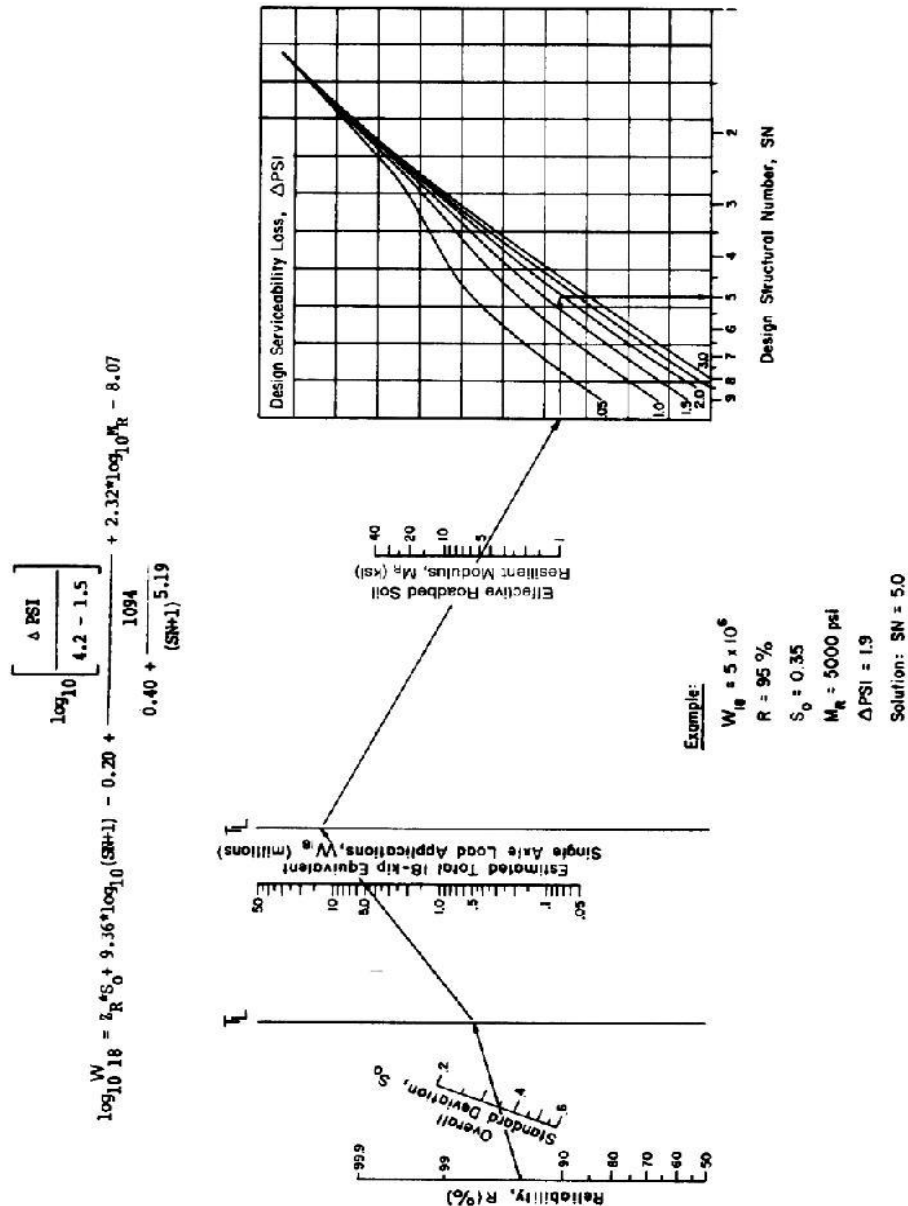
ECUACIÓN 8 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL NECESARIO DE LA SECCIÓN A DISEÑAR  
(AASHTO, 1993)

- **W18:** Numero de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.
- **ZR :** Confiabilidad
- **So :** Variabilidad
- **SN:** Numero estructural de la sección.
- **ΔPSI :** Perdida de Serviabilidad

- **Mr** : Modulo de resiliencia del material de Subrasante

También se puede hacer uso de la siguiente figura para poder obtener el SN a utilizar:

FIGURA 12 NOMOGRAMA PARA LA OBTENCIÓN DEL SN



FUENTE: (AASHTO, 1993)

Una vez obtenido este valor, se relacionan los espesores de cada una de las capas mediante la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_1 D_2 + a_3 m_2 D_3$$

ECUACIÓN 9 FÓRMULA PARA ENCONTRAR EL NÚMERO ESTRUCTURAL DE LA SECCIÓN  
DISEÑADA (AASHTO, 1993)

Donde:

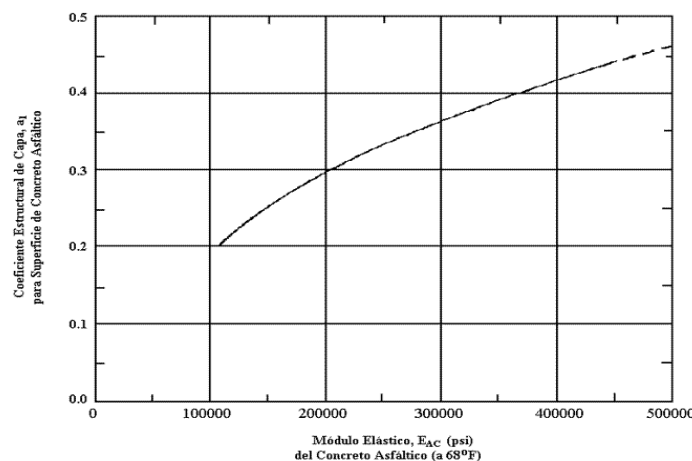
- **a1, a2, a3** : Coeficientes estructurales de cada una de las capas (adimensional)
- **m1, m2** : Coeficientes de drenaje de cada una de las capas (adimensional)
- **D1, D2, D3**: Espesor de cada una de las capas (cm, pulg.)

#### 2.2.5.1.9. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO

En este caso, el coeficiente **a1** se utiliza para representar el aporte de la carpeta asfáltica, el coeficiente **a2** corresponde a la base granular y para la subbase granular se utiliza el coeficiente **a3**.

Los valores a usarse pueden obtenerse de las **Figuras 13, 14 y 15** presentadas en este documento. Estas representan diferentes correlaciones con distintos ensayos y propiedades del suelo a utilizarse como el módulo elástico y el valor de CBR del agregado, mientras que por otro lado el Manual de Carreteras Suelos geología, geotecnia, y pavimentos 2014 sugiere usar el valor de 0.40 a 0.44 = a1 para mezclas asfálticas en caliente.

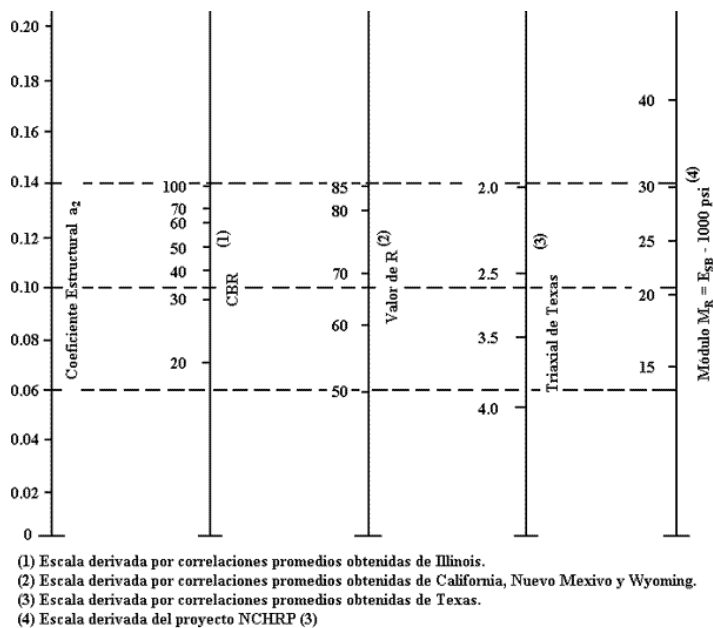
FIGURA 13 OBTENCIÓN DE COEFICIENTE A1



FUENTE (AASHTO, 1993)

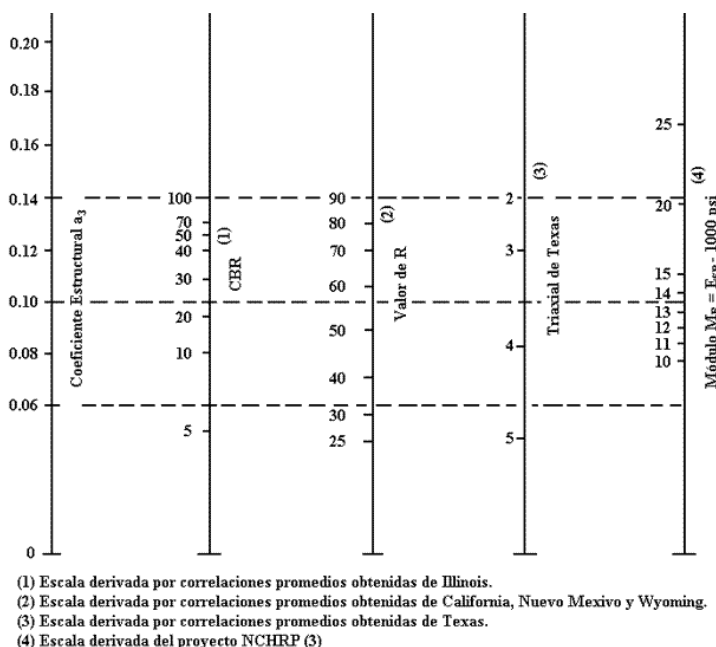


FIGURA 14 OBTENCIÓN DE COEFICIENTE A2



FUENTE: (AASHTO, 1993)

FIGURA 15 OBTENCIÓN DE COEFICIENTE A3



FUENTE: (AASHTO, 1993)

### 2.2.5.1.10. COEFICIENTES DE DRENAJE DEL PAVIMENTO

Por otro lado, para la obtención de los coeficientes de drenaje  $m_2$  y  $m_3$  que corresponden a las capas de base y subbase, se define como la capacidad de drenaje para eliminar la humedad interna del pavimento según las siguientes consideraciones:

*TABLA 10 DIFERENCIAS EN LA CALIDAD DEL DRENAJE DE LA ESTRUCTURA*

Calidad del Drenaje	Tiempo necesario para remover el agua dentro de la capa de pavimento
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	No hay drenaje de agua

*FUENTE: (AASHTO, 1993)*

A partir de estas definiciones, se pueden obtener los coeficientes recomendados por AASHTO **Tabla 11** en función de la calidad del drenaje y el tiempo, expresado como un porcentaje, en el que estará expuesta la estructura a niveles cercanos a la saturación, para cálculos más conservadores se puede usar el valor de 1 para “mi”.

TABLA 11 DIFERENCIAS EN LA CALIDAD DEL DRENAJE DE LA ESTRUCTURA

Calidad de Drenaje de la Base o sub-base	Porcentaje del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está sometido a condiciones de humedad cercanas a saturación			
	Menos del 1 %	Entre el 1 y 5 %	Entre el 5 y 25 %	Más del 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

FUENTE: (AASHTO, 1993)

#### 2.2.5.1.11. PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO

Una vez hallados los coeficientes de capa se procede a realizar los diseños de espesores tentativos usando la **Ecuación 9** y respetando las condicionales de diseño expuestas a continuación:

- Para Determinar D1

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

- Para Determinar D2

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2}$$

- Para Determinar D3

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - a_1 D_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3}$$

#### 2.2.5.2. AASHTO R-50 DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS

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), esta es una versión actualizada y la última versión de este documento a la actualidad. Estas tienen



la finalidad de brindar una guía para el uso de estos materiales (principalmente al uso de geo textiles y geomallas) cuando buscamos incluir el aporte estructural que se genera al colocar un refuerzo tanto en la base como en la subbase en la estructura del pavimento.

La poca información respecto a este beneficio de la aplicación de estos geosintéticos en manuales publicados por la AASHTO se debió a la carencia de información respecto a los siguientes temas:

- Mayor información cuantificable buscando el beneficio estructural encontrado al usar bases y subbase reforzadas con los geosintéticos.
- Se buscaba alcanzar una deformación para movilizar a los mecanismos de (membrana tensionada) estos se creían muy superiores a las aceptadas para pavimentos.
- Justificar con el nuevo uso de estos materiales el beneficio económico alcanzado.
- Que propiedades mecánicas son las necesarias alcanzar respecto a su desempeño.
- El mecanismo de confinamiento lateral está directamente relacionado con el tamaño del agregado a usar y la interacción que se produce entre este y los geosintéticos, causando una falta de entendimiento a este.
- Los beneficios que se pueden lograr durante el periodo de vida útil de la vía son debidos a la influencia de la deformación por creep y su relajación de esfuerzos de estos materiales.

Los documentos que se tomaron para elaborar estos documentos fueron referencias de otras publicaciones como la Asociación de Materiales Geosintéticos (GMA) y el Instituto Nacional de Carreteras (NHI):



- WHITE PAPER I –“Geosynthetics in Pavement Systems Applications” (1999)
- WHITE PAPER II – “Geosynthetics Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures” (2000)
- “Geosynthetic Design and Construction Guidelines” (1999)

Los geosintéticos no se pueden relacionar con otros sin realizar comprobaciones en campo para determinar sus aportes estructurales y los beneficios económicos que se logran para cada caso en particular.

No podemos tomar la investigación realizada por algún fabricante en especial, con un tipo de material específico y con sus características propias buscar que este se comporte con la misma eficacia o similar sin obtener resultados de ensayos realizados con diferentes condiciones de tráfico, materiales, etc.

Esto nos explica que los mecanismos de refuerzo de estos materiales van relacionados con sus propiedades mecánicas y las del material de relleno que los rodea.

Gracias a esto nos recuerda que cada proveedor o fabricante debe de justificar los valores, datos presentados en las fichas técnicas de los materiales con investigaciones y ensayos validos reconocidas por instituciones de alto nivel, al momento de elegir el material con el que se desee trabajar para el diseño final.

Nos remitiremos a la información del documento WHITE PAPER II de la GMA, ya que este documento es una guía resumida.



### 2.2.5.3. GMAWHITE PAPER II

Este documento tiene como objetivo específico resaltar los beneficios del uso de geosintéticos en estructuras de pavimentos recomendando algunos criterios y un procedimiento de diseño para el caso de refuerzo de bases granulares.

Estos materiales evaluados en el GMAWHITE PAPER II son las (geomallas que son extruidas y tejidas).

Las geomallas Extruidas son fabricadas en polipropileno o polietileno de alta densidad.

Las geomallas Tejidas esta fabricadas con hilos o tiras multifilamento de poliéster recubiertas de un polímero protector.

Los compuestos que son formados por los materiales antes mencionados considerados como un geocumpuesto que es un material formado por uno o más geosintéticos o también por la colocación de uno encima de otro. Gracias a esta información se ha determinado un método de diseño detallado.

Primera recomendación antes de utilizar y diseñar un pavimento reforzado con geomallas, debemos evaluar las condiciones del proyecto y determinemos si es favorable o no en el uso de estos material como lo indica en la **Tabla 12**.

El método es compatible con el método tradicional que presenta ASSHTO 93 con algunos conceptos que son importante para determinar los espesores finales de la estructura de pavimento:

- TBR (Traffic Benefit Ratio): Este número nos indica el incremento de números de ciclos de carga para poder alcanzar una falla previamente definida en comparación con el número de los ciclos de carga estos medidos sobre una sección no reforzada. Conocidos o denominados también como TIF (Traffic improvement factor).

- BCR (Base Course Reduction): Viene a ser el factor que se define como la reducción en porcentaje, en espesor necesario para llegar a una falla



determinada con anticipación con las mismas condiciones al cotejar una sección reforzada con una no reforzada.

A continuación procedemos a detallar el procedimiento que luego utilizaremos para el caso práctico.

#### **2.2.5.3.1. PASO 1 EVALUACIÓN DEL USO DE UN GEOSINTÉTICO COMO REFUERZO**

Para este primer paso necesitamos los valores de la subrasante estas se obtiene con la medición del CBR, el módulo resiliente ( $M_r$ ), o su resistencia no drenada al corte ( $c_u$ ). A partir de estos valores se le puede clasificar como baja, moderada o firme. Como referencia se tiene una clasificación basada en los valores de CBR medidos en campo donde se tiene que una subrasante inadecuada presenta valores menores a 3; una insuficiente, valores entre 3 y menores a 6; una regular, valores entre 6 y menores a 10; una buena, valores entre 10 y menores a 20; una muy buena, valores entre 20 y menores a 30; y, por último, una subrasante excelente será aquella que cuenta con valores de CBR superiores a 30.

Si buscamos reducir los espesores de las capas, podemos estimar una reducción entre el 20-50% (normalmente la reducción se limita a un rango entre 75-125mm) Para luego estimar el espesor de capas de base y subbase.

Gracias al valor definido del coeficiente de drenaje ( $m$  según AASHTO) podemos determinar si tendremos un material de relleno de granulometría abierta o bien gradada.

Ya con los valores hallados podemos determinar si aplicaremos o no el uso de estos materiales geosintéticos con la ayuda de la **Tabla 12**.

TABLA 12 APLICABILIDAD O NO DEL USO DE GEOSINTÉTICOS

Condiciones de Diseño de la vía		Tipo de Geosintético a ser usado					
Subrasante	Espesor de Base/Subbase	Geotextil		Geomalla		Geocompuesto (Geotextil-Geomalla)	
		No Tejido	Tejido	Extruida	Tejida	Base de granulometría abierta	Base bien gradada
Baja (CBR < 3)	150 – 300	NT <sup>4</sup>	1	1	4	1	NT <sup>5</sup>
	>300	NT <sup>4</sup>	NT <sup>4</sup>	3	3	3	NT <sup>5</sup>
Moderada (3 < CBR < 8)	150 – 300	NT <sup>6</sup>	3	1	4	1	NT <sup>5</sup>
	>300	NT <sup>6</sup>	NT <sup>6</sup>	NT <sup>7</sup>	4	4	NT <sup>5</sup>
Firme (CBR > 8)	150 – 300	2	2	3	4	4	NT <sup>5</sup>
	>300	2	2	2	2	2	NT <sup>5</sup>

FUENTE: (AASHTO, 2000)

Leyenda:

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

- a) Se asume que toda la base estará reforzada. Para esto vemos que el refuerzo se colocará en la parte inferior de la capa o dentro de esta (usualmente cuando el espesor es mayor a 300mm). No se recomienda colocar un espesor menor a 150mm cuando se construye sobre subrasantes de baja capacidad. Así mismo, el espesor mínimo de relleno sobre el refuerzo también deberá de ser 100mm por motivos de facilidad de compactación.
- b) Para bases de granulometría abierta o bases de poco espesor sobre subrasantes húmedas y conformadas por suelos finos, un geotextil de separación debe ser considerado junto con la geomalla de refuerzo.
- c) Se asume una base colocada directamente sobre la subrasante, una capa de subbase también puede proporcionar una adecuada filtración a la estructura.
- d) Se puede colocar una geomalla como refuerzo de base; sin embargo, esta aplicación se considera un mejoramiento de subrasante.





- e) Un geotextil no es requerido para brindar filtración a la estructura cuando se usa un material bien gradado como material de base; por lo tanto, un geo compuesto de refuerzo no aplicaría en este caso,
- f) Aplicaciones de filtración y separación; en este caso, no aplica como refuerzo.
- g) Usualmente no se aplica cuando se coloca la geomalla en la parte inferior de la capa de base a reforzar.

#### **2.2.5.3.2. PASO 2 DISEÑO DE LOS ESPESORES DE LAS SECCIÓN NO REFORZADA**

Para este caso realizamos un diseño convencional o tradicional de nuestra sección sin refuerzo y elegimos el más apropiado. Utilizando el método AASHTO 93.

#### **2.2.5.3.3. PASO 3 DETERMINAR LOS BENEFICIOS DE UTILIZAR UN REFUERZO GEOSINTÉTICO**

En este paso debemos de analizar los beneficios para que puedan ser cuantificables para la reducción de gastos y ahorro en los costos totales del proyecto usamos la **Tabla 13**. Podemos realizar una lista donde describimos lo que se busca con este nuevo diseño.

#### **2.2.5.3.4. PASO 4**

Una vez identificada el real objetivo del diseño, podemos determinar con que factor vamos a trabajar, el BCR será solo una opción útil cuando busquemos reducir espesores en las capas estructurales del diseño. Utilizando el TBR para cualquier beneficio antes citados.

El TBR o BCR deben de tener un valor adecuado para cada proyecto en especial. Esto nos arroja valores de ensayos realizados que posean condiciones parecidas a las del proyecto en evaluación, además debemos

tener ensayos de laboratorio como también pruebas de campo con los mismos tipos de refuerzos a recomendar.

La elección de un coeficiente adecuado dependerá de la calidad de los resultados obtenidos. Ya que cada tipo de refuerzo tiene una diferente conformación y que posee diferentes factores que afectan su desempeño.

TABLA 13 BENEFICIOS A LOGRARSE CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS

BENEFICIO	CONDICIÓN INICIAL DE LA SUBRASANTE		
	Baja (CBR < 3)	Moderada (3 < CBR < 8)	Firme (CBR > 8)
Reducción de excavaciones	1	2	3
Reducción del espesor de agregado necesario para estabilizar la subrasante	1	2	3
Reducción de la alteración de la subrasante durante la construcción	1	2	3
Refuerzo de la capa de <u>subbase</u> 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 <u>subbase</u> 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

FUENTE: (AASHTO, 2000)

Leyenda:

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

#### 2.2.5.3.5. PASO 5 DISEÑO DEL PAVIMENTO REFORZADO

##### a. DISEÑO POR EXTENSIÓN DEL PERIODO DE VIDA ÚTIL DE LA VÍA

En este caso, no se modifica el espesor de las capas ya que buscamos determinar un tiempo antes que la sección a diseñar necesite una rehabilitación.

$$Vida\_Util = \frac{W_{18}}{ESALs / año}$$

ECUACIÓN 10 CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL DE LA VÍA NO REFORZADA (AASHTO, 2000)

Donde:

- W18: Numero de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.
- ESAL: Ejes equivalentes de carga

El factor de TBR, determinado previamente, es aplicado para calcular un nuevo número de pasadas (W18R) que permitirá obtener el periodo diseño de la sección reforzada utilizando la **Ecuación 11**.

$$W18_R = \frac{W_{18}}{TBR}$$

ECUACIÓN 11 CÁLCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE UNA SECCIÓN REFORZADA (AASHTO, 2000)

Donde:

- W18: Número de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.
- TBR : Traffic Benefit Ratio

## b. DISEÑO POR REDUCCIÓN DE ESPESORES

Se determina un nuevo espesor de la capa de base (D2R) esto hace que tengamos el mismo comportamiento si utilizamos el BCR bajo las mismas sollicitaciones externas, que la sección no reforzada.

$$D2_R = D2_{NR} \times BCR$$

ECUACIÓN 12 CÁLCULO DE ESPESOR DE BASE REFORZADA UTILIZANDO BCR (AASHTO, 2000)

Donde:

- D2R: Espesor de capa de base reforzada.
- D2NR: Espesor de capa de base no reforzada.
- BCR: Base Course Reduction Factor.

Por otro lado, si se utiliza el valor de TBR como referencia, se puede utilizar un método indirecto para encontrar un número estructural equivalente (SNR). Para esto se necesita conocer el W18R y con este número encontrar el nuevo espesor de base.

$$D2_R = \frac{SN_R - (a_1 \times D_1 + a_3 \times D_3 \times m_3)}{a_2 \times m_2}$$

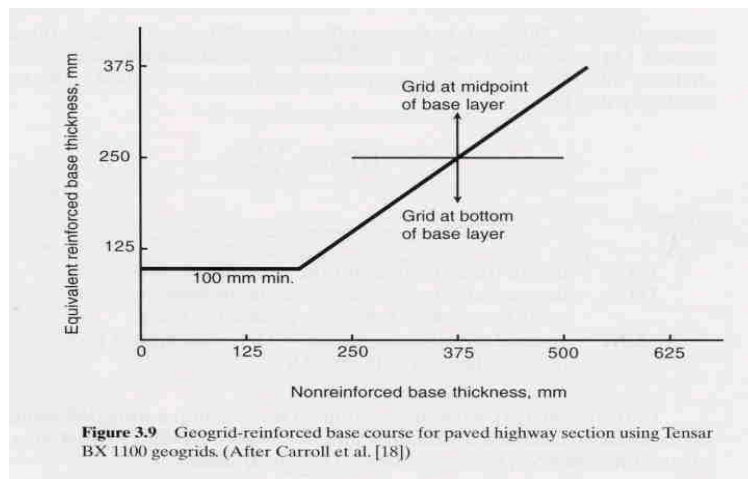
ECUACIÓN 13 CÁLCULO DE ESPESOR DE BASE REFORZADA UTILIZANDO TBR (AASHTO, 2000)

Donde:

- D2R : Espesor de capa de base reforzada
- SNR : Número estructural de sección reforzada
- a1, a2, a3 : Coeficientes estructurales de cada una de las capas
- m1, m2 : Coeficientes de drenaje de cada una de las capas
- D1, D2, D3 : Espesor de cada una de las capas

Otro método usado frecuentemente es el uso del Abaco de equivalencias de bases reforzadas las cuales son proporcionadas por el fabricante que en este caso se hace uso del Abaco para el modelo de geomalla Tensar BX-1100.

FIGURA 16 EQUIVALENTES DE BASES REFORZADAS CON GEOMALLAS



FUENTE: (TENSAR, 2009)

### c. DISEÑO POR COMBINACIÓN DE AMBOS FACTORES

Es factible determinar un espesor “intermedio” que permita reducir espesores y aumentar, en cierto modo, el desempeño de la sección. Para ello se debería escoger un espesor intermedio entre D2 y D2R (Paso 5.b) y encontrar el aumento del periodo de vida útil de la sección con este nuevo espesor (Paso 5.a).

### d. DISEÑO POR SEPARACIÓN Y FILTRACIÓN

El geosintético a colocarse como refuerzo también cumple la función de separador entre suelos disímiles (como lo pueden ser el agregado granular de las capas de base o subbase y el suelo que conforma la subrasante) y previene que haya una mezcla entre ellos o que se produzca el fenómeno de “bombeo”. Sin embargo, en algunos casos, se debe evaluar si es necesario colocar algún filtro adicional para evitar estos problemas; generalmente cuando se tiene la presencia de suelos con partículas muy finas que pueden migrar hacia las capas superiores. Se podría usar una capa de suelo (puede ser un material bien gradado o una arena) o un material sintético (el material más usado para cumplir esta función es el geotextil).



Una recomendación general puede ser empezar por evaluar si el material colocado en las capas de base y subbase servirá como filtro natural. Si esto no es posible, un geotextil puede ser requerido ya que es un material que no involucra un alto costo dentro del presupuesto de la obra por su fácil instalación y transporte y cumple específicamente la función de separación. Asimismo, se puede considerar colocar un geotextil para tener una mayor seguridad. Se puede tomar como referencia el manual de la FHWA (Holtz, et al., 1998) donde se indican algunos criterios para el diseño del geotextil a usar. Por ejemplo, se debe comprobar que se cumpla que el “piping ratio” sea menor que 5 (en el caso de subrasante de alta plasticidad se toma el valor de 10 como referencia). Este valor se define como  $D_{15} \text{ material granular} / D_{85} \text{ subrasante}$ . Por otro lado, para el caso de subrasantes de limo y arena muy fina, se añade un criterio adicional que sería  $D_{50} \text{ material granular} / D_{50} \text{ subrasante} < 25$ .

#### **2.2.5.3.6. PASO 6 ANÁLISIS ECONÓMICO**

Para este paso el cual es uno de los más importantes en obras de infraestructura vial procedemos a realizar un análisis de costos para la sección reforzada con geosintéticos y la no reforzada.

Procedemos con el análisis de costos implicados durante el periodo de vida del pavimento para las 2 secciones anteriormente mencionadas.

Realizamos una lista que tenga los beneficios adicionales que no pueden ser cuantificables económicamente entre ellos tenemos (reducción en excavaciones en la subrasante, un buen comportamiento de la estructura del pavimento, incremento en su aporte estructural en las capas, etc.)

Hacer un comparativo técnico y económico para determinar la solución final.



## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

###### **3.1.1.1. POR SU FINALIDAD**

Según (SAMPIERI, 1991), este tipo de investigación fue aplicada pues utilizamos una serie de conocimientos de ingeniería para solucionar problemas propios de la ingeniería civil en la rama vial para beneficio de la sociedad y obtener un producto final.

###### **3.1.1.2. POR SU ENFOQUE**

Según (SAMPIERI, 1991), la investigación es cuantitativa por que se basa en resultados medibles, obtenidos en ensayos de laboratorio los cuales tienen unidades de medida como son el CBR, ESAL, WT18, entre otros, estos en conjunto involucrados en la obtención de los factores de capa y el diseño en sí mismo de los espesores de la estructura del pavimento.

##### **3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

Según (SAMPIERI, 1991), es correlacional de modo que busca saber cómo se puede comportar un concepto o una variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas, es decir intentar predecir en nuestro caso la reducción de costo aproximado que tendrá el proyecto a partir de las variables relacionadas como son la reducción de espesores en las capas del pavimento con la adición de geomallas como refuerzo estructural.



### **3.1.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

Según (SAMPIERI, 1991), El método de la investigación es Hipotético-Deductivo porque en la tesis se plantea la hipótesis general y sub-hipótesis con respecto a las características de la obra en relación a la reducción de costos con el cambio en la ingeniería del proyecto siendo finalmente elaboradas las conclusiones respondiendo a la hipótesis de la investigación.

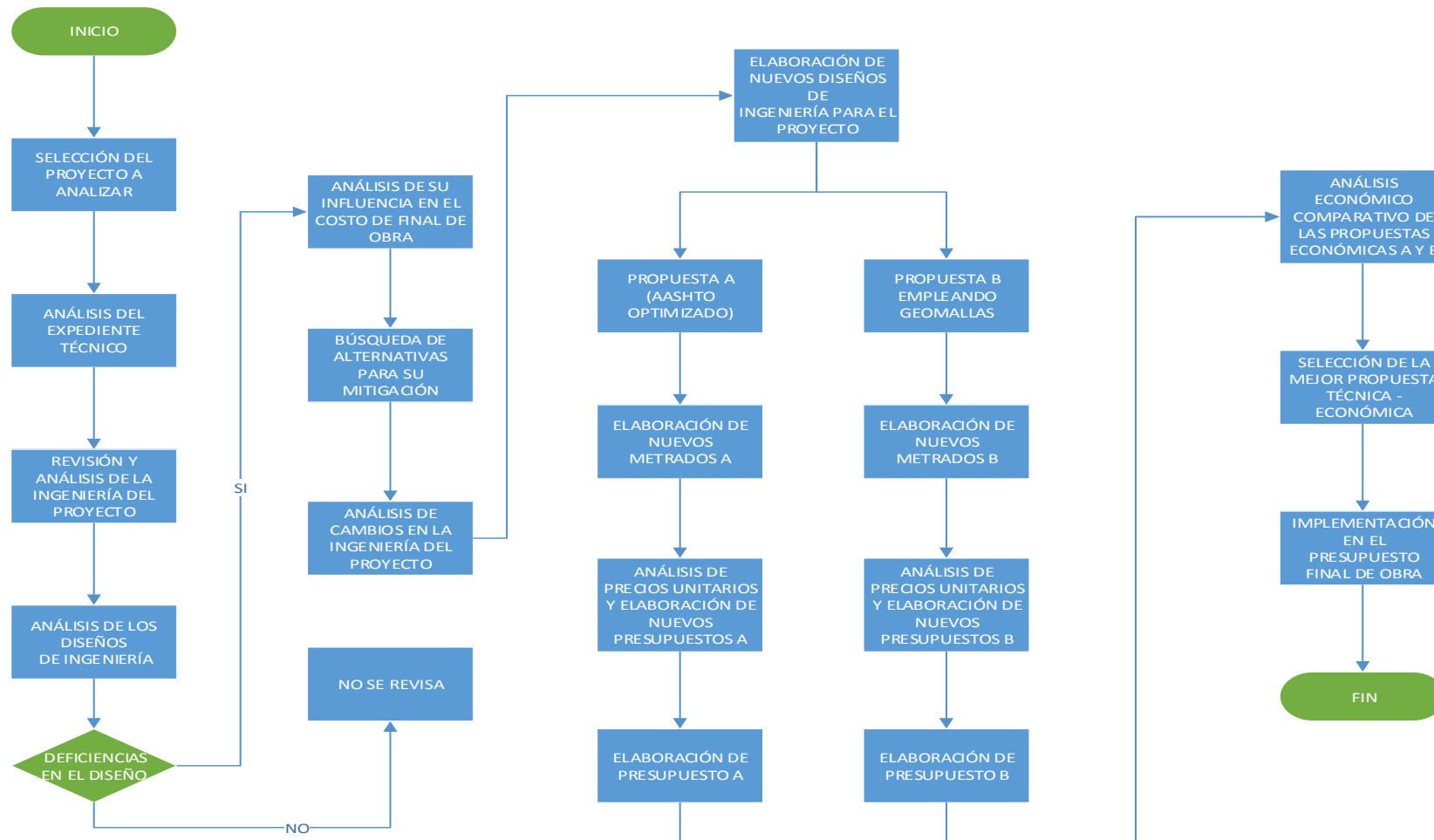
## **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO**

Según (SAMPIERI, 1991), el diseño de la investigación de la tesis fue no experimental transversal, porque fue una investigación sistemática en que las variables independientes no se manipularon porque ya sucedieron, la inferencia sobre las relaciones entre variables se realizaron sin intervención o influencia directa y dichas observaciones se dieron tal y como se dieron en su contexto natural, y transversa ya que la recolección de datos se dio en un momento único y su propósito fue de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.



### 3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1. POBLACIÓN

##### 3.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

###### 3.3.1.1.1. POBLACIÓN

Dicha población estuvo constituida por el tramo total de 19.140 km. de longitud de la obra en construcción **Mejoramiento De La Carretera Cu-110 “Huariocondo – Pachar”, Ubicado En Los Distritos De Huariocondo Y Ollantaytambo, Provincias De Anta Y Urubamba, Región Cusco** en la cual fue analizada la ingeniería del proyecto para hallar sus deficiencias en el diseño y presupuesto final de obra.

###### 3.3.1.2. CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN

Se consideró el tramo total de 19.140 km. de longitud de la obra en construcción **Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar”, Ubicado en los distritos de Huariocondo Y Ollantaytambo, Provincias De Anta Y Urubamba, Región Cusco.**

#### 3.3.2. MUESTRA

##### 3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra estuvo constituida por tramos subdivididos en función a la caracterización del CBR de la subrasante proveniente de los estudios geotécnicos hechos para la elaboración del Expediente Técnico Aprobado de la obra **Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar”, Ubicado en los distritos de Huariocondo Y Ollantaytambo, Provincias De Anta Y Urubamba, Región Cusco.**



### 3.3.2.2. CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra estuvo constituida por 31 tramos subdivididos en función a la caracterización del CBR de la subrasante proveniente de los estudios geotécnicos hechos para la elaboración del Expediente Técnico Aprobado de la obra **Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar”**, Ubicado en los distritos de Huariocondo Y Ollantaytambo, Provincias De Anta Y Urubamba, Región Cusco.

### 3.3.2.3. MÉTODO DE MUESTREO

El método de muestreo que se utilizó en la investigación fue no probabilístico o por conveniencia debido a que se seleccionaron todos los tramos de la carretera, dada la conveniencia e intervención para los cálculos finales de la investigación.

### 3.3.2.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA MUESTRA

Se realizó la subdivisión del Tramo total de 19.140 km en 31 tramos para realizar los nuevos diseños de pavimentos estos bajo el criterio de caracterización del CBR de la Subrasante proveniente de los estudios geotécnicos contenidos en el expediente Técnico de la obra **Mejoramiento de la carretera CU-110 “Huariocondo – Pachar”**, Ubicado en los distritos de Huariocondo Y Ollantaytambo, Provincias De Anta Y Urubamba, Región Cusco.

Se proponen dos tipos de Diseño para los 31 tramos, el primero siguiendo los parámetros establecidos por el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014 el cual en su capítulo XII establece el uso más generalizado actual en el país el cual es el Método (AASHTO Guide For Design Of Pavements Structures 1993) y segundo haciendo uso del mismo método para el cálculo de los nuevos espesores de base reforzada se usa los ábacos de equivalencia de bases granuladas reforzadas con geomallas Tensar BX-1100.



CUADRO RESUMEN N° 01: PARAMETROS FISICO - MECANICOS DE LA SUB RASANTE DE VIA

PROYECTO	:	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUAROCONDO - PACHAR.
SOLICITA	:	PLAN COPESCO
UBICACIÓN	:	DISTRITO: HUAROCONDO - OLLANTAYTAMBO; PROVINCIA: ANTA - URUBAMBA, REGION: CUSCO.
FECHA	:	CUSCO, Setiembre del 2012

MUESTRA	CALICATA	PROGRESIVA	CBR	CALIDAD DEL SUELO						Granulometría - % Pasa Tamiz				Proctor		
					Prof.	Humed. Natural	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	Grupo	Dens. Max.	Humed. Óptima
					(m.)	%	(L.L.)	(L.P.)	(I.P.)							
1	C-01	0+000	18.0	REGULAR	1.3	14.2	21.52	19.1	2.42	55.7	41.3	28.1	13.7	GM	2.01	6
2	C-02	0+250	9.0	MALO	1.7	24.3	26.37	23.43	2.94	92.1	88.7	84.9	62	ML	1.82	10.4
3	C-03	0+500	15.0	REGULAR	1.5	19.5	27.77	23.97	3.8	68.6	66.2	85.2	42.7	GM	1.86	10.7
4	C-09	2+000	20.0	REGULAR	1.5	6.1	21.46	18.04	3.42	65.3	58.9	49.5	39.3	GM	2.06	5.9
5	C-11	2+500	8.0	MALO	1.6	9.7	2.77	NP	NP	100	99.5	93.1	46.3	SM	1.75	6.7
6	C-15	3+500	17.1	REGULAR	1.6	10.9	24.2	21.86	2.34	63.3	50.7	32.9	16.6	GM	1.92	7.9
7	C-18	4+250	10.0	MALO	1.5	15.1	18.27	NP	NP	100	99.3	83.7	38.4	SM	1.7	11.4
8	C-20	4+750	16.9	REGULAR	1.5	16	32.61	25.92	6.69	50.7	46.5	35.6	25	GC-GM	1.89	12.2
9	C-21	5+000	13.3	REGULAR	1.5	9.3	39.8	36.06	3.74	61.6	53.9	44.2	31.4	GM	1.89	11.8
10	C-25	6+000	9.1	MALO	1.6	10.1	34.06	31.93	2.13	45.5	41.8	34.1	26.5	GM	1.69	11.7
11	C-26	6+250	13.9	REGULAR	1.5	9.9	26.23	23.76	2.47	61.4	57.1	46.6	36.2	GM	1.69	10.2
12	C-28	6+750	12.7	REGULAR	1.7	8.3	26.72	23.61	3.11	55.3	40.6	27.7	19.6	GM	2.02	11.7
13	C-30	7+250	14.9	REGULAR	1.6	21.6	32.75	29.96	2.79	53.7	48.1	37.7	27.4	GM	1.83	11.3
14	C-33	8+000	14.7	REGULAR	1.5	9.8	19.34	17.33	2.01	49.3	37.4	26.1	18.9	GM	2.13	7.9
15	C-38	9+250	8.7	MALO	1.5	20.7	21.01	18.91	2.1	58.1	55	46.4	33.9	GM	1.72	14.7
16	C-39	9+500	19.7	REGULAR	1.5	4.2	19.27	NP	NP	46.7	34	13.6	3	GP	2.07	5.5
17	C-41	10+000	9.7	MALO	1.5	21.3	27.3	24.28	3.02	55.4	50.6	41.2	30.5	GM	1.83	11.7
18	C-44	10+750	6.3	MALO	1.5	16.6	29.06	25.55	3.51	60.1	56.6	51	42.1	GM	1.59	12.8
19	C-48	11+750	11.4	REGULAR	1.7	23.2	23.7	18.97	4.73	87.8	84.4	75.5	62.2	CL-ML	1.7	10.4
20	C-49	12+000	13.7	REGULAR	1.6	11.7	21.74	19.31	2.43	63.4	55.2	42.7	28.1	GM	1.99	8.4
21	C-51	12+500	18.7	REGULAR	1.6	6.9	25.76	20.11	5.65	64.1	53.7	40.1	29.3	GC-GM	2.14	7.9
22	C-59	14+500	14.7	REGULAR	1.7	12.7	19.63	NP	NP	95.7	99.1	78.7	38.9	SM	1.84	5.8
23	C-62	15+250	15.3	REGULAR	1.6	8.8	31.7	27.94	3.76	31.3	24.1	13.9	7.6	GP-GM	2.04	6
24	C-63	15+500	17.6	REGULAR	1.5	8.2	23.13	19.03	4.1	36.1	31.6	21.3	11.1	GP-GC-GM	2.12	6.8
25	C-64	15+750	14.7	REGULAR	1.1	7.7	22.73	20.23	2.5	66.1	61.8	53.6	35.9	GM	1.9	6.1
26	C-70	17+250	14.7	REGULAR	1.6	8.1	26.08	21.44	4.64	51.9	45.9	32.8	23.8	GC-GM	2.01	7
27	C-73	18+000	16.6	REGULAR	1.6	4.4	28.02	25.07	2.95	69.2	61.9	47.9	34.5	SM	2.05	8.1
28	C-74	18+250	9.4	MALO	1	22.2	60.39	NP	NP	37.8	28.9	19.2	11.5	GP-GM	1.87	7.9
29	C-75	18+500	13.1	REGULAR	0.85	7.8	25.55	21.1	4.45	34.5	28.8	22.5	15.9	GC	2.04	6.3
30	C-76	18+750	17.3	REGULAR	1.65	5.8	NP	NP	NP	48	40	24.6	10.4	GP-GM	2.15	5.1
31	C-77	19+000	14.7	REGULAR	1.5	8.3	19.21	NP	NP	86.6	83.4	70.3	31.5	SM	1.98	5.3
32	C-78	19+250	21.7	REGULAR	1.5	3.8	20.25	16.45	3.8	30.9	26.9	15.9	8.1	GP-GM	2.22	5.3
33	C-79	19+500	13.3	REGULAR	1.6	7.2	26.78	20.04	6.74	60.3	53.5	43	30.7	GC-GM	2.05	7.9
34	C-80	19+750	15.7	REGULAR	1.5	6.4	17.25	NP	NP	38.9	32.8	16.3	6.9	GC-GM	2.08	5.2

FUENTE: (COPESCO, 2013)



### 3.3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Los CBR característicos para cada tramo se encuentran dentro de los parámetros utilizados en un diseño normal sin mejoramiento de subrasante de acuerdo a lo establecido en el Manual de Carreteras Suelo, Geología y Pavimentos numeral 3.3 subrasante del camino que al pie dice “los suelos por debajo del nivel de la subrasante en una profundidad no menor de 0.6 metros, deberán ser suelos adecuados y estables con  $\text{CBR} \geq 6\%$ , en caso de que el suelo debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un  $\text{CBR} < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada) corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el ingeniero responsable analizara según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiendo la más conveniente técnica y económica”.


### 3.4. INSTRUMENTOS

Se utilizó el expediente Técnico Aprobado de Obra para la recolección de datos de ensayos de laboratorio para su respectivo procesamiento en gabinete para los nuevos diseños de pavimentos flexibles se usaron los datos de entrada de los diseños iniciales del expediente como: ESAL, Confiabilidad (R%), Desviación Estándar ( $Z_r$ ), Desviación Estándar Total o Variabilidad ( $S_o$ ), Nivel De Servicio Inicial ( $P_o$ ), Nivel De Servicio Final ( $P_t$ ) y para el cálculo de los nuevos presupuestos de obra se tomaron los precios unitarios iniciales del expediente técnico y cotizaciones de geomallas para su uso en los mismos.


#### 3.4.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- a) Expediente Técnico
- b) Formatos de recolección de Datos

TABLA 15 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



---


<b>DATOS:</b>	
RESPONSABLE	
FECHA	
LUGAR	
ESAL DE DISEÑO	
CONFIABILIDAD	
DESVIACION	
SERV INICIAL (Po)	
SERV FINAL (Pt)	
DELTA PSI	
So	

<b>DATOS DE SUELO</b>	
CBR BASE (%)	
CBR SUBBASE (%)	
CBR SUBRASANTE (%)	
ESTABILIO MARSHALL (N)	
F'c (Mpa)	

Modulo Resiliente (Psi)	
-------------------------	--



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

$\log_{10}(W_{18})$   =       SN

CAPA DE MATERIAL	Coeficiente de Capa (a)	Coeficiente de Drenaje (m)	ESPESOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPESOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Asfalto						
Base Granular						
Sub Base Granular						

SN (Calculado)

SN (Requerido)

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 16 REPORTE DE NUEVOS ESPESORES DEL DISEÑO AASHTO OPTIMIZADO

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	 <b>DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 93</b>					
<p>“ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE COSTOS EN OBRAS VIALES MEDIANTE OPTIMIZACIONES DE INGENIERÍA: CASO DE ESTUDIO, OBRA MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CU-110 “HUAROCONDO – PACHAR”, UBICADO EN LOS DISTRITOS DE HUAROCONDO Y OLLANTAYTAMBO, PROVINCIAS DE ANTA Y URUBAMBA, REGIÓN CUSCO”</p>						
<p><b>Fecha:</b>  <b>Tramo:</b>  <b>Carretera:</b> Ingeniería Civil  <b>Tesistas:</b> Bach. Ing. Jose Diego Florez Rojas          Bach. Ing. Cesar Luis Aguirre Zuñiga</p>						
<b>Diseño de Pavimento Flexible</b>						
<b>Número Estructural</b>	<b>Módulo Resiliente (Psi)</b>					
<b>Design ESALs</b>	<b>Serviciabilidad Inicial</b>					
<b>Confiabilidad</b>	<b>Serviciabilidad Final</b>					
<b>Desviación Estandar</b>	<b>Perdida de Serviciosabilidad</b>					
<b>Diseño de Espesores de Pavimento</b>						
<b>CAPA DE MATERIAL</b>	<b>Coefficiente de Capa (a)</b>	<b>Coefficiente de Drenaje (m)</b>	<b>ESPESOR (Pulg)</b>	<b>Numero Estructural de Capa (SN)</b>	<b>ESPESOR (cm)</b>	<b>Numero Estructural de Capa (SN)</b>
Asfalto						
Base Granular						
Sub-Base Granular						
<b>Espesores de Pavimento estabilizados con Geomalla en la base</b>						
<b>CAPA DE MATERIAL</b>	<b>Coefficiente de Capa (a)</b>	<b>Coefficiente de Drenaje (m)</b>	<b>ESPESOR (Pulg)</b>	<b>Numero Estructural de Capa (SN)</b>	<b>ESPESOR (cm)</b>	<b>Numero Estructural de Capa (SN)</b>
Asfalto						
Base Granular						
Sub-base Granular						

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



### 3.4.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

- a) AutoCAD
- b) Hojas de Cálculo (Excel)
- c) Computadora Portátil

### 3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.5.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES AASHTO 93

##### a) INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Expediente Técnico de Obra Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Hurocondo Pachar” R.D. 0167-2013-DE-COPESCO/GRC
- Laptop
- Formatos de recolección de datos
- Hojas de Calculo
- AutoCAD

##### b) PROCEDIMIENTO

Para elaborar el diseño AASHTO Optimizado y el diseño AASHTO Optimizado empleando geomallas, se realizó la revisión del expediente Técnico de la Obra Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Hurocondo-Pachar” de esta Manera se comprobaron los cálculos realizados en la misma para después estos ser incluidos en la presente investigación, los datos específicos como los de Variabilidad  $S_o$ , Desviación estándar normal  $Z_r$ , Confiabilidad  $R$ , Coeficientes de capas  $a_i$ , factores de drenaje  $m_i$ , CBR para base, CBR para subbase y niveles de Servicio fueron obtenidos a partir de tablas proporcionadas en el Método de Diseño AASHTO 93 y El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014 citados en el marco Teórico de la presente Investigación.



### c) TOMA DE DATOS

Para el Diseño de pavimentos flexibles por el Método AASHTO 93 primero se deben contar con los conteos vehiculares del año en que se realizara el proyecto y las tasas de crecimiento para con estos realizar la proyección en ejes Equivalente de 8.2 Tn "W18" estos datos se muestran a continuación en la **Tabla 17.**

TABLA 17 ANÁLISIS DEL PERIODO DE DISEÑO

**AFORO VEHICULAR**

PROYECTO: CARRETERA HUAROCONDO - PACHAR  
PROGRESIVAS: 0+000 19+140

		AUTO	PICK UP	CAMIONETA RURAL	MICRO	OMNIBUS 2E	CAMION 2E	CAMION 3E
1	2012	123	9	259	18	11	133	8
2	2013	125	9	263	19	11	143	8
3	2014	126	10	266	19	11	153	9
4	2015	128	10	270	19	11	165	10
5	2016	130	10	274	19	11	177	10
6	2017	132	10	278	20	11	190	11
7	2018	134	10	282	20	12	204	12
8	2019	135	10	286	20	12	219	13
9	2020	137	10	290	20	12	235	14
10	2021	139	11	294	21	12	252	15
11	2022	141	11	298	21	12	271	16
12	2023	143	11	302	21	12	291	17
13	2024	145	11	306	22	13	313	18
14	2025	147	11	311	22	13	336	20
15	2026	149	11	315	22	13	361	21
16	2027	151	11	319	22	13	388	23
17	2028	152	12	320	23	13	400	24
18	2029	153	12	322	23	13	412	24
19	2030	154	12	323	23	13	414	24
20	2031	154	12	324	23	13	416	24

FUENTE: (COPESCO, 2013)

Luego se procede a tomar los valores de CBR los cuales nos ayudaran a calcular los valores de Modulo Resiliente para cada uno de los 31 sub-tramos, **(Ver Anexo 03 Ensayos de Laboratorio).**



TABLA 18 SUBDIVISIÓN DE TRAMOS EN FUNCIÓN A LA CARACTERIZACIÓN DE CBR

TRAMO	PROGRESIVA	LONGITUD DE TRAMO	CBR SUBRASANTE
1	0+000	250	18.00
2	0+250	250	9.00
3	0+500	1500	15.00
4	2+000	500	20.00
5	2+500	1000	8.00
6	3+500	750	17.10
7	4+250	500	10.00
8	4+750	250	16.90
9	5+000	1000	13.30
10	6+000	250	9.10
11	6+250	500	13.90
12	6+750	500	12.70
13	7+250	750	14.90
14	8+000	1250	14.70
15	9+250	250	8.70
16	9+500	500	19.70
17	10+000	750	9.70
18	10+750	1000	6.30
19	11+750	250	11.40
20	12+000	500	13.70
21	12+500	2000	18.70
22	14+500	750	14.70
23	15+250	250	15.30
24	15+500	250	17.60
25	15+750	1500	14.70
26	17+250	750	14.70
27	18+000	250	16.60
28	18+250	250	9.40
29	18+500	250	13.10
30	18+750	250	17.30
31	19+000	140	14.70
LONGITUD TOTAL		19140	

(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)}

### 3.5.2. METRADOS

#### a) INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Expediente Técnico de Obra Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Huarcocondo Pachar” R.D. 0167-2013-DE-COPESCO/GRC
- Laptop
- Formatos de recolección de datos
- Hojas de Calculo
- AutoCAD

**b) PROCEDIMIENTO**

Para realizar el análisis de los nuevos metrados se buscaron las partidas y sus valores en el Expediente técnico, los cuales serían involucrados en el diseño de pavimentos flexibles AASHTO 93 para su posterior modificación y elaboración de los nuevos metrados de las 2 nuevas alternativas de diseño.

**c) TOMA DE DATOS**

Se toman como datos base para el análisis de metrados los de las partidas mostradas en la **Tabla 19**.

TABLA 19 PARTIDAS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO DE OBRA EN EL QUE LOS METRADOS SERÁN MODIFICADOS.

ITEM	DESCRIPCION	Und	Metrado
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS		
2.01	EXCAVACION EN EXPLANACIONES		
02.01.02	CORTE EN MATERIAL SUELTO	m3	1,048,214.03
02.01.03	CORTE EN ROCA SUELTA	m3	68,012.70
02.01.04	CORTE EN ROCA FIJA	m3	69,231.38
02.01.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE 5Km CON EQUIPO	m3	1,542,729.01
02.01.06	REMOCION DE DERRUMBES	m3	72,349.20
2.03	PERFILADO Y COMPACTADO DE LA SUB RASANTE		
02.03.02	PERFILADO RIEGO Y COMPACTADO DE SUB - RASANTE	m2	191,400.00
2.05	RELLENOS		
02.05.01	PREPARACION DE MATERIAL EN CANTERA	m3	74,945.75
02.05.02	CARGUIO DE MATERIAL PARA RELLENO	m3	55,515.37
02.05.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE RELLENO	m3	55,515.37
02.05.03	CONFORMACION DE RELLENOS	m3	42,704.13
3	SUB BASES Y BASES		
3.01	SUB BASE DE ESPESOR VARIABLE		
03.01.02	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA SUB BASE	m3	64,184.08
03.01.03	ARMADO DE ZARANDA METALICA	und	1
03.01.04	ZARANDEO DE MATERIAL PARA SUB BASE	m3	47,543.73
03.01.05	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL PARA SUB BASE	m3	47,543.73
03.01.06	EXTENDIDO RIEGO Y COMPACTADO DE SUB BASE	m2	176,088.00
3.02	BASE DE ESPESOR VARIABLE		
03.02.02	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA BASE	m3	48,556.65
03.02.03	ARMADO DE ZARANDA METALICA	und	1
03.02.04	ZARANDEO DE MATERIAL PARA BASE	m3	35,967.89
03.02.05	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL PARA BASE	m3	35,967.89
03.02.06	EXTENDIDO RIEGO Y COMPACTADO DE BASE	m2	166,518.00
03.02.07	ADQUISICION DE HORMIGON PARA CONFORMACION DE BASE	m3	8,991.97

(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)



### 3.5.3. PRESUPUESTOS DE OBRA

#### a) INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Expediente Técnico de Obra Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Hurocondo Pachar” R.D. 0167-2013-DE-COPESCO/GRC
- Laptop
- Formatos de recolección de datos
- Hojas de Calculo
- AutoCAD

#### b) PROCEDIMIENTO

Los nuevos presupuestos de Obra serán obtenidos al analizar los nuevos metrados y operarlos con los precios unitarios a incluirse en el análisis de costos, que serán los correspondientes a los de las partidas incluidas en la **Tabla 20** los cuales fueron obtenidos del Expediente Técnico, ver **(Anexo 05 Análisis de Precios Unitarios)**

#### c) TOMA DE DATOS

Se toman como datos base para el análisis de costos los mostrados en la **Tabla 20** los cuales servirán para elaborar los nuevos Presupuestos de Obra.

TABLA 20 PRECIOS UNITARIOS INCLUIDOS EN EL ANÁLISIS ECONÓMICO

2	MOVIMIENTO DE TIERRAS	UND	P.U.
2.01	EXCAVACION EN EXPLANACIONES		
02.01.02	CORTE EN MATERIAL SUELTO	m3	S/. 4.11
02.01.03	CORTE EN ROCA SUELTA	m3	S/. 11.87
02.01.04	CORTE EN ROCA FIJA	m3	S/. 19.05
02.01.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE 5Km CON EQUIPO	m3	S/. 10.49
02.01.06	REMOCION DE DERRUMBES	m3	S/. 9.04
2.02	DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUDES		
02.02.01	DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUDES	m2	S/. 1.43
2.03	PERFILADO Y COMPACTADO DE LA SUB RASANTE		
02.03.02	PERFILADO RIEGO Y COMPACTADO DE SUB - RASANTE	m2	S/. 1.84
02.03.05	ENROCADO PARA MEJORAMIENTO DE SUB RAZANTE	m3	S/. 81.34
2.05	RELLENOS		
02.05.01	PREPARACION DE MATERIAL EN CANTERA	m3	S/. 7.45
02.05.02	CARGUIO DE MATERIAL PARA RELLENO	m3	S/. 2.22
02.05.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE RELLENO	m3	S/. 15.37
02.05.03	CONFORMACION DE RELLENOS	m3	S/. 6.15
2.07	ENROCADOS PARA DEFENSA RIBEREÑA Y AMPLIACION DE PLATAFORMA		
02.07.01	PREPARACION DE MATERIAL PARA ENROCADO	m3	S/. 11.87
02.07.02	CARGUIO DE MATERIAL PARA ENROCADO	m3	S/. 3.77
02.07.03	TRANSPORTE DE MATERIAL PARA ENROCADO	m3	S/. 9.21
02.07.04	ACOMODO DE MATERIAL ENROCADO	m3	S/. 5.96
3	SUB BASES Y BASES		
3.01	SUB BASE DE ESPESOR VARIABLE		
03.01.02	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA SUB BASE	m3	S/. 6.65
03.01.03	ARMADO DE ZARANDA METALICA	und	S/. 2,412.18
03.01.04	ZARANDEO DE MATERIAL PARA SUB BASE	m3	S/. 4.30
03.01.05	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL PARA SUB BASE	m3	S/. 17.88
03.01.06	EXTENDIDO RIEGO Y COMPACTADO DE SUB BASE	m2	S/. 7.38
3.02	BASE DE ESPESOR VARIABLE		
03.02.02	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA BASE	m3	S/. 7.28
03.02.03	ARMADO DE ZARANDA METALICA	und	S/. 2,412.18
03.02.04	ZARANDEO DE MATERIAL PARA BASE	m3	S/. 7.07
03.02.05	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL PARA BASE	m3	S/. 17.88
03.02.06	EXTENDIDO RIEGO Y COMPACTADO DE BASE	m2	S/. 6.84
03.02.07	ADQUISICION DE HORMIGON PARA CONFORMACION DE BASE	m3	S/. 45.00
03.02.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLA BIAxIAL	m2	S/. 6.28

(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

### 3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

El traslado humano constituye uno de los elementos de mayor injerencia en el progreso social, económico y cultural de los pueblos, de tal forma que en la actualidad un país deficientemente integrado por sus redes viales es subdesarrollado. La economía se sustenta en el intercambio mercantil y la estructura social que fija sus bases en el intercambio cultural. (Cabanillas, 2014)

Se toma como caso de estudio la obra **Mejoramiento de la Carretera CU-110 “Huariocondo - Pachar”** con Trayectoria: Emp. PE-3S (Izcuchaca) - Huariocondo - Amparaqui - Emp. PE-28 B (Pte. Pachar), que tiene una longitud proyectada de 19.140 km destinada para tránsito de doble sentido, con carriles de 3.30 m. cada uno, y bermas de 0.5 m. a cada lado, que hacen una calzada de 7.60 m. de ancho y un presupuesto de obra detallado a continuación.

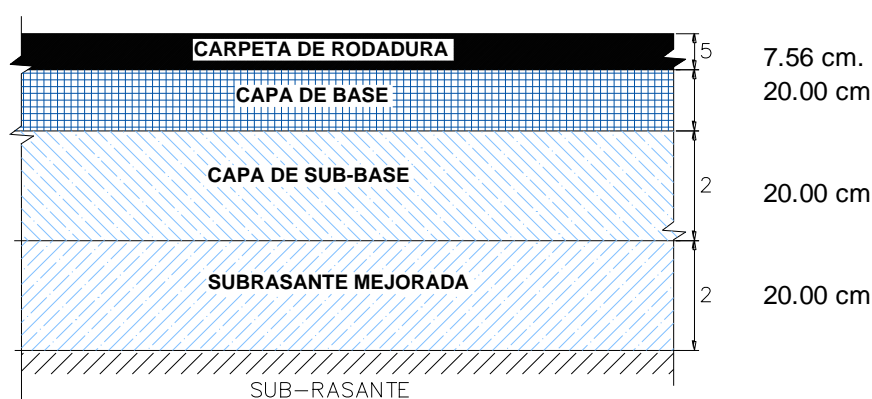
TABLA 21 PRESUPUESTO TOTAL DE LA OBRA MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CU-110  
"HUAROCONDO - PACHAR"

COSTO DIRECTO	S/. 86,359,371.67
GASTOS GENERALES	S/. 8,681,656.02
GASTOS DE SUPERVISION	S/. 1,074,224.30
GASTOS DE EXPEDIENTE TECNICO	S/. 877,130.00
PRESUPUESTO TOTAL	S/. 96,992,381.99

FUENTE: (COPESCO, 2013)

Se realizó la revisión de la ingeniería del proyecto con el fin de encontrar alternativas que puedan abaratar los costos finales del proyecto.

Se encontró una deficiencia principal en el diseño la cual era la proyección de un mejoramiento de subrasante a lo largo de los 19.14 km de longitud lo que de acuerdo al manual es una alternativa anti técnica de modo que los CBR de subrasante que presenta el proyecto exceden el 6% tal y como se puede ver en el numeral 2.2.1.3.1 del marco teorico y segundo antieconómica por el exceso de volúmenes de movimientos de tierra necesarios para la conformación de dicha capa dicho diseño fue caracterizado para el tramo total y es el siguiente:

FIGURA 17 DISEÑO DE ESPESORES INICIALES PARA LA OBRA MEJORAMIENTO DE LA  
CARRETERA CU-110 "HUAROCONDO - PACHAR"

FUENTE: (COPESCO, 2013)

De esta manera se realizaron dos alternativas de nuevos diseños pavimentos flexibles empleando el método AASHTO propuesto por el Manual de Carreteras

Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014, de esta manera se realiza la primera haciendo un diseño óptimo para cada tramo subdivido en función al CBR característico de subrasante y el segundo tomando el primero como base de diseño pero añadiendo geomallas como refuerzo estructural de la capa de base, Los parámetros que el diseño toma como base para su análisis son los siguientes

### 3.6.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES AASHTO 93

#### a) PROCESAMIENTO O CÁLCULOS DE LA PRUEBA

- **Calculo de W18 (Numero de Ejes Equivalentes de 8.2 Tn)**

Para el diseño de pavimentos necesitamos predecir el número de repeticiones de cada sistema de ejes de los vehículos que circularan durante el periodo de diseño de tal modo, se toma como dato de entrada de W18 de diseño, el calculado a partir de los conteos vehiculares hechos para el expediente Técnico Aprobado y corroborados por los Tesistas antes de su inclusión en la presente investigación.

TABLA 22 AFORO VEHICULAR Y TRAFICO PROYECTADO

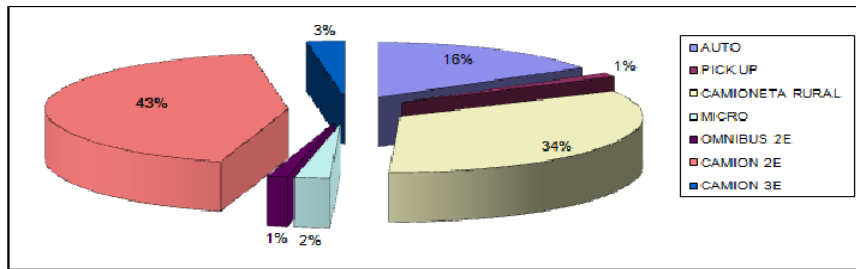
**AFORO VEHICULAR**

PROYECTO: CARRETERA HUAROCONDO - PACHAR  
 PROGRESIVAS: 0+000 19+140

		AUTO	PICK UP	CAMIONETA RURAL	MICRO	OMNIBUS 2E	CAMION 2E	CAMION 3E
1	2012	123	9	259	18	11	133	8
2	2013	125	9	263	19	11	143	8
3	2014	126	10	266	19	11	153	9
4	2015	128	10	270	19	11	165	10
5	2016	130	10	274	19	11	177	10
6	2017	132	10	278	20	11	190	11
7	2018	134	10	282	20	12	204	12
8	2019	135	10	286	20	12	219	13
9	2020	137	10	290	20	12	235	14
10	2021	139	11	294	21	12	252	15
11	2022	141	11	298	21	12	271	16
12	2023	143	11	302	21	12	291	17
13	2024	145	11	306	22	13	313	18
14	2025	147	11	311	22	13	336	20
15	2026	149	11	315	22	13	361	21
16	2027	151	11	319	22	13	388	23
17	2028	152	12	320	23	13	400	24
18	2029	153	12	322	23	13	412	24
19	2030	154	12	323	23	13	414	24
20	2031	154	12	324	23	13	416	24
<b>TPD</b>		154	12	324	23	13	416	24
A= 43.06%								
TPA = 352590.00		154	359		429		24	
		15.94%	37.16%		44.41%		2.48%	
		16.31%	1.24%	33.54%	2.38%	1.35%	43.06%	2.48%

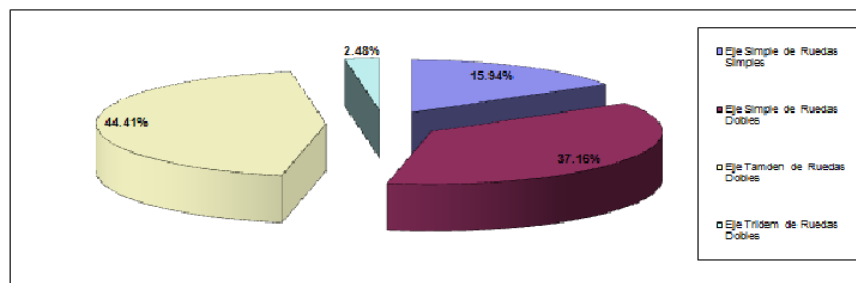
FUENTE: (COPESCO, 2013)

FIGURA 18 CLASIFICACIÓN VEHICULAR EXPRESADOS EN PORCENTAJE



FUENTE: (COPESCO, 2013)

FIGURA 19 CLASIFICACIÓN VEHICULAR EN EJES EXPRESADOS EN PORCENTAJE



FUENTE: (COPESCO, 2013)

TABLA 23 CÁLCULO DE W18 DE DISEÑO

TIPO DE EJE	CANTIDAD	PESO UNITARIO (tn)	PESO TOTAL (tn)	EJE EQUIVALENTE (E.E.E.)
Eje Simple de Ruedas Simples	154	7	1078.00	711703827.16
Eje Simple de Ruedas Dobles	359	11	3949.00	298689278.54
Eje Tamden de Ruedas Dobles	429	18	7722.00	25975699.66
Eje Tridem de Ruedas Dobles	24	25	600.00	4910583.66
<b>ESAL</b>	<b>966</b>			<b>1041279389.02</b>

TPD : Tránsito Promedio diario Inicial (Aforo Vehicular)  
 A : Porcentaje estimado de vehículos pesados: (N° Camiones / Total de Vehículos)  
 B : Porcentaje de vehículos pesados que emplean en el carril de diseño  
 r : Tasa anual de crecimiento de tránsito (r=8% Según Plan Intermodal de Transportes del Perú, Ministerio de Transportes y Comunicaciones Junio de 2007)  
 n : Período de diseño (20 años)  
 FC : Factor camión.  
 EAL(N) : Número de camiones esperado durante el período de diseño

A = 43.06%      r = 0.08      FC = 3.71  
 B = 50.00%      n = 20

FACTOR DE DISTRIBUCION DIRECCIONAL: 0.5  
 FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL: 0.9  
 NUMERO DE EJES EQUIVALENTES A W18: 13398427.16

$$N = EAL = TPD \cdot \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot 365 \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \cdot FC$$

FUENTE: (COPESCO, 2013)

Para los diseños se usara el valor de W18 = **13398427.16** obtenido del análisis de la **Tabla 23** el cual se reemplazara en la **Ecuación 8** del marco teórico para hallar el Numero Estructural.





- **CONFIABILIDAD (R)**

Es importante incorporar un cierto grado de la certeza en el proceso del diseño para asegurar que la estructura durará el período de análisis, para ello el método AASHTO define la Confiabilidad (R) como un parámetro de control del diseño y como medida de la garantía de un proceso de diseño adecuado.

Se toma como dato de entrada 85% según la **Tabla 5** del marco teórico proporcionada por el Método AASHTO 93.

- **VARIABILIDAD (So)**

La variabilidad o desviación estándar total “So” nos permite tomar en cuenta los cambios normales en las condiciones locales y las variaciones de los parámetros el cual es un valor obtenido de acuerdo al diseño AASHTO 93 y está en función al tipo de pavimento Flexible o Rígido descritos en el marco teórico de la presente investigación.

Se toma como dato de entrada para So el valor de 0.45 según la **Tabla 6** del marco teórico proporcionada por el Método AASHTO 93.

- **DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)**

El coeficiente de desviación estándar normal (Zr) se utiliza también como medida de la variabilidad de los datos de entrada este dato se obtiene de los cuadros estadísticos proporcionados por el método AASHTO que se encuentran citados en el marco teórico.

Se toma como dato de entrada -1.037 correspondiente a una desviación estándar de 85% según la **Tabla 7** del marco teórico proporcionada en el Método AASHTO 93.

- **NIVELES DE SERVICIO**

El funcionamiento de la carretera se puede representar por historia del nivel de servicio de un pavimento ( $\Delta$  PSI), que también es considerado como

perdida del nivel de servicio ( $P_o - P_t$ ) los cuales están en función de muchos aspectos pero principalmente en 2 que son los estructurales (baches, agrietamientos, etc.) y funcionales (Apreciación del usuario), se debe elegir un nivel de servicio inicial y uno final para el diseño del pavimento los cuales son propuestos en tablas por el diseño AASHTO en valores numéricos incluidos en el marco teórico.

De esta manera también es considerado como el lapso de tiempo en que la estructura del pavimento durará antes de que requiera rehabilitación.

El objetivo es encontrar el ( $\Delta$  PSI) pérdida del nivel de servicio expresado por ( $P_o - P_t$ ) serviciabilidad inicial y serviciabilidad Final respectivamente.

Se toma como datos de entrada 4.2 y 2.0 respectivamente según la **Tabla 9** del marco teórico proporcionada en el Método AASHTO 93 como se describe en la sección 3.5.6

TABLA 24 OBTENCIÓN DE LA PÉRDIDA DE SERVICIABILIDAD

$P_o$	4.2
$P_t$	2.00
$\Delta$ PSI	2.2

FUENTE: (ELABORACIÓN PROPIA)

- **NUMERO ESTRUCTURAL**

Con los valores desarrollados en las secciones anteriores del capítulo 3.6 se obtiene el número estructural (SN) para cada una de las secciones mostradas en la siguiente tabla utilizando la **Ecuación 8** del marco teórico obteniendo como resultados los mostrados en la **Tabla 25**.

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{4.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL NECESARIO DE LA SECCIÓN A DISEÑAR (AASHTO, 1993)

TABLA 25 COEFICIENTES DE SN PARA CADA UNA DE LAS SECCIONES ANALIZADAS

TRAMO	PROGRESIVA	PROGRESIVA	NUMERO ESTRUCTURAL (SN) PULG"	NUMERO ESTRUCTURAL (SN) cm
1	0+000	0+250	3.67	9.22
2	0+250	0+500	4.19	10.67
3	0+500	2+000	3.79	9.58
4	2+000	2+500	3.54	8.97
5	2+500	3+500	4.33	10.94
6	3+500	4+250	3.67	9.34
7	4+250	4+750	4.19	10.39
8	4+750	5+000	3.67	9.34
9	5+000	6+000	3.93	9.86
10	6+000	6+250	4.19	10.67
11	6+250	6+750	3.93	9.74
12	6+750	7+250	3.93	10.00
13	7+250	8+000	3.81	9.64
14	8+000	9+250	3.81	9.64
15	9+250	9+500	4.33	10.81
16	9+500	10+000	3.54	8.99
17	10+000	10+750	4.19	10.53
18	10+750	11+750	4.59	11.47
19	11+750	12+000	4.07	10.14
20	12+000	12+500	3.93	9.74
21	12+500	14+500	3.67	9.10
22	14+500	15+250	3.81	9.62
23	15+250	15+500	3.81	9.62
24	15+500	15+750	3.67	9.22
25	15+750	17+250	3.81	9.64
26	17+250	18+000	3.81	9.64
27	18+000	18+250	3.79	9.34
28	18+250	18+500	4.19	10.53
29	18+500	18+750	3.93	9.86
30	18+750	19+000	3.67	9.34
31	19+000	19+140	3.81	9.64

(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

La **Tabla 25** nos muestra los valores de los números estructurales para cada una de las secciones, en esta tabla podemos apreciar que a menor sea la calidad de nuestro suelo (CBR subrasante) este tendrá una mayor demanda de número estructural.

- **CALCULO DEL ESAL TRAMO CRITICO 10+750 – 11+750 (DISEÑO INICIAL)**

Las propiedades mecánicas de la subrasante de nuestra carretera se miden a través del ensayo de CBR (California Bearing Ratio) el cual nos da un nivel de resistencia porcentual en relación a un material patrón de esta manera el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014, el cual nos da valores permitidos para diseños sin mejoramiento de subrasante

siempre y cuando no sean menores a 6% tal y como se muestra en la **Tabla 1** del marco teórico, no se considera el CBR de diseño para los diseños ya que este hace que muchas veces secciones del pavimento fallen independientemente debido a que los tramos que tengan CBR por debajo de los del diseño no soportarían el mismo número de ejes equivalentes para comprobar esta hipótesis se realizó un diseño inverso al diseño inicial tomando en cuenta las propiedades y espesor de la capa de subrasante mejorada y el de las demás capas según el Expediente técnico hallando un nuevo ESAL el que se muestra en la **Tabla 27** .

**TABLA 26 DISEÑO DEL TRAMO CRÍTICO PARA COMPROBACIÓN DE ESAL DE DISEÑO**

Tramo: 10+750 - 11+750  
 Descripción del Proyecto: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE  
 Carretera: HUAROCONDO – PACHAR  
 fecha: OCTUBRE DEL 2016

**Diseño de Pavimento Flexible**

Número Estructural	3.386484249	Módulo Resiliente (Psi)	17,380.01
Design ESALs	10,300,000.00	Serviciabilidad Inicial	4.20
Confiability	85%	Serviciabilidad Final	2.00
Desviación Estandar	-1.036		

**Diseño de Espesores de Pavimento**

CAPA DE MATERIAL	Coficiente de Capa (a)	Coficiente de Drenaje (m)	ESPESOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPESOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Asfalto	0.44	1	3	1.329	7.62	3.375
Base Granular	0.14	1	8	1.117	20	2.794
Sub Base Granular	0.12	1	8	0.976	20	2.439
				<b>3.422</b>		<b>8.608</b>

(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

**TABLA 27 DATOS DEL DISEÑO CRÍTICO PARA COMPROBACIÓN DE ESAL DE DISEÑO**

<b>DATOS DEL DISEÑO</b>			
CBR BASE (%)	100	DESVIACION	-1.036
CBR SUBBASE (%)	50	SERV INICIAL (Po)	4.20
CBR SUBRASANTE (%)	20	SERV FINAL (Pt)	2.00
ESAL DE DISEÑO	10300000	DELTA PSI	2.20
CONFIABILIDAD	85%	So	0.45

(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Comprobado el cálculo la sección critica 10+750 – 11+750 que tiene un CBR 6.3% con el mejoramiento de subrasante este llegaría a fallar después