

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE, UTILIZANDO GEOMALLA TRIAXIAL EN LA SUBRASANTE, APLICADO EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA SULLANA-PIURA 2017”.

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CLEVER LIVIA CORDOVA

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

ING. MG. MIGUEL ÁNGEL ALVARADO OTOYA

PIURA - PERÚ

2018

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE UN
PAVIMENTO FLEXIBLE, UTILIZANDO GEOMALLA TRIAXIAL EN LA
SUBRASANTE, APLICADO EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA SULLANA-
PIURA 2017”.**

MIEMBROS DEL JURADO Y ASESOR

INTEGRANTES	JURADOS	FIRMA
PRESIDENTE	DR. JUAN MANUEL ASALDE VIVES	
MIEMBRO	DR. ALEX HUAMAN CHORRES	
SECRETARIO	ING. WILMER CORDOVA CORDOVA	
ASESOR	MG. ING. MIGUEL ANGEL ALVARADO OTOYA	

PIURA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, valores, principios, carácter, empeño, perseverancia y coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome en mis logros. A mi hermano Angelito que desde el cielo me guía y me motiva.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis, en primer lugar me gustaría agradecer a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mis Padres:

- Gilberto Livia Morocho
- Elvita Cordova Rosillo

Que han sido pilares fundamentales en mi desarrollo académico que con mucho sacrificio me han encaminado a la realización de mis metas y por haberme inculcado muchos valores.

A la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

De igual manera agradecer a mi profesor de Investigación y de Tesis de Grado, Mg. Ing. Miguel Ángel Alvarado Otoyá por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

Y por último a mi jefe de trabajo Ing. Luis Bello Masías, quien ha sido la base principal de mi proyecto de investigación gracias a su experiencia y conocimiento como profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Muchas gracias a todos ellos.

INDICE

CARATULA.....	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
SÍNTESIS.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	3
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	3
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2.1. Delimitación Espacial	4
1.2.2. Delimitación social.....	7
1.2.3. Delimitación temporal.....	7
1.2.4. Delimitación conceptual.....	7
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	8
1.3.1. Problema principal	8
1.3.2. Problemas específicos.....	8
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.5.1. Hipótesis General	9
1.5.2. Hipótesis Específicas	9
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.6.1. Variable de investigación.....	10
1.6.2. Operacionalización de Variables	11
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.7.1. Tipo de Investigación.....	12
1.7.2. Nivel de Investigación	12
1.7.3. Métodos de Investigación.....	12
1.7.4. Diseño de investigación.....	12
1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	12

1.8.1.	Población.....	12
1.8.2.	Muestra.....	12
1.9.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	13
1.9.1.	Técnicas.....	13
1.9.2.	Instrumentos	13
1.10.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.10.1.	Justificación	14
1.10.2.	Importancia.....	15
CAPÍTULO II		16
MARCO TEÓRICO		16
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	16
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	18
2.1.3.	Antecedentes Locales.....	19
2.2.	BASES TEÓRICAS	20
2.2.1.	Introducción a los pavimentos	20
2.2.2.	Análisis de Mecánica de Suelos	21
2.2.2.1.	Descripción Material Superficial de la Rasante	21
2.2.2.2.	Trabajos de Laboratorio.....	22
2.2.3.	ANÁLISIS DEL TRÁFICO	25
2.2.3.1.	Evaluación de tránsito existente	25
2.2.3.2.	Estudio del Tránsito.....	27
2.2.3.3.	Resultados del Conteo Vehicular.....	31
2.2.3.4.	Tasa de Crecimiento Anual.....	32
2.2.4.	TRATAMIENTO DE SUBRASANTE CON SISTEMA SPECTRA	36
2.2.4.1.	Mecanismos de Refuerzo con Geomallas Multiaxiales	36
2.2.4.2.	Geomallas Multiaxiales Como Mejoramiento De Subrasante	39
2.2.4.3.	Nueva Metodología : Geomallas Multiaxiales.....	41
2.2.4.4.	Metodología de Diseño	45
2.2.5.	NUMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES	46
2.2.6.	MÉTODO GUÍA AASHTO 93 DE DISEÑO	52
2.2.6.1.	Periodo de diseño.....	53
2.2.6.2.	Variables.....	54
2.2.6.3.	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL “SN”	64

2.2.6.4. DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPAS	64
CAPÍTULO III	68
RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	68
3.1. Tratamiento de subrasante con sistema SPECTRA.....	68
3.2. Cálculo de ESALs con formato Excel	71
3.3. Cálculo de Paquete Estructural	74
CAPÍTULO IV	78
ORGANIZACIÓN PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
4.1. Presentación de resultados	78
4.1.1. Resultados parciales	79
4.1.2. Resultados Generales	80
4.2. Discusión de los resultados.	81
CAPÍTULO V	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
4.3. Conclusiones.....	82
4.4. Recomendaciones	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	
ANEXO 01: Matriz De Consistencia.....	84
ANEXO 02: Artículo Científico.....	85
ANEXO 03: Conteo Vehicular.....	97
ANEXO 04: Factores de corrección promedio para vehículos pesados.....	118
ANEXO 05: Factores de corrección promedio para vehículos ligeros.....	119
ANEXO 06: Tasa de crecimiento de la población por departamento.....	120
ANEXO 07: Tasa Anual Departamental del PBI 2009/2008.....	121
INDICE DE TABLAS	
TABLA N°01: Factores de Distribución Direccional.....	49
TABLA N°02: Factor de ajuste por presión del neumático (Fp).....	51
TABLA N°03: Ejes equivalentes.....	52
TABLA N°04: Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera.....	53
TABLA N°05: Categorías de Subrasante.....	54
TABLA N°06: Módulo Resiliente obtenido por correlación con CBR.....	55

TABLA N°07: Valores recomendados de nivel de confiabilidad.....	57
TABLA N°08: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr).....	58
TABLA N°09: Índice de Serviabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico.....	60
TABLA N°10: Índice de Serviabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico.....	61
TABLA N°11: Diferencial de Serviabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico.....	62
TABLA N°12: Capacidad del Drenaje.....	63
TABLA N°13: Capacidad del Drenaje.....	63

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°01: Cuadro de operacionalización de variables.....	11
CUADRO N°02: Relación de ensayos que de aplicaron a la subrasante.....	23
CUADRO N°03: Resultado a nivel de subrasante segundo estrato.....	23
CUADRO N°04: Resumen de Resultados de Ensayos de Laboratorio.....	25
CUADRO N°05: Clasificación de vehículos por peso.....	27
CUADRO N°06: Clasificación de vehículos por peso.....	29
CUADRO N°07: Vehículos Ligeros.....	29
CUADRO N°08: Vehículos Ligeros.....	30
CUADRO N°09: Vehículos Pesados.....	30
CUADRO N°10: Vehículos Pesados.....	30
CUADRO N°11: Estación 01 conteo vehicular.....	31
CUADRO N°12: Tráfico vehicular ambos sentidos por día	32
CUADRO N°13: Proyección de tráfico sin proyecto.....	35
CUADRO N°14: Proyección de tráfico – Con Proyecto.....	35
CUADRO N°15: Resumen de tráfico.....	36
CUADRO N°16: Determinación de ejes equivalentes para pavimentos flexibles.....	71
CUADRO N°17: Hoja de cálculo de número estructural del pavimento flexible.....	74
CUADRO N°18: Proponiendo carpeta de 7.5 cm de espesor.....	76
CUADRO N°19: Comprobación de numero estructural.....	77

INDICE DE IMAGENES

IMAGEN N°01: Mapa de la Provincia de Sullana.....	05
IMAGEN N°02: Vista satelital de la zona en intervención.....	06
IMAGEN N°03: Esquema pavimento flexible.....	21
IMAGEN N°04: Confinamiento lateral incremento del modulo.....	37
IMAGEN N°05: Mejoramiento capacidad portante.....	38
IMAGEN N°06: Efecto membrana tensionada.....	38
IMAGEN N°07: Distribución de presiones.....	40
IMAGEN N°08: Comparación entre uniones de geomallas Multiaxiales y Biaxiales.....	42
IMAGEN N°09: Comparación entre uniones de geomallas Multiaxiales y Biaxiales.....	42
IMAGEN N°10: Confinamiento Radial con la geomalla Multiaxial.....	43
IMAGEN N°11: TIL Technical Centre Trafficking Device, UKDispositivo de tráfico del Centro Técnico TIL, Reino Unido63.....	44
IMAGEN N°12: Configuración de ejes.....	48
IMAGEN N°13: Esquema de paquete estructural.....	66
IMAGEN N°14: Datos usando el software de diseño con la metodología Giroud – Han.....	69
IMAGEN N°15: Resultados usando el software de diseño con la metodología Giroud - Han.....	70
IMAGEN N°16: Paquete estructural.....	75
IMAGEN N°17: Paquete estructural.....	77
IMAGEN N°18: Paquete estructural obtenido con refuerzo de geomalla.....	77
IMAGEN N°19: Paquete estructural obtenido con refuerzo de geomalla.....	79
IMAGEN N°20: Paquete estructural obtenido sin refuerzo de geomalla.....	80
INDICE DE GRAFICOS	
GRAFICO N°01: N° de Vehículos/día estación E-1.....	31

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo optimizar el diseño de un paquete estructural de un pavimento flexible, utilizando una geomalla triaxial en la subrasante en terrenos húmedos y blandos, se ha tomado como muestra la ruta vecinal PI -527, que da inicio en el Boquerón de Núñez hasta el centro poblado de Somate Bajo en los distritos de Bellavista, provincia Sullana departamento Piura. Este proyecto se ha desarrollado para solucionar la problemática de la carretera, las cuales radican en la deformación de la ruta afirmada generada principalmente por un alto tránsito pesado y la humedad de la zona por motivo de los sembríos de arroz y filtraciones en ambos lados de la carretera, al mismo tiempo no brinda seguridad a los transportistas y moradores del lugar. Este proyecto será desarrollado empleando la metodología de diseño utilizada en el Perú así como los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del país.

Para el mejoramiento de subrasante y diseño de pavimento flexible propuesto en esta tesis, se emplearan registros de conteos del tráfico de la carretera en cuestión, realizados en la entrada del centro poblado Somate Bajo denominada estación E-1, los cuales fueron realizados durante una semana continua en el mes de enero del 2017. Asimismo, para el cálculo del espesor de la capa del mejoramiento de sub rasante se empleará el sistema Spectra y para el cálculo de los espesores de las capas que conformarán la estructura del pavimento flexible se utilizará la metodología AASTHO 93.

Finalmente se llegará a una propuesta final dando la solución más pertinente en cuanto a los problemas y/o la situación actual encontrada en la ruta vecinal PI-527.

Palabras clave: Pavimento flexible, geomalla, subrasante

ABSTRACT

The present thesis aims to optimize the design of a structural package of a flexible pavement, using a triaxial geogrid in the subsoil in wet and soft terrains, has taken as sample the neighborhood route PI -527, located in the districts of Bellavista, Province Sullana department Piura. This project has been developed to solve the problems of the road, which lie in the deformation of the route affirmed generated mainly by a high heavy traffic and the humidity of the area due to rice fields and leaks, at the same time Provides security to carriers and locals. This project will be developed using the design methodology used in Peru as well as the manuals of the Ministry of Transport and Communications of this country.

For the improvement of subfloor and flexible pavement design proposed in this thesis, traffic counts records of the road in question, made at the entrance of the Somate Bajo populated center called the E-1 station, will be used. Week period continues in December 2016. Likewise, for the calculation of the thickness of the subfloor improvement layer, the Spectra system will be used and for the calculation of the thicknesses of the layers that will form the flexible pavement structure will be used The AASTHO methodology 93.

Finally, we will arrive at a final proposal giving the most pertinent solution regarding the problems and / or the current situation found in the neighborhood route PI-527.

Keywords: Flexible pavement, geogrid, subgrade

SÍNTESIS

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 8 y 20 años, hay que tener en cuenta su constante mantenimiento para cumplir con su vida útil. Este está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la subbase. Se hace uno de los más rentables por su rápida colocación, el uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como vías, aceras o parkings.

Cada clase de pavimento presenta unos deterioros típicos, como los pavimentos flexibles los cuales se deben identificar, evaluar inspeccionar, analizar el nivel de severidad de cada falla, como la deformación de la subrasante observada en nuestra vía estudiada. Así poder hacer un diseño teniendo en cuenta las medidas preventivas.

Las fallas presentes que afectan la calidad y funcionamiento del pavimento son producidas por un mal diseño o por falta de supervisión del proceso constructivo, o mala calidad de los materiales utilizados, otras causas más frecuentes es el mal comportamiento del terreno y no poder ser estabilizado de acuerdo a los estudios de suelos respectivos.

Esta investigación aporta mediante su metodología de diseño, analizar la zona para poder darle solución con la metodología aplicada en dicha investigación para evitar la falla del pavimento y evitar gastos de refacciones posteriores del pavimento

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como objetivo optimizar el diseño de un paquete estructural de un pavimento flexible, utilizando una geomalla triaxial en la subrasante en terrenos húmedos y blandos, se ha tomado como muestra la ruta vecinal PI -527, que da inicio en el Boquerón de Núñez en el distrito de Bellavista, hasta el centro poblado de Chilaco provincia de Sullana. Este proyecto se ha desarrollado para solucionar la problemática de esta ruta que en la actualidad está siendo pavimentada, pero existen zonas arroceras a ambos lados de la vía que son irrigadas por el canal Daniel Escobar y estas están con agua permanente, y las zonas de filtraciones producto del riego de parcelas a lado derecho de la carretera; estos tramos están en consulta para solicitar adicional de obra por el motivo que no se consideró el tratamiento adecuado, esta constante humedad hace que la carretera se deforme volviéndola intransitable, lo cual no brinda seguridad a los conductores. Este proyecto será desarrollado empleando la metodología de diseño utilizada en el Perú así como los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del país.

Para el diseño de pavimento flexible propuesto en esta tesis, se ha tomado un Km de carretera en la zona húmeda de parcelas arroceras ubicado entre el centro poblado de Chalaca y Somate Bajo en el Km. 23+00 al Km. 24+00, para ello se emplearán registros de conteos del tráfico de la ruta vecinal en cuestión, realizados en el ingreso del centro poblado de Somate denominada estación E-1, Asimismo, para el cálculo de los espesores de las capas que conformarán la estructura del pavimento flexible se utilizará la metodología AASTHO 93, y para el tratamiento de subrasante con geomallas se usará el sistema SPECTRA desarrollado por la compañía TENSAR.

Por otra parte, el drenaje de la vía se realizará de acuerdo a los reglamentos vigentes y/o a los manuales que proporciona el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Se terminará la investigación proponiendo los planos de planta y perfil, secciones transversales y detalles de colocación de geomallas y relleno de mínimo para subrasante.

Finalmente se llegará a una propuesta final dando la solución más pertinente en cuanto a los problemas y/o la situación actual encontrada en la ruta vecinal PI-527.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

De manera global, la costa peruana se caracteriza por tener una composición arenosa, la cual no permite que el terreno posea grandes pendientes. Es así que esta composición geológica hace que la carretera tenga una pendiente baja a mediana en tramos puntuales, pudiendo afirmarse que se esté ante una topografía plana a ondulada, con alineamientos horizontales y verticales uniformes, en general poco pronunciadas.

La ruta desde Bellavista hasta Chilaco Pelado tiene una longitud de 31+350 Km, en la actualidad está siendo pavimentada. Entre el Km 16+120 al Km 17+800 , Km 20+100 al Km 24+700 existen zonas arroceras a ambos lados de la vía que son irrigadas por el canal Daniel Escobar y están con agua permanente. Del Km 8+300 al 11+200 son zonas de filtraciones producto del riego de parcelas a lado

derecho de la carretera. Estos tramos están en consulta para solicitar adicional de obra por el motivo que no se consideró el tratamiento adecuado, esta constante humedad hace que la carretera se deforme volviéndola intransitable lo cual no brinda seguridad a los conductores. Este proyecto será desarrollado empleando la metodología de diseño utilizada en el Perú así como los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del presente país.

Por tal motivo se ha tomado como muestra el tramo de la prog. 23+000 hasta la prog. 24+000 para la investigación con la finalidad de dar tratamientos adecuados para que el pavimento cumpla con su tiempo de vida proyectado.

1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Delimitación Espacial

La presente investigación se circunscribe en el ámbito geográfico que corresponde a la zona ubicada entre el distrito de Bellavista y los centros poblados el Cucho, Montenegro, Chalacala Somate Bajo y Chilaco Pelado, provincia de Sullana, región Piura. Asimismo, la ubicación se presenta a nivel micro y macro.

Para esta delimitación espacial, se tomará en cuenta los mapas de los distritos y la provincia de Sullana. Además se considerará las imágenes satelitales.

Ubicación del ámbito de estudio, aquí se puede apreciar el mapa de la provincia de Sullana, concretamente al distrito de Bellavista, que es donde se localiza el tramo de la carretera en estudio. (MAPA FIGURA N° 02, FUNTE DEL DATO VISTA SATELITAL)

MACROLOCALIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

Aquí también se muestra el mapa del ámbito de la investigación, pero a nivel de la provincia, donde se pueden observar cada uno de los distritos de la provincia, incluidos al distrito de Bellavista.



Imagen N° 01: Mapa de la Provincia de Sullana

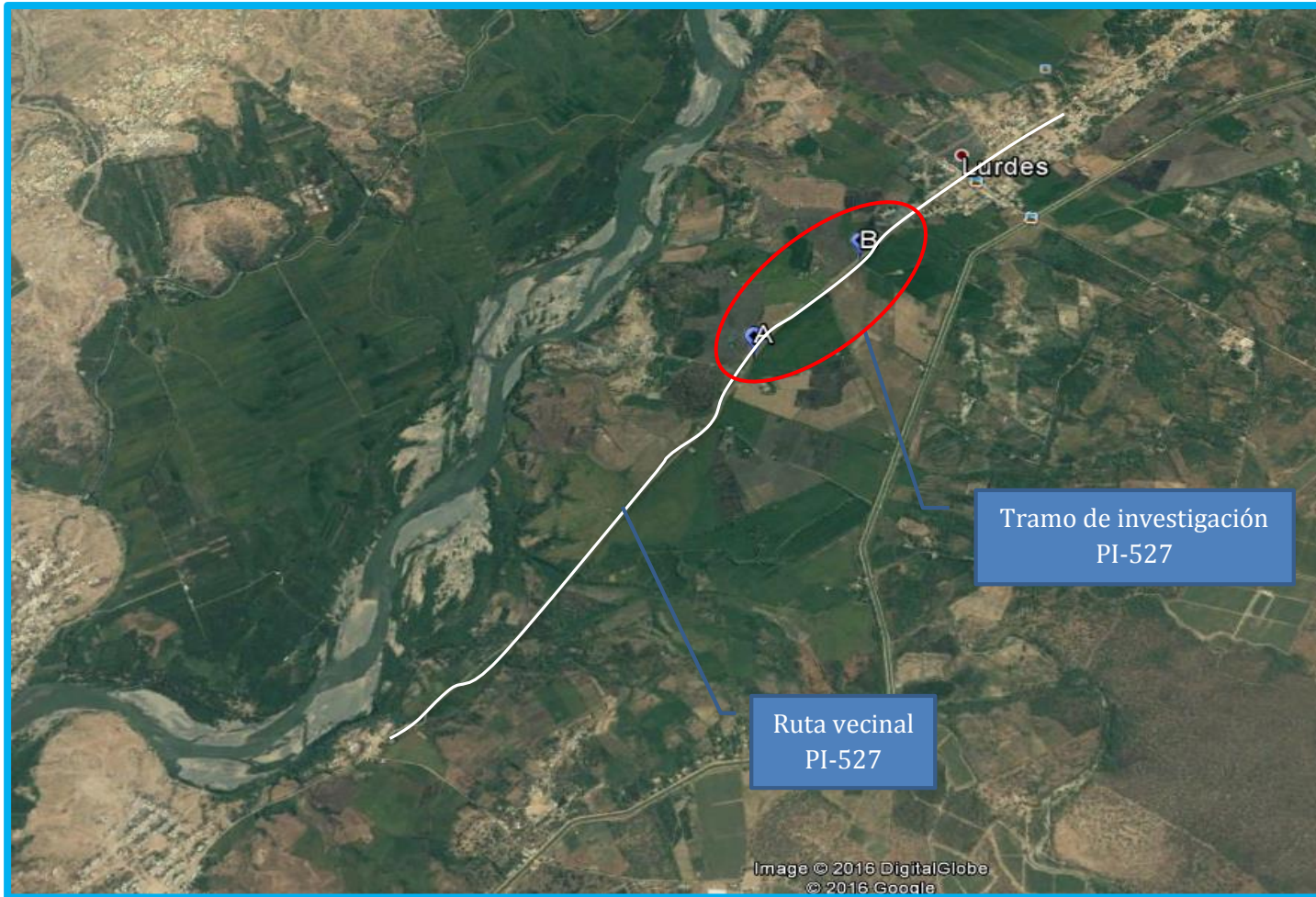


Imagen N° 02: Vista Satelital de la Zona en Intervención

Cabe señalar, que si bien es cierto la problemática planteada está referida concretamente al distrito de Bellavista, pero de la misma manera, los principios, hipótesis, así como las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación, se pueden hacer extensivas y aplicarse de la misma manera a otras localidades, de diferentes regiones como la sierra y la selva del Perú.

1.2.2. Delimitación social

Este proyecto de tesis empieza con la necesidad de encontrar una solución a las deformaciones de los pavimentos flexibles en zonas blandas y húmedas en la ruta PI-527 entre los centro poblados de Chalacala Baja y Somate Bajo del distrito de Bellavista provincia de Sullana departamento de Piura.

1.2.3. Delimitación temporal

La presente tesis tendrá como inicio el mes de agosto del 2017 y terminado en noviembre del 2017.

1.2.4. Delimitación conceptual

El marco conceptual de la presente investigación, se va a basar en el método de observación directa, principalmente de la zona de estudio, es decir, a la zona que corresponde al kilómetro 24 que es uno de los tramos críticos con presencia de humedad permanente de la zona de la carretera en estudio.

Para el efecto de la investigación, y de manera general se tomarán como referencia los siguientes aspectos y/o estudios:

- Estudio de topografía, trazo y diseño geométrico.

Basado en el manual de diseño geométrico DG-2013 vigente en la actualidad.

- Estudio de tráfico y cargas.

Haciendo uso de los formatos estandarizados por el MTC para el conteo vehicular, y teniendo como guía el Manual de Mecánica de Suelos EM-2013 vigente a la actualidad.

- Estudio de suelos.
Se tomará como referencia el expediente técnico del proyecto. “Mejoramiento de la carretera vecinal desde el Boquerón de Núñez en Bellavista hasta Chilaco en el distrito de Sullana, provincia de Sullana – Piura”
- Mejoramiento de Subrasante
Para el mejoramiento de Subrasante vamos a emplear el sistema SPECTRA aplicado por la Empresa TENSARCORP.
- Para el diseño del pavimento flexible se usará el método ASSTHO 93 especificado en el Manual de Mecánica de Suelos EM-2013 vigente.

1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación surge debido a la deformación constante de la carretera que se inicia en el Boquerón de Núñez en el distrito de Bellavista y finaliza en el centro poblado Chilaco del distrito de Bellavista. Es el punto de partida de este estudio que busca contribuir con el mejoramiento de la carretera.

1.3.1. Problema principal

¿Cuál es la necesidad de optimizar el diseño del paquete estructural de un pavimento flexible, utilizando geomalla triaxial en la subrasante aplicado en el distrito de Bellavista Sullana?

1.3.2. Problemas específicos

¿Es necesario hacer una evaluación de tráfico actual de la vía en estudio?

¿Porque debemos conocer a detalle las características de los materiales a utilizar?

¿Para qué hacer una evaluación climatológica de zona?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

El objetivo general es diseñar un paquete estructural del pavimento flexible que dure en el tiempo y a bajo costo. Reforzando la subrasante con una geomalla triaxial.

1.4.2. Objetivos específicos

- Hacer una evaluación de tráfico actual de la vía.
- Conocer a detalle las características de los materiales a utilizar.
- Hacer una evaluación climatológica de la zona.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

Utilizando la geomalla triaxial en la subrasante se lograra optimizar el diseño del paquete estructural del pavimento flexible. Aplicado en el distrito de Bellavista - Sullana.

1.5.2. Hipótesis Específicas

1. - Con el conteo vehicular durante 7 días se lograra encontrar el IMDA de la ruta en diseño.
2. - Haciendo los análisis respectivos a los materiales de base, sub base y a los materiales de mejoramiento de subrasante, se lograra obtener la calidad de los materiales.
3. Con los antecedentes pluviométricos de la zona y el tipo de suelo, se podrá clasificar el tipo de drenaje de la ruta.

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

La variable única es (independiente), es la siguiente:

1.6.1. Variable de investigación

Optimizar el diseño del paquete estructural de un pavimento flexible, utilizando geomalla triaxial en la subrasante aplicado en el distrito de Bellavista Sullana.

1.6.2. Operacionalización de Variables

Cuadro N° 01
Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
<p>Optimización el diseño del paquete estructural de un pavimento flexible, Utilizando geomalla Triaxial en la subrasante Aplicado en el distrito de Bellavista, Sullana</p>	<p>Sinónimo de optimización Diseño de pavimento Flexible en el distrito de Bellavista Sullana</p>	<p>Cálculo de paquete estructural Comparación de paquete estructural Normal y reforzado</p>	<p>Viabilidad</p>	<p>Tráfico CBR Sistema SPECTRA</p>

1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Tipo de Investigación

- ✓ La presente investigación es de tipo comparativo pues comparará la diferencia entre diseñar un pavimento flexible con una subrasante sin mejorar con una mejorada con geomalla triaxial. INCOHERENCIA

1.7.2. Nivel de Investigación

- ✓ Descriptivo, por los aspectos metodológicos que permitieron describir el procedimiento para calcular un pavimento flexible con subrasante mejorada con geomalla triaxial.

1.7.3. Métodos de Investigación

El presente trabajo de investigación es:

- ✓ **Método inductivo.** -. Este método científico nos permite alcanzar conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes particulares basados en la experimentación de hechos y acciones concretas para llegar a una conclusión general sobre el proceso de investigación.

1.7.4. Diseño de investigación

- ✓ **Investigación No Experimental (Longitudinal):** La investigación no experimental son estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.

Longitudinal: Estos se encargan de analizar a través del tiempo, con el fin de relacionar variables conforme pasa el tiempo con las consecuencias y causa que estas puedan tener.

1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1. Población

La población o universo estará conformada por la provincia de Sullana departamento de Piura.

1.8.2. Muestra

Nuestra muestra es el tramo del Km.23+00 al Km 24+00 de la carretera de la ruta vecinal PI-527.

1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1. Técnicas

Información Indirecta.- Recopilación de la información existente en fuentes bibliográficas (para analizar temas generales sobre la investigación a realizar), hemerográficas y estadísticas; recurriendo a las fuentes originales en lo posible: estas fueron libros, revistas especializadas, opinión de profesionales expertos en el tema de investigación, periódicos escritos por autores expertos y páginas web de internet.

Información Directa.- Este tipo de información se obtuvo mediante ensayos, estudios de laboratorio y de campo y de observación directa con la ayuda de una guía debidamente diseñada.

Los estudios que se realizaron para este proyecto son:

1. **Estudio de mecánica de suelos:** la finalidad de realizar un estudio de mecánica de suelos es conocer las características fisicomecánicas del suelo las cuales son los parámetros necesarios que permitirán diseñar el pavimento.
2. **Análisis de tráfico:** este análisis nos permitirá conocer la cantidad de ejes equivalentes que circularán por dicho tramo y las cargas a las que el pavimento estarán sometidos, estos datos son indispensables para el diseño del pavimento.
3. **Estudio topográfico:** mediante este se conocerán los niveles, desniveles y las características geométricas en las que se encuentra el tramo entre el distrito de Bellavista y las localidades de Chalacala Baja y Somate Bajo, conocer estos datos son importantes para el diseño geométrico de la pavimentación y con un estudio hidrológico y precipitaciones pluviales permitirá diseñar un sistema de evacuación de aguas pluviales.

1.9.2. Instrumentos

Los instrumentos que se emplearon para esta investigación son los siguientes:

- Equipos de laboratorio
- Personal capacitado para realizar el estudio de tráfico
- Formatos para la recolección de datos
- Hojas de cálculo
- Computadora
- Software para analizar los datos y realizar los cálculos necesarios
- Del MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones se obtuvo datos de los peajes (flujo vehicular, pesos de los vehículos, tablas, formatos, estadísticas etc.).

1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1. Justificación

La realización de la presente investigación es absolutamente necesaria y conveniente, desde los siguientes puntos.

Porque además de permitir la titulación en Ingeniería Civil, se va a constituir como un aporte a la investigación académica, concretamente en lo que se refiere al estudio de aplicación de los pavimentos flexibles.

Porque a nivel de la ingeniería en general y civil en particular, se va a presentar como un aporte para la mejora de los propios diseños y/o procesos técnicos que tienen que ver con la construcción de carreteras, concretamente el mejoramiento de subrasante con geomallas y diseño de los pavimentos flexibles, sobre todo como un antecedente importante para la región de la Costa de Piura.

También se justifica porque va a tener un fin práctico y utilitario. Es decir, que va a servir como base para plantear un expediente técnico, el cual servirá para hacer carreteras con bajo costo y buena calidad con las mismas características presentadas en el tramo de estudio.

Los beneficiarios con las aplicaciones prácticas de la presente investigación, será la población de distrito de Bellavista provincia de Sullana.

1.10.2. Importancia

Es importante porque permitirá optimizar el diseño del pavimento flexible utilizando una geomalla como refuerzo de la subrasante en la ruta vecinal denominada PI-527, la cual servirá como referencia para otros estudios y aplicaciones, su importancia se pone de manifiesto porque va a permitir superar la problemática que se presenta actualmente en las localidades de Bellavista, El Chucho, Huangala, Montenegro, Chalacala, Somate Bajo y Chilaco, en lo que respecta al tema de la transitabilidad.

El CPM Chalacala Baja se ubica específicamente a $4^{\circ}47'22.86''$ de latitud Sur y $80^{\circ}34'20.85''$ de longitud oeste a la margen izquierda del Rio Chira, Cuya característica geográfica principal es que la ciudad se ha desarrollado a lo largo del río Chira, sobre una "meseta.

El CPM Chalacala Baja se ubica específicamente a $4^{\circ}44'5.22''$ de latitud Sur y $80^{\circ}31'25.32''$ de longitud oeste a la margen izquierda del Rio Chira, una característica es la topografía general del terreno en donde se ha desarrollado el CPM Somate Bajo. El cual presenta un terreno ondulado y de escaso relieve.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

✓ **Tapia Diez, Andrés Renato (2012) Guayaquil, Ecuador**

En su tesina de seminario de graduación se realiza un diseño de un tramo de carretera Bajada de Chanduy – Aguas Verdes – Pocito utilizando geomallas que es un geosintético que mejora la capacidad estructural del pavimento demuestra lo siguiente:

El problema que se presenta en la carretera Bajada de Chanduy – Aguas Verdes – Pocito es una subrasante de baja capacidad de soporte, el laboratorio de suelo nos brinda un CBR de 2% motivo por el cual se hacen 2 cálculos el primero se calcula el pavimento de forma normal y el segundo se calcula el pavimento utilizando una geomalla biaxial los cálculos se hacen con el método AASHTO 93. Se tiene como datos de diseño un ESAL de 5084630.

En el cálculo de pavimento sin refuerzo obtenemos un paquete estructural de:

Carpeta asfáltica	= 0.10 m
Capa de base	= 0.45 m
Capa de sub base	= 0.59 m
Total	= 1,15 m

En el cálculo de pavimento con refuerzo de geomallas biaxial obtenemos un paquete estructural de:

Carpeta asfáltica	= 0.10 m
Capa de base	= 0.25 m
Capa de subbase	= 0.50 m
Total	= 0.85 m

El ahorro obtenido es de:

Carpeta asfáltica	= 0.00 m
Capa de base	= 0.20 m
Capa de subbase	= 0.09 m

✓ **Erick Arnoldo Caballeros Torres (2006) Guatemala**

En su tesis denominada: "Utilización de la Geomalla como Refuerzo de la Estructura del Pavimento Flexible" demuestra que técnicamente, no se recomienda el uso de las geomallas uniaxiales como refuerzo en las estructuras de pavimento flexible, en virtud, de que su capacidad de carga, es en un solo sentido y/ dirección la geomalla de fibra de vidrio es la mejor solución para minimizar el espesor de la nueva carpeta de rodadura para recapeo, ya que esta puede ser impregnada con material bituminoso para asegurar la adherencia de la misma con el asfalto y, generar continuidad dentro del conjunto de la estructura del pavimento flexible, de acuerdo con la aplicación del programa, la introducción de la geomalla biaxial en la estructura del pavimento flexible presentó efectivamente una reducción de los espesores de las capas que la conforman, así como una reducción de los costos

de construcción equivalentes al dos por ciento para la geomalla BX 1100 y el ocho por ciento para la geomalla BX 1200.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

✓ **Daniel Alberto Orrego Cabanillas (2014) Lima, Perú**

Realizó un estudio de tesis titulado: “Análisis Técnico-Económico del Uso de Geomallas como Refuerzo de Bases Granulares en Pavimentos Flexibles” concluyo que los espesores de las secciones no reforzadas son mayores en todos los casos a los espesores obtenidos en las secciones reforzadas (tanto con geomallas biaxiales como con multiaxiales). Esta diferencia es, en promedio, de alrededor de un 35%, para el caso de las secciones reforzadas con geomallas biaxiales; mientras que llega a ser casi un 45%, en promedio, para el caso del refuerzo con geomallas multiaxiales.

La reducción de los espesores de las secciones reforzadas con geomallas biaxiales varían entre 21.05% y 40.74%. Cuando utilizamos geomallas multiaxiales, esta variación está entre 21.05% y 50%. Podemos apreciar que la reducción mínima en ambos casos es igual. Esto se debe a que en ambos casos predomina el criterio del espesor mínimo de la capa de base granular a conformarse. Es decir, se recomienda colocar un espesor de 15cm como mínimo que asegure la correcta colocación, compactación y densificación del material. A pesar de que el cálculo, en cada uno de los casos, pueda arrojar una sección menor, se descarta siguiendo el criterio antes descrito. Sin embargo, esto no significa que no se pueda lograr un beneficio con la colocación de alguno de estos refuerzos; en la Figura 35 se puede apreciar que hay un importante incremento en el tráfico que pueden soportar las secciones reforzadas. Esto quiere decir que, de colocarse algún refuerzo, podríamos aumentar la vida útil de la vía (al doble para el

caso del refuerzo con geomallas biaxiales; y al triple para el caso de las geomallas multiaxiales.

✓ **Silva Burga, Javier Alejandro (2013) Lima, Perú.**

En su trabajo de investigación denominado: “Uso de Geomallas en Accesos Mineros –Haul roads (experiencias en Yanacocha y Pierina)” el autor nos hace una demostración de reforzamiento de subrasante con geomalla tensor y considera que el material de fundación de las vías de acarreo de la mina Pierna era variable, conformado principalmente por argílicos con alto contenidos de arcillas y cuyo CBR “in situ” fue estimado, por el departamento de geotecnia de la mina, en 2.5%. El material de relleno disponible para estabilización en mina estaba conformado por cuarzo alunita con un CBR de 60%. La vía debería ser capaz de soportar el tránsito de camiones mineros tipo Komatsu 730E de 111m³ de capacidad y 324.32 ton de peso bruto (totalmente cargados).

La solución se plantea usando como refuerzo una geomalla, se aplicó la metodología de Giroud – Han para encontrar el espesor mínimo de relleno a instalar. Para aplicar la ecuación de Giroud – Han se empleó el software SPECTRA PAVE 3.0 versión 2.16, software de libre disposición en la web y de propiedad de Tensar International, considerando una profundidad de ahuellamiento máxima de 3.0 pulgadas al final de la vida útil del acceso.

Al analizar los resultados el espesor del material de mejoramiento sin reforzar nos da 90 cm, y el espesor de material de mejoramiento reforzado con geomalla tipo 1 nos arroja 35 cm.

2.1.3. Antecedentes Locales

- ✓ Ferrer Santiago Manuel A. (2016) Piura – Perú en su diseño en la “Vía de Evitamiento Piura: Vanguardia de los Muros de Suelo Reforzad”.

Los muros de suelo reforzado son estructuras que se componen por un material de relleno compactado, que se estabiliza con capas de elementos que trabajan a tensión (inclusiones de geosintético), formando un macizo reforzado de comportamiento unitario; basan su funcionamiento en la estabilización mecánica del relleno mediante los elementos de refuerzo, permitiendo que el macizo de suelo estabilizado actúe como un bloque. La fuerza total de tensión obtenida en el relleno estructural es directamente proporcional a la cantidad de refuerzo instalado, por lo que es posible diseñar la resistencia del material, según las condiciones de carga solicitadas.

El muro de suelo reforzado desarrollado en el intercambio vial de Piura fue realizado mediante un sistema de paneles de concreto compuesto básicamente por una losa de nivelación, el paramento y cintas poliméricas colocados dentro del relleno estructural. El presente proyecto cumple la función de crear un paso a desnivel que genera mayor fluidez vehicular a la ciudad de Piura, ya que conecta la vía Evitamiento Sur de Piura y la Panamericana Norte.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Introducción a los pavimentos

✓ **Definición:**

Son estructuras compuestas por capas de diferentes materiales, que se construyen sobre terreno natural, diseñado y construido para soportar cargas estáticas y/ o móviles durante un periodo de tiempo predeterminado durante el que necesariamente deberá

recibir algún tipo de tratamiento tendiendo a prolongar su vida de servicio. 1

✓ **Pavimentos Flexibles:**

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento asfáltico. Recibe el nombre de pavimento flexible debido a la forma en que se transmiten las cargas desde la carpeta de rodadura hasta la subrasante. El asfalto no absorbe la totalidad de las cargas vehiculares, actúa más como un transmisor. Por ello los pavimentos flexibles requieren, por lo general, de un número mayor de capas intermedias entre la carpeta de rodadura y la subrasante. 2

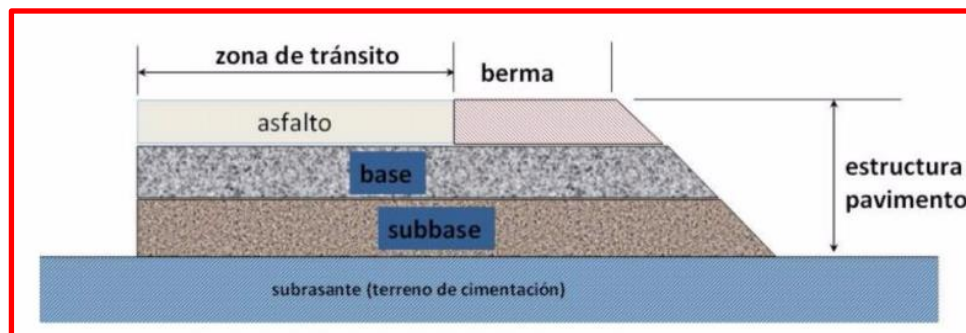


Imagen N° 03: Esquema Pavimento Flexible

2.2.2. Análisis de Mecánica de Suelos

2.2.2.1. Descripción Material Superficial de la Rasante

De la evaluación de la vía se tiene la siguiente inspección visual de la vía en estudio, profundizando el estado de la superficie de rodadura, así como el trazo geométrico existente:

1 Ing. Mario Becerra_ Tipos de Pavimentos y Concretos Diseño Construcción y Supervisión

2 Ing. Mario Becerra_ Tipos de Pavimentos y Concretos Diseño Construcción y Supervisión

Kilómetro 23: en este hay cultivos en ambas márgenes protegidas con cercos vivos. La superficie de rodadura se encuentra en mal estado de conservación, aparentemente por mejoramientos con material de préstamo.

Entre las progresivas 23+000 Km a 24+000 Km se determinó que la actual superficie de superficie de rodadura, está conformada por un material del tipo afirmado, el mismo que tiene varios espesores que van desde 0.10 m a 0.20 m, respecto al segundo estrato este está conformado por suelos del tipo con cohesión del tipo “CL”, arcillas inorgánicas de mediana plasticidad.

2.2.2.2. Trabajos de Laboratorio

a) Análisis que se hicieron a las calicatas

Las muestras fueron tomadas, en cada una de las labores verticales realizadas, teniendo en consideración los estratos y los resultados, se encuentran en el anexo.... del presente estudio.

Cuadro N° 02
Relación de Ensayos que se Aplicaron a la Subrasante

NOMBRE DEL ENSAYO	USO	MÉTODO MTC	ENSAYO ASTM	TAMAÑO DE MUESTRA	PROPÓSITO DEL ENSAYO
Análisis Granulométrico por Tamizado	Clasificación	E- 107	D422	200 gr.	Para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo.
Contenido de Humedad	Clasificación	E- 108	D2216	200 gr.	Determinar el contenido de humedad del suelo.
Límite Líquido	Clasificación	E - 110	D4318	200 gr.	Hallar el contenido de agua entre los estados líquido y plástico.
Límite Plástico	Clasificación	E- 111	D4318	200 gr.	Hallar el contenido de agua entre los estados Plásticos y semi sólidos.
Índice Plástico	Clasificación			200 gr.	Hallar el rango de contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Compactación Proctor Modificado	Diseño de espesores	E-115	D1557	45.0 kg	Determinar la relación entre el Contenido de agua y peso unitario de los suelos (Curva de Compactación).
CBR	Diseño de espesores	E-132	D1883	45.0 kg	Determinar la capacidad de carga. Permite inferir el módulo resiliente.

Fuente: Expediente técnico de la carretera

Cuadro N° 03
Resultado a nivel de Subrasante Segundo Estrato

PROGRESIVA (Km)	CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	CBR		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO								LÍMITES DE ATTERBERG %			CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
				0.1"	0.2"	3"	1"	1 "	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	L.L	L.P	I.P	SUCS	AASHTO
23+500	1	M-2	0.28-1.50	2.30	12.16	100	100	100	100	100	98.90	96.60	70.70	31.8	7.0	9.0	CL	A-4(8)
24+000	2	M-2	0.18-1.50	4.20	12.98	100	100	100.0	100	100	98.70	96.30	66.40	31.8	7.0	9.0	CL	A-4(8)

Fuente: Expediente Técnico de la Carretera

b) Diseño para conformación de las capas de subbase base granular (SBG Y BG)

BASE Y BASE GRANULAR (SBG Y BG)

Se han efectuado los siguientes diseños para el afirmado mejorado, utilizando los siguientes materiales de las canteras evaluadas:

- a. 06 % Del río Chira+ 40 % Cantera de Somate Bajo: Subbase Granular.
- b. 60 % Cantera Somate Bajo (Piedra triturada) + 35 % del río Chira Ag. Fino + 5% Cantera Somate Bajo Agregado Fino: Base Granular

Los resultados de los ensayos efectuados se presentan en el cuadro adjunto.

Cuadro N° 04
Resumen de Resultados de Ensayos de Laboratorio

ENSAYOS DE LABORATORIO EJECUTADOS	SUBBASE GRANULAR (SBG)	BASE GRANULAR (BG)	MEZCLA 1: 60% RIO CHIRA HORMIGÓN + 50% CANTERA SOMATE BAJO AGREGADO FINO		MEZCLA2: 60% CANTERA SOMATE BAJO (PIEDRA CHANCADA) + 35% RIO CHIRA AG. FINO + 5% CANTERA SOMATE BAJO AG. FINO		
			VALOR	SUB BASE GRANULAR	VALOR	BASE GRANULAR	
LL N°40 (%)	25% Max	---	23.70	OK	22.00	OK	
IP N°40 (%)	4% Max.	4% Max	3.37	OK	3.16	OK	
EQUIVALENTE ARENA (%)	25% Min.	35% Min.	---	OK	36.55	OK	
ABRACION (%)	50% Max.	40% Max	37.53	OK	39.10	OK	
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	20% Max.	15% Max	---	---	---	---	
CBR (0.1)	CBR 100(%)	40% Min.	80% Min	73.00	OK	86.50%	NO
SALES SOLUBLES TOTALES (%)	1 % Max	0.5 % Max		OK	0.18%	OK	

Fuente: Expediente técnico de la carretera

2.2.3. ANÁLISIS DEL TRÁFICO

2.2.3.1. Evaluación de tránsito existente

El tránsito vehicular existente en la carretera provenientes de Sullana hacia Chilacos o viceversa, son vehículos ligeros (vehículos con propulsión destinados al transporte y tienen 10 asientos como máximo) y vehículos pesados (destinados para el transporte de personas y carga que sobrepasan los 4000 kg), los cuales se describen a continuación:

Ligeros:

Autos

Mototaxis

Motos lineales

Camionetas rurales

Microbuses (combis / custer)

Pesados:

Ómnibus

Ómnibus interprovincial

Camiones ligeros

Camiones de 2E, 3E, 4E (camiones)

Tráiler y semitráiler hasta más de 5E

La metodología seguida para la aplicación de la recolección y procesamiento de datos de campo (formatos, lineamientos y sugerencias) han sido tomada del Manual de Encuestas de Transporte Urbano (INVERMET - 1989) y las recomendaciones que se da en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte (Cal y Mayor y Asociados), así como en el HCM y el libro de Fundamentos y Aplicaciones de Ingeniería de Tránsito - Rafael Cal y Mayor R. México 2007.

Cuadro N° 05
Clasificación de Vehículos por Peso

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS POR PESO	DESCRIPCIÓN
LIGEROS	MOTO LINEAL MOTOTAXI AUTOS CAMIONETA RURAL
PESADOS	MICROBUSES ÓMNIBUS CAMIÓN SEMI TRAYLER TRAYLER

Fuente: Expediente Técnico de la Carretera

2.2.3.2. Estudio del Tránsito

2.2.3.2.1. Metodología

La metodología que se ha empleado para realizar el estudio de tráfico del tramo Chalaca Somate, es el conteo vehicular utilizando medios manuales de clasificación y conteo de unidades móviles en un punto estacionario en la entrada de Somate.

Dicha acción fue necesaria realizar en la medida de la importancia de contar con la información que permita determinar el flujo vehicular actual, es decir, la cantidad de vehículos que circula por la vía desde Chacala Baja hasta Somate.

✓ **Etapas de planificación**

Estación 1: Somate– La estación 1 se ha considerado en el CP Somate comprende el tramo Chalacalá - Somate.

Diseño de formatos para recoger información de campo:

Formulario N° 01 Estudio de Clasificación Vehicular.

Formulario N° 02 Estudio de Clasificación Vehicular- Hoja Resumen.

Trabajo de Campo

Se obtuvo los aforos vehiculares en campo y se realizó el trabajo de gabinete, este consiste en la digitalización de los datos recolectados en campo en una hoja de cálculo de formato excel.

Cada uno de los volúmenes vehiculares identificados para los efectos de su empleo como base para la determinación de los diversos parámetros, ha sido necesario expresarse en UCP (unidades de conversión patrón), para cuyo efecto se han aplicado convenientemente las conversiones respectivas que son las siguientes:

Cuadro N° 06
Clasificación de Vehículos por Peso

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS POR PESO	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE CONVERSIÓN
		UCP
LIGEROS	MOTO LINEAL	0.25
	MOTOTAXI	0.33
	AUTOS	1.00
	CAMIONETA RURAL	1.25
	BICICLETAS	0.15
PESADOS	MICROBUSES	2.00
	ÓMNIBUS	3.00
	CAMIÓN	2.50

Fuente: Municipalidad Provincial de Sullana

Los vehículos que transitan por esta vía se clasifican de la siguiente manera:

Cuadro N° 07
Vehículos Ligeros

MOTOTAXI	MOTO LINEAL
	


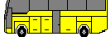


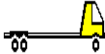

Fuente: Expediente Técnico de la Carretera

Cuadro N° 08
Vehículos Ligeros

AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		
		PICK UP	PANEL	RURAL Combi
				

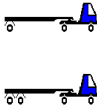
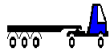

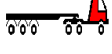
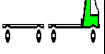
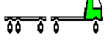
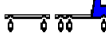

Fuente: Expediente técnico de la carretera

Cuadro N° 09
Vehículos Pesados

MICRO	BUS		CAMION		
	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E
					

Fuente: Expediente Técnico de la Carretera

Cuadro N° 10
Vehículos Pesados

SEMI TRAYLER				TRAYLER			
2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
							

Fuente: Expediente Técnico de la Carretera

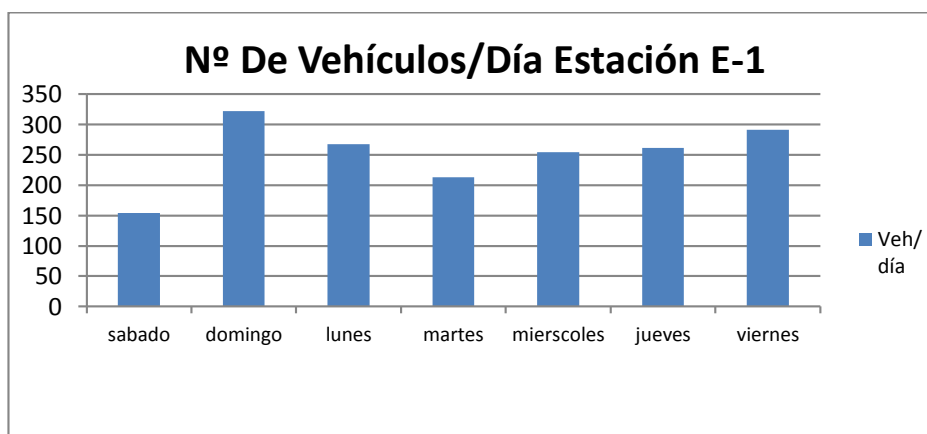
2.2.3.3. Resultados del Conteo Vehicular

Cuadro N° 11
Estación 01 Conteo Vehicular

Tipo de Vehículo	sábado	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes
Automóvil	127	91	110	66	117	124	128
Camioneta	21	163	92	89	97	98	68
C.R.	6	54	49	37	29	31	78
Micro	0	0	0	0	0	0	0
Bus Grande	0	0	2	2	0	0	1
Camión 2E	0	14	15	19	12	9	16
Camión 3E	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	154	322	268	213	255	262	291

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 01



iii) Aplicar la siguiente fórmula, para un conteo de 7 días

$$IMD_a = IMD_s * FC$$

$$IMD_s = \sum \frac{Vi}{7}$$

Donde:

IMD_s = Índice Medio Diario Semanal de la Muestra Vehicular Tomada

IMDa = Índice Medio Anual

Vi = Volumen Vehicular diario de cada uno de los días de conteo

FC = Factores de Corrección Estacional

Cuadro N° 12
Tráfico Vehicular Ambos Sentidos por Día

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día							TOTAL SEMANA	IMDs	FC	IMDa
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo				
Mototaxi / Moto lineal	67	125	123	115	115	130	136	811	116	0.95325	110
Automóvil	82	85	80	55	38	68	61	469	67	0.95325	64
Station wagon	47	60	59	62	60	91	85	464	66	0.95325	71
Camioneta (PICK UP)	197	127	114	124	67	145	140	914	131	0.95325	124
Combi	11	65	64	39	22	17	27	245	35	0.95325	33
Bus B2	6	-	-	8	3	-	3	20	3	1.06933	3
Camión C2	12	9	12	21	14	7	19	94	13	1.06933	14
Camión C4	2	2	-	2	-	-	-	6	1	1.06933	1
Semi Trayler 3S1/3S2	7	-	3	5	6	1	-	22	3	1.06933	3
Semi Trayler 3S3	5	2	6	6	6	4	-	29	4	1.06933	4
TOTAL	369	350	338	322	216	333	335	2,263	439		427
PORC. %	16.31%	15.45%	14.92%	14.24%	9.54%	14.73%	14.80%	100.00%			

Fuente: Elaboración Propia

2.2.3.4. Tasa de Crecimiento Anual

Debido a que la información existente de tráfico presenta variabilidad en el comportamiento por cada tipo de vehículo, tasas decrecientes y crecientes muy elevadas, se estimó razonable establecer el criterio económico para la tasa anual de crecimiento del tráfico, el cual asume el mismo crecimiento del PBI proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Cuyo dato aprox. para el año 2016 es 4.20%) y empleando la fuente del Aplicativo de Conteo Vehicular establecido por el MTC se tiene:

Para el cálculo de la Tasa de Crecimiento Anual se aplicó la siguiente fórmula: 3

$$R_t = (T_2/T_1)^{1/m} - 1$$

Donde:

Rt.	=	Tasa de Crecimiento Anual
T1	=	IMD del Año Base por tipo de Vehículo.
Tn	=	IMD del Año n por tipo de Vehículo.
m	=	Número de periodos desde el año base ($m = n-1$)

a) Tráfico proyectado

El Tráfico obtenido corresponde al tráfico normal, el tráfico inducido o generado es el que se obtiene en forma adicional, como resultado de aquel que se va estableciendo como consecuencia de la rehabilitación y política de mantenimiento que ese imponga. Este tráfico, en forma proyectada es el que conjuntamente con el normal, queda establecido, como consecuencia de la aplicación de variables socioeconómicas representadas por los factores y tasa empleadas en las proyecciones. En este caso no se da un tráfico desviado.

El tráfico proyectado se efectúa para el Índice Medio Diario Anual obtenido en cada sector de conteo vehicular. El periodo de proyección corresponde al período de servicio de la vía considerado que es 20 años.

Por lo tanto solo se considera el tráfico normal. Para el cálculo del tráfico futuro se utilizará la siguiente fórmula: 4

$$T_n = T_0(1+r)^{(n-1)}$$

Donde:

Tn = Tránsito proyectado al año en vehículo por día

To = Tránsito actual (año base) en vehículo por día

n = Año futuro de proyección

r = Tasa de crecimiento anual para el cual se calcula el volumen de tráfico

Tasa de crecimiento por región en %

r _{vp} =	0.90	Tasa de Crecimiento Anual de la Población	(para vehículos de pasajeros)
r _{vc} =	2.00	Tasa de Crecimiento Anual del PBI Regional	(para vehículos de carga)

b) Tráfico proyectado

A continuación se presenta los IMD diarios actuales y proyectados a 20 años.

Cuadro N° 13 Proyección de Tráfico sin Proyecto

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Tráfico Normal	427	427	432	435	440	445	448	455	459	465	469	475	479	484	490	495	499	504	511	515	520
Moto taxi / Moto lineal	110	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	124	125	126	127	128	129	130
Automovil	64	64	65	65	66	66	67	68	68	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76
Station wagon	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	83	84
Camioneta (PICK UP)	124	124	125	126	127	129	130	131	132	133	134	136	137	138	139	141	142	143	144	146	147
Combi	33	33	34	34	35	36	36	37	38	39	39	40	41	42	43	44	44	45	46	47	48
Bus B2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Camión C2	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	17	17	17	18	18	18	19	19	20	20	20
Camión C4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Semi Traylor 3S1/3S2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Semi Traylor 3S3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6

Fuente: Elaboración Propia

Tipo de Intervención	% de Tráfico Normal
Mejoramiento	15

Fuente: Guía Metodológica Simplificada

Cuadro N° 14 Proyección de Tráfico - Con Proyecto

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Tráfico Normal	427	427.00	432.00	435.00	440.00	445.00	448.00	455.00	459.00	465.00	469.00	475.00	479.00	484.00	490.00	495.00	499.00	504.00	511.00	515.00	520.00
Moto taxi / Moto lineal	110	110.00	111.00	112.00	113.00	114.00	115.00	116.00	117.00	118.00	119.00	120.00	121.00	122.00	124.00	125.00	126.00	127.00	128.00	129.00	130.00
Automovil	64	64.00	65.00	65.00	66.00	66.00	67.00	68.00	68.00	69.00	69.00	70.00	71.00	71.00	72.00	73.00	73.00	74.00	75.00	75.00	76.00
Station wagon	71	71.00	72.00	72.00	73.00	74.00	74.00	75.00	76.00	76.00	77.00	78.00	78.00	79.00	80.00	80.00	81.00	82.00	83.00	83.00	84.00
Camioneta (PICK UP)	124	124.00	125.00	126.00	127.00	129.00	130.00	131.00	132.00	133.00	134.00	136.00	137.00	138.00	139.00	141.00	142.00	143.00	144.00	146.00	147.00
Combi	33	33.00	34.00	34.00	35.00	36.00	36.00	37.00	38.00	39.00	39.00	40.00	41.00	42.00	43.00	44.00	44.00	45.00	46.00	47.00	48.00
Bus B2	3	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Camión C2	14	14.00	14.00	15.00	15.00	15.00	15.00	16.00	16.00	16.00	17.00	17.00	17.00	18.00	18.00	18.00	19.00	19.00	20.00	20.00	20.00
Camión C4	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Semi Traylor 3S1/3S2	3	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Semi Traylor 3S3	4	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Tráfico Generado	0.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	66.00	66.00	68.00	70.00	72.00	73.00	74.00	74.00	75.00	76.00	76.00	76.00	77.00	77.00	79.00
Moto taxi / Moto lineal	0.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	20.00
Automovil	0.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Station wagon	0.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00
Camioneta (PICK UP)	0.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Combi	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Bus B2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Camión C2	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Camión C4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Semi Traylor 3S1/3S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Semi Traylor 3S3	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
IMD TOTAL	427.00	492.00	497.00	500.00	505.00	510.00	514.00	521.00	527.00	535.00	541.00	548.00	553.00	558.00	565.00	571.00	575.00	580.00	588.00	592.00	599.00

Fuente: Elaboración Propia

2.2.3.5. Resumen de Tráfico

Cuadro N° 15
Resumen de Tráfico

Tipo de Vehículo	AL AÑO 0	AL AÑO 20		
	TRÁFICO ACTUAL	IMD	TRÁFICO GENERADO	TRÁFICO TOTAL
Mototaxi / Moto lineal	110	130.00	20.00	150.00
Automóvil	64	76.00	11.00	87.00
Station wagon	71	84.00	13.00	97.00
Camioneta (PICK UP)	124	147.00	22.00	169.00
Combi	33	48.00	7.00	55.00
Bus B2	3	4.00	1.00	5.00
Camión C2	14	20.00	3.00	23.00
Camión C4	1	1.00	0.00	1.00
Semi Trayler 3S1/3S2	3	4.00	1.00	5.00
Semi Trayler 3S3	4	6.00	1.00	7.00
IMD	427	520.00	79.00	599.00

Fuente: Elaboración propia

2.2.4. TRATAMIENTO DE SUBRASANTE CON SISTEMA SPECTRA

2.2.4.1. Mecanismos de Refuerzo con Geomallas Multiaxiales

Se han identificado tres mecanismos de refuerzo de las geomallas en el refuerzo: confinamiento lateral de las partículas, mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural y el efecto membrana tensionada (ETL 1110-1-189).

Confinamiento Lateral

Este mecanismo se logra a través de la trabazón de las partículas granulares con el refuerzo. Las geomallas aumentan el módulo de la capa reforzada al confinar las partículas e impedir su movimiento natural ante la aplicación de las cargas vehiculares. La trabazón mecánica aumenta la rigidez de la base reduciendo las deformaciones verticales en

a interface inferior y los ahuellamientos en la superficie de rodadura. 5

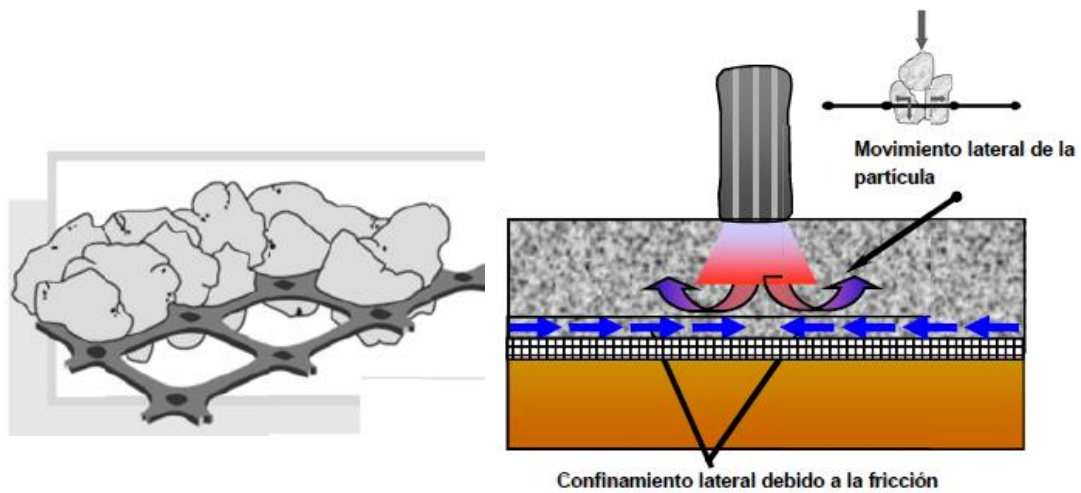


Imagen 4. Confinamiento Lateral Incremento del [Modulo](#)
(FUENTE: Use of Geogrids in pavement Construction
USACOE ETEL 1110-1

Mejoramiento de la Capacidad Portante del Terreno Natural

La rigidez de la geomalla permite distribuir las cargas aplicadas en una mayor área disminuyendo los esfuerzos cortantes y verticales en el terreno natural blando. Básicamente se traslada el plano de falla de la estructura del pavimento de un material no competente (blando) a materiales de mejor comportamiento estructural como la base /subbase. Este mecanismo de refuerzo se conoce como efecto de zapato de nieve. 6

5 Ing. Javier Alejandro Silva Burga_ Uso De Geomallas En Accesos Mineros – Haul Roads (Experiencias En Yanacocha Y Pierina)

6 Ing. Javier Alejandro Silva Burga_ Uso De Geomallas En Accesos Mineros – Haul Roads (Experiencias En Yanacocha Y Pierina)

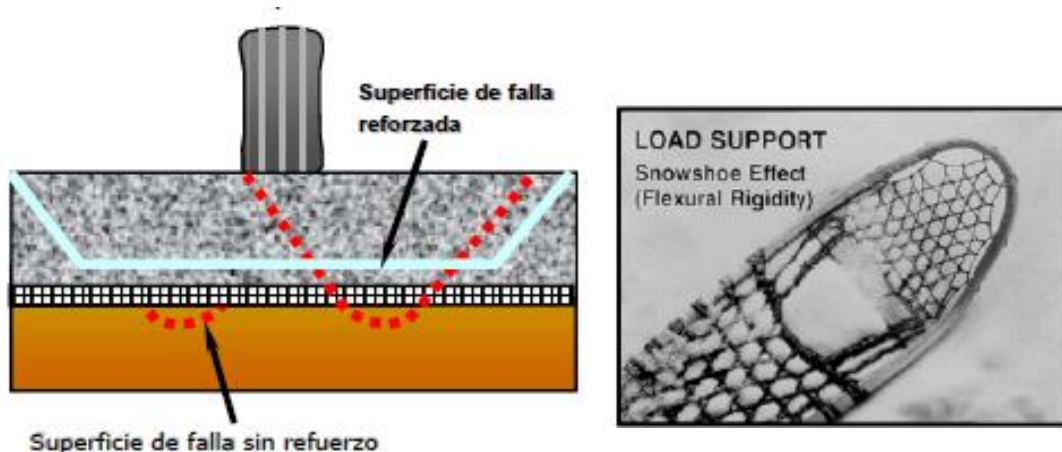


Imagen 5. Mejoramiento Capacidad Portante (FUENTE: Use of Geogrids in pavement Construction USACOE ETEL 1110-1)

Efecto membrana tensionada

Este mecanismo se presenta cuando ocurre un ahuellamiento o deformación considerable en el terreno natural debido a una carga vehicular, desarrollándose unos esfuerzos que son soportados por la resistencia a la tensión del refuerzo. Este efecto de membrana tensionada desarrolla en el esfuerzo vertical una resistencia vertical y un confinamiento hacia abajo, aumentando la resistencia al corte del terreno natural. Este mecanismo de refuerzo para desarrollarse necesita una deformación significativa de la superficie de la carretera que no siempre es admisible, el tráfico debe ser canalizado. 7

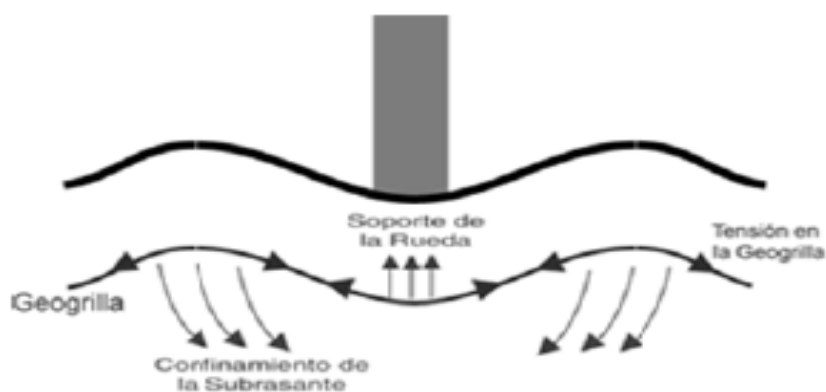


Imagen 6. Efecto Membrana Tensionada (FUENTE: Use of Geogrids in pavement Construction USACOE ETEL 1110-1)

2.2.4.2. Geomallas Multiaxiales Como Mejoramiento De Subrasante

Las subrasantes pobres presentan problemas frecuentes en la construcción de pavimentos. Como fundación de una vía, la subrasante que falle conducirá al deterioro rápido de la estructura, esto es visible cuando una capa es aplicada directamente sobre un camino, en ese momento las partículas individuales del relleno oscilan y rompen la parte superior de la subrasante la cual se moviliza hacia arriba para llenar los vacíos formados, este mecanismo se conoce como “bombeo”. Aunque estos movimientos pueden ser bastante pequeños el bombeo puede causar contaminación del relleno y una gran reducción de su resistencia a la fricción la capacidad portante disminuye y el agregado se mueve lateralmente creando surcos o baches en la superficie.

Tradicionalmente, las subrasantes pobres o contaminadas por efecto de “bombeo” han sido removidas y reemplazadas con relleno importado o estabilizadas químicamente. Ambas opciones son caras tanto en dinero como tiempo, en especial comparadas con la solución de geomallas al instalar una geomalla entre el relleno de mejoramiento y la subrasante, las partículas del relleno penetran en las aberturas de la geomalla trabándose en sus aperturas triangulares reduciendo la oscilación, movimientos laterales y el efecto de “bombeo”. Este entrelazado mecánico también dispersa fuerzas verticales sobre la geomalla permitiendo que se forme un arco bajo la carga aumentando su capacidad portante, la vida útil de la fundación y reduciendo el espesor de material de mejoramiento requerido. En resumen, la geomalla trabaja como pieza estructural transmitiendo cargas a bajas deformaciones sobre

un área mucho mayor e inhibiendo los movimientos laterales del agregado. 8

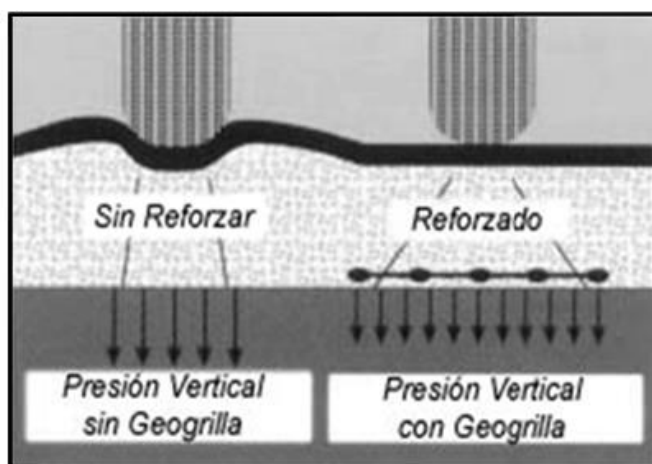


Imagen 7. Distribución de Presiones Tensionada
(FUENTE: Use of Geogrids in pavement Construction
USACOE ETEL 1110-1.)

Para que estos beneficios sean tangibles, es muy importante que las geomallas cuenten con características mínimas que garanticen su adecuado comportamiento dentro de un relleno de mejoramiento. Resultados de ensayos que evaluaron el desempeño de diferentes tipos de geomallas versus secciones de control sin refuerzo, mostraron que las geomallas extruidas han tenido, un mejor comportamiento estructural, las propiedades que deben ser tomados en cuenta en la elección de las geomallas para un buen comportamiento estructural son su resistencia y eficiencia de las uniones, mayor rigidez torsional y estabilidad de sus aberturas, por ende su mayor confinamiento del agregado de mejoramiento. 9

8 Ing. Javier Alejandro Silva Burga_ Uso De Geomallas En Accesos Mineros – Haul Roads (Experiencias En Yanacocha Y Pierina)

9 Ing. Javier Alejandro Silva Burga_ Uso De Geomallas En Accesos Mineros – Haul Roads (Experiencias En Yanacocha Y Pierina)

2.2.4.3. Nueva Metodología : Geomallas Multiaxiales

Luego de entender la teoría detrás del refuerzo de carreteras con geomallas, expertos trabajaron por más de 5 años en el diseño y desarrollo de un nuevo y más eficiente producto. Básicamente, para esta nueva tecnología se tuvieron en cuenta las características que el refuerzo debería tener para que funcionara adecuadamente en la estructura del pavimento y los mecanismos de refuerzo con los cuales se trabaja. Se sabía que:

- La trabazón es crítica para el refuerzo de base.
- La rigidez es crucial para distribuir las cargas en una mayor área.
- El confinamiento lateral es el mecanismo de refuerzo.
- La importancia del espesor y forma de las costillas para que ocurra el confinamiento
- La eficiencia de las juntas es importante para impedir el movimiento de las partículas ante la aplicación de la carga.

Finalmente, los expertos lograron rediseñar exitosamente la estructura de la geomalla. Utilizando una de las estructuras más estables de la construcción – el triángulo – se logró hacer una transición de una abertura rectangular convencional a una geometría triangular. Esta nueva geometría ofrece un mayor confinamiento mayor rigidez, en general un mejor comportamiento estructural figura (Imagen 08).

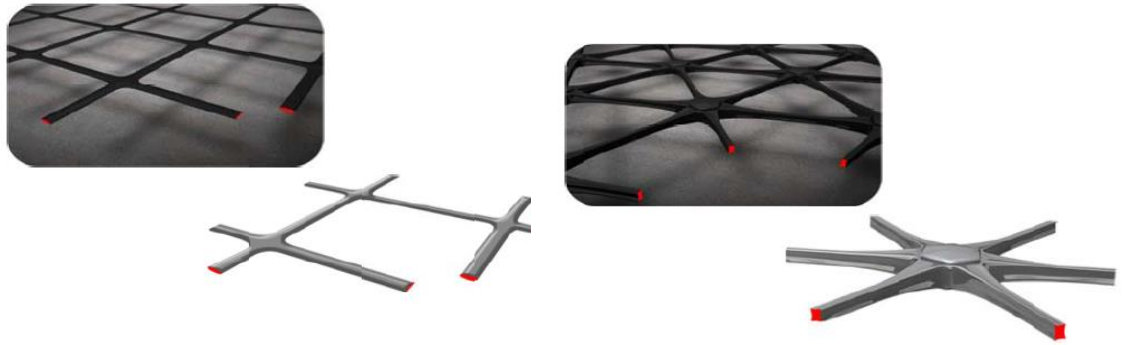


Imagen 08. Comparación entre Uniones o Juntas de las Geomallas Multiaxiales y las Biaxiales

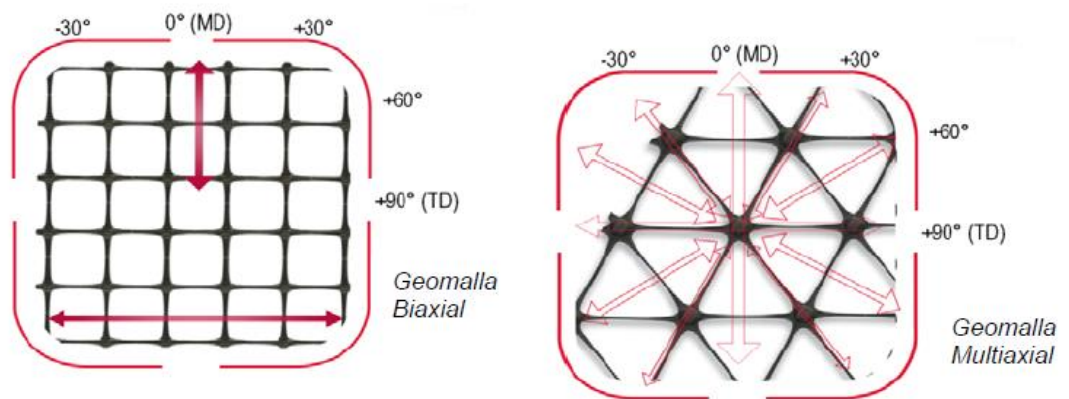


Imagen 09. Comparación entre Uniones o Juntas de las Geomallas Multiaxiales y las Biaxiales

La geometría triangular brinda una estructura que logra un alto grado de rigidez en los 360 grados. Esta geometría asegura tener un confinamiento radial (Gráfico 7) para controlar el movimiento de las partículas en cualquier dirección, ayudando a garantizar el desempeño óptimo del refuerzo en la estructura del pavimento.

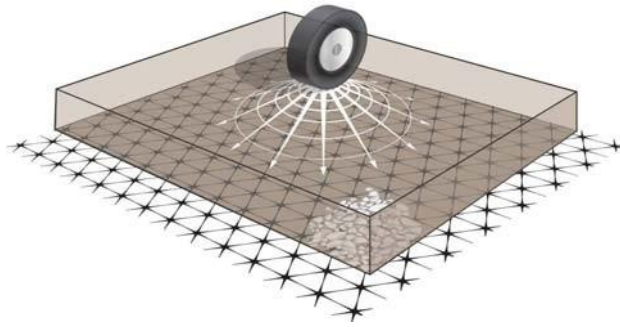


Imagen 10. Confinamiento Radial con la Geomalla Multiaxial

Este mejor desempeño como refuerzo en la estructura del pavimento ha sido comprobado por varios ensayos en campo y laboratorio. Entre estos ensayos se encuentran:

- Laboratorio de Investigación del Transporte (Reino Unido): "Pequeño - Estudio sobre los resultados trata escala con TX140, TX7 y BX1200".
- Laboratorio de Investigación del Transporte (Reino Unido): "Transportation Research Laboratory Testing completa escala con BX1100, BX1200 y TX160".
- Edificio Research Establishment (Reino Unido): "Teniendo estudio sobre la capacidad utilizando TX160, TXDEV y BX1200".
- US Army Corps of Engineers Full Scale APT (USA): "Vicksburg Accelerated Pavement Test
- United States Army Corp of Engineers"
- US Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estudio de Estabilización (EE.UU.): "Full-Scale multietapas cíclico- Estudio de carga con TX140, TX7 y BX1200". La geometría triangular Brinda LOGRA UNA Estructura Que Un alto grado de rigidez en los 360 grados. Geometría this Asegura Tener un

confinamiento radial (Gráfico 10). Controlar el movimiento de las partículas en any direction dirección, ayudando a garantizar el desempeño óptimo del refuerzo en la estructura del pavimento.

- Han Jie - Pruebas de Caja de Giroud-Han Modificación (EE.UU.): "Giroud-Han Método de Diseño - Validación / pruebas de calibración con TX160 y TX7".
- Las pruebas pavimentadas LTRC la caja: "Multietapas-cargar la prueba repetida de la célula triaxial con TX160".
- LTRC Triaxial Cell Testing: "Tactile Sensor Analysis of the Demonstration Box Test Using eosynthetics – TX7".

La figura 07 muestra los resultados de uno de los ensayos realizados por el Transportation esearch Laboratory (UK). Después de cada ensayo, la capa de agregados y geomalla (de ser el caso) son cuidadosamente removidas con la finalidad de medir el ahuellamiento en el tope de la subrasante. Se puede notar que la serie de geomallas del tipo multiaxial reduce significativamente los esfuerzos hacia la subrasante, por tanto reduce los ahuellamientos de manera más efectiva que las geomallas biaxiales o que la sección sin geomalla: 10

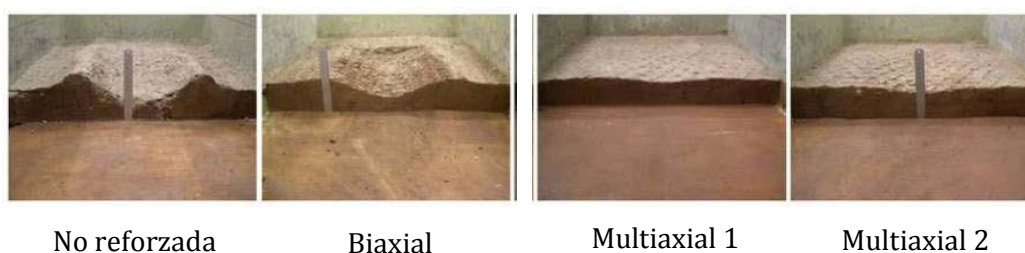


Imagen. 11. TIL Technical Centre Trafficking Device, UK Dispositivo de Tráfico del Centro Técnico TIL, Reino Unido

2.2.4.4. Metodología de Diseño

En agosto del 2004 y luego de más de dos décadas de investigación y uso de geomallas en aplicaciones de mejoramiento de subrasantes, los doctores J.P. Giroud y Jie han desarrollado y verificado un método de diseño, basado en la metodología Giroud and Noiray (1981), que emplea la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante producida por las cargas vehiculares. Con esta presión se calcula un espesor mínimo de relleno necesario para que la subrasante pueda soportar las cargas aplicadas. Giroud - Han tienen en cuenta todas las propiedades consideradas en el método Giroud - Noiray, y adicionalmente considera las características del Módulo de Elasticidad del material de relleno, la variación del ángulo de distribución de esfuerzos con el número de pasadas de ejes equivalentes, el módulo de estabilidad de la apertura del material de refuerzo y la profundidad de ahuellamiento. Esta metodología ha sido publicada en el “Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering – ASCE” (Volumen 130 – Número 8) y en agosto del 2008, fue incluida en el “Geosynthetic Design & Construction Guidelines – Reference Manual (NHI Course No 132013)” de la Federal Highway Administration (FHWA NHI-07-092). La ecuación, propuesta por la FHWA en dicha publicación, es la siguiente:

$$h = \frac{0.368 + (0.661 - 1.006 J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{[1 + 0.204 (R_E - 1)]} \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left[1 - 0.9 e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2} \right] N_c f_c CBR_{zg}} - 1}} \right) r$$

(Ecuación 01)

Donde:

h = Espesor de relleno (m)

J = Módulo de estabilidad de la abertura del refuerzo (N-m/grados)

P = Carga por eje (kN o KIPS)

r = Radio del área de contacto de llanta (m) = $(P/(\pi \cdot p))^{0.5}$

p = Presión de inflado de llanta (kPa o PSI)

N = Número de pasadas de ejes equivalentes

RE = Relación de módulos = $E_{bg}/E_{sg} = .28CBR_{bc}/CBR_{sg} \leq 5$.

CBR_{bc} = CBR del relleno.

CBR_{sg} = CBR de la subrasante.

N_c = Factor de Capacidad de soporte del suelo de fundación:
En vías no reforzadas = 3.14, en vías reforzadas con geotextiles = 5.14 y en vías reforzadas con geomallas = 5.71.

f_s = Factor de profundidad de ahuellamiento. s = Máxima profundidad de ahuellamiento.

F_c = Factor relacionado al CBR de la subrasante

en condiciones no drenadas, $c_u = 4.3\text{PSI}$ (30kPa). 11

2.2.5. NUMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES

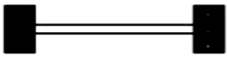
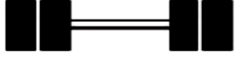
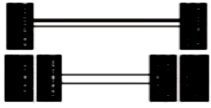

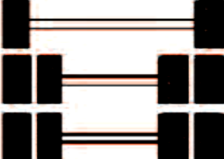

Para el diseño de pavimento la demanda que corresponde al del tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

11 Ing. Javier Alejandro Silva Burga_ Uso De Geomallas En Accesos Mineros – Haul Roads (Experiencias En Yanacocha Y Pierina)

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg². Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento. 12

En la Imagen N° 12 se presenta la configuración de ejes siguiente:

Imagen 12. Configuración de Ejes

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Grafico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota:

RS : Rueda Simple

RD: Rueda Doble

Factor Direccional (Fd) y Factor Carril (Fc)

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

El factor de distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD (Ver Tabla N° 01). **13**

Tabla N°01
Factores de Distribución Direccional y de Carril para Determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.50

Fuente: Manual de carreteras Suelos; Geología, Geotecnia y pavimentos, en base de la Guía AASHTO 93

Factor vehículo pesado (Fvp_i)

El Factor Vehículo Pesado (Fvp), se define como el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo la sumatoria de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado. El cálculo de factores de EE se efectuará utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas. ¹⁴

Factor de Presión de Neumático (Fp)

Para los pavimentos flexibles y semirrígidos se tomará en cuenta, para el cálculo de EE, un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que producen las presiones de los neumáticos sobre el pavimento flexible o semirrígido. Para el caso de afirmados y pavimentos rígidos el factor de ajuste por presión de neumáticos será igual 1.0. Para la determinación de los factores de presión de neumáticos se utilizarán los valores del Cuadro 6.13, valores intermedios podrán interpolarse. Los valores del Cuadro 6.13 han sido obtenidos de correlacionar los valores de la Figura IV-4 EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto, modificando la presión inicial de 70 psi que indica la mencionada figura por la presión inicial de 80 psi. ¹⁵

¹⁴ Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

¹⁵ Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

Tabla N°02

Factor De Ajuste Por Presión Del Neumático (Fp) Para Ejes Equivalentes (EE)

Espesor de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático [PCN] en psi PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (psi)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.36	1.80	2.31	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Nota:

- EE = Ejes Equivalentes
- Presión de inflado del neumático (Pin): está referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto del neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el Factor de Ajuste igual al espesor de 50 mm.

Fuente : Elaboración propia, en base a correlaciones con la Figura IV-4 EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto.

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados: 16

$$N \text{ rep de EE } EE_{8.2 \text{ tn}} = \Sigma(EE_{\text{dia carril}} \times Fca \times 365)$$

Donde:

Tabla N°03
Ejes Equivalentes

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8.2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
EE_{dia-carril}	<p>EE_{dia-carril} = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> $EE_{dia-carril} = IMD_{p_i} \times Fd \times Fc \times Fvp_i \times Fp_i$ <p>donde:</p> <p>IMD_{p_i}: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>Fd: Factor Direccional, según Cuadro N°6.1.</p> <p>Fc: Factor Carril de diseño, según Cuadro N° 6.1.</p> <p>Fvp_i: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>Fp_i: Factor de Presión de neumáticos, según Cuadro N° 6.13.</p>
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 6.2)
365	Número de días del año
Σ	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

Fuente: Manual de carreteras Suelos; Geología, Geotecnia y pavimentos, en base de la Guía AASHTO 93

2.2.6. MÉTODO GUÍA AASHTO 93 DE DISEÑO

Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la subrasantes para el cálculo de espesores.

Se incluye más adelante la ecuación de cálculo en la versión de la Guía AASHTO – 93.

El propósito del modelo es el cálculo del Numero Estructural requerido (SNr), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto. 17

2.2.6.1. Periodo de diseño

Se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido, a un costo razonable.

Generalmente, el periodo de diseño será mayor al de la vida útil del pavimento, porque incluye en el análisis al menos una rehabilitación o recrecimiento, por lo tanto este será superior a 20 años.

Los periodos de diseño recomendados por la AASHTO se muestran en la tabla N° 04. 18

Tabla N° 04
Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

17 Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

18 Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

2.2.6.2. Variables

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R \cdot S_O + 9.36 \cdot \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}_{10} M_R - 8.07$$

a. W18)

W18, es Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 18000 lb (80 kN) para el periodo de diseño, corresponde al Número de Repeticiones de EE de 8.2t; el cual se establece con base en la información del estudio de tráfico. **19**

b. Módulo de Resiliencia (MR)

Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de subrasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

Tabla N° 05
Categorías de Subrasante

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	(CBR)
S0 : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1 : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2 : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3 : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4 : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5 : Subrasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de carreteras Suelos; Geología, Geotecnia y pavimentos

El Módulo de Resiliencia es (MR) es una medida de la rigidez del suelo de subrasante, el cual para su cálculo se empleará la

ecuación, que correlaciona con el CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide): 20

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

Tabla N° 06
Módulo Resiliente Obtenido por Correlación con CBR

CBR% SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (PSI)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (MPA)
6	8,043.00	55.45
7	8,877.00	61.20
8	9,669.00	66.67
9	10,426.00	71.88
10	11,153.00	76.90
11	11,854.00	81.73
12	12,533.00	86.41
13	13,192.00	90.96
14	13,833.00	95.38
15	14,457.00	99.68
16	15,067.00	103.88
17	15,663.00	107.99
18	16,247.00	112.02
19	16,819.00	115.96
20	17,380.00	119.83
21	17,931.00	123.63
22	18,473.00	127.37
23	19,006.00	131.04
24	19,531.00	134.66
25	20,048.00	138.23
26	20,558.00	141.74
27	21,060.00	145.20
28	21,556.00	148.62
29	22,046.00	152.00
30	22,529.00	155.33

Fuente: Manual de Carreteras Suelos; Geología, Geotecnia y Pavimentos, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide)

c. Confiabilidad (%R)

El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (%R) que representa la probabilidad de como una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto. Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento; sin embargo, solicitudes diferentes a las esperadas, como por ejemplo, calidad de la construcción, condiciones climáticas extraordinarias, crecimiento excepcional del tráfico pesado mayor a lo previsto y otros factores, pueden reducir la vida útil prevista de un pavimento.

De acuerdo a la guía AASHTO es suficientemente aproximado considerar que el comportamiento del pavimento con el tráfico, sigue una ley de distribución normal, en consecuencia pueden aplicarse conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada; por ejemplo, 90% o 95%, significa que solamente un 10% o 5% del tramo pavimentado, se encontrará con un índice de serviciabilidad inferior al previsto; es decir, que el modelo de comportamiento está basado en criterios de serviciabilidad y no en un determinado mecanismo de falla. En consecuencia, a mayor nivel de confiabilidad se incrementará el espesor de la estructura del pavimento a diseñar.

La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la Ecuación de Diseño, para ello debe usarse el coeficiente estadístico conocido como Desviación Normal Estándar (Z_r).

A continuación se especifican los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico: **21**

Tabla N° 07
Valores Recomendados de Nivel de Confiabilidad para una Sola
Etapa de Diseño (10 ó 20 años) según rango de Tráfico

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp0	100,000	150,000	65%
	Tp1	150,001	300,000	70%
	Tp2	300,001	500,000	75%
	Tp3	500,001	750,000	80%
	Tp4	750 001	1,000,000	80%
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	85%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	85%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	90%
	Tp9	7,500,001	10'000,000	90%
	Tp10	10'000,001	12'500,000	90%
	Tp11	12'500,001	15'000,000	90%
Resto de caminos	Tp12	15'000,001	20'000,000	95%
	Tp13	20'000,001	25'000,000	95%
	Tp14	25'000,001	30'000,000	95%
	Tp15	>30'000,000		95%

Fuente: Manual de Carreteras Suelos; Geología, Geotecnia y pavimentos

Para un diseño por etapas, según AASHTO, se deben determinar las confiabilidades de cada etapa, teniendo en cuenta la confiabilidad total correspondiente a todo el periodo de diseño, que para el presente Manual, corresponde a los valores indicados en el Cuadro 12.6, elevado a la potencia inversa del número de etapas. Así se tiene la relación siguiente:

RE tapa = Confiabilidad de cada etapa

R Total = Confiabilidad total para el periodo total de diseño (ver Tabla N° 07)

n = Número de etapas.22

d. Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)

El Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr) representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. ²³

Tabla N° 08

Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una Sola Etapa de Diseño (10 ó 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar Normal (zr)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp0	100,000	150,000	-0.385
	Tp1	150,001	300,000	-0.524
	Tp2	300,001	500,000	-0.674
	Tp3	500,001	750,000	-0.842
	Tp4	750 001	1,000,000	-0.842
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	Tp7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	Tp9	7,500,001	10'000,000	-1.282
	Tp10	10'000,001	12'500,000	-1.282
	Tp11	12'500,001	15'000,000	-1.645
Resto de caminos	Tp12	15'000,001	20'000,000	-1.645
	Tp13	20'000,001	25'000,000	-1.645
	Tp14	25'000,001	30'000,000	-1.645
	Tp15	>30'000,000		-1.645

Fuente: Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

e. Desviación Estándar Combinada (So)

La Desviación Estándar Combinada (So), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre

del modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” 158 Sección: Suelos y Pavimentos 0.50, en el presente Manual se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45. ²⁴

f. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El índice de serviciabilidad presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece. ²⁵

1) Serviciabilidad Inicial (Pi)

La Serviciabilidad Inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida. A continuación se indican los índices de servicio inicial para los diferentes tipos de tráfico: ²⁶

²⁴ Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

²⁵ Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

²⁶ Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

Tabla N° 09
Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)
Según Rango de Tráfico

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (pi)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp1	150,001	300,000	3.80
	Tp2	300,001	500,000	3.80
	Tp3	500,001	750,000	3.80
	Tp4	750 001	1,000,000	3.80
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	4.00
	Tp6	1,500,001	3,000,000	4.00
	Tp7	3,000,001	5,000,000	4.00
	Tp8	5,000,001	7,500,000	4.00
	Tp9	7,500,001	10'000,000	4.00
	Tp10	10'000,001	12'500,000	4.00
	Tp11	12'500,001	15'000,000	4.00
Resto de caminos	Tp12	15'000,001	20'000,000	4.20
	Tp13	20'000,001	25'000,000	4.20
	Tp14	25'000,001	30'000,000	4.20
	Tp15	>30'000,000		4.20

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

2) Serviciabilidad Final o Terminal (PT)

La Serviciabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción.

A continuación se indican los índices de serviciabilidad final para los diferentes tipos de tráfico. 27

Tabla N° 10
Índice de Serviabilidad Inicial (Pi)
Según Rango de Tráfico

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviabilidad Inicial (pi)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp1	150,001	300,000	2.00
	Tp2	300,001	500,000	2.00
	Tp3	500,001	750,000	2.00
	Tp4	750 001	1,000,000	2.00
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	2.50
	Tp6	1,500,001	3,000,000	2.50
	Tp7	3,000,001	5,000,000	2.50
	Tp8	5,000,001	7,500,000	2.50
	Tp9	7,500,001	10'000,000	2.50
	Tp10	10'000,001	12'500,000	2.50
	Tp11	12'500,001	15'000,000	2.50
Resto de caminos	Tp12	15'000,001	20'000,000	3.00
	Tp13	20'000,001	25'000,000	3.00
	Tp14	25'000,001	30'000,000	3.00
	Tp15	>30'000,000		4.20

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

3) Variación de Serviabilidad (Δ PSI)

(Δ PSI) es la diferencia entre la Serviabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo. 28

Tabla N° 11
Diferencial de Serviabilidad (Δ PSI)
Según Rango de Tráfico

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviabilidad Inicial (pi)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp1	150,001	300,000	1.80
	Tp2	300,001	500,000	1.80
	Tp3	500,001	750,000	1.80
	Tp4	750 001	1,000,000	1.80
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	1.50
	Tp6	1,500,001	3,000,000	1.50
	Tp7	3,000,001	5,000,000	1.50
	Tp8	5,000,001	7,500,000	1.50
	Tp9	7,500,001	10'000,000	1.50
	Tp10	10'000,001	12'500,000	1.50
	Tp11	12'500,001	15'000,000	1.50
Resto de caminos	Tp12	15'000,001	20'000,000	1.20
	Tp13	20'000,001	25'000,000	1.20
	Tp14	25'000,001	30'000,000	1.20
	Tp15	>30'000,000		1.20

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

g. Coeficiente De Drenaje Cd

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 12
Capacidad del Drenaje

Calidad del Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

De acuerdo a las capacidades de drenaje la AASHTO establece los factores de corrección m² (bases) y m³ (subbases granulares sin estabilizar), los cuales están dados en la Tabla 12.14, en función del porcentaje de tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación. 29

Tabla N° 13
Capacidad del Drenaje

Calidad del Drenaje	% de Tiempo en el que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Próximos a la Saturación			
	Menos del 1 %	1 a 5 %	5 a 25 %	Más del 25 %
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Malo	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy malo	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

2.2.6.3. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL “SN”

El método está basado en el cálculo del Número Estructural “SN” sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén. Para esto se dispone de la Figura IV.2 y de la ecuación siguiente:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}_{10}M_R - 8.07$$

Donde:

W18 = Tráfico equivalente o ESAL's.

ZR = Factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad R

So = Desviación estándar

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

MR = Módulo de resiliencia efectivo de la subrasante

SN = Número estructural.³⁰

2.2.6.4. DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPAS

La estructura del pavimento flexible está formada por un sistema de varias capas, por lo cual debe dimensionarse cada una de ellas considerando sus características propias.

Una vez que el diseñador ha obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, se requiere determinar una sección multicapa, que en conjunto provea una suficiente capacidad de soporte, equivalente al número estructural de diseño. Para este fin se utiliza la siguiente ecuación que permite obtener los espesores de la capa de rodamiento o carpeta, de la capa base y de la subbase:

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

Donde:

a_1 , a_2 y a_3 = Coeficientes estructurales de capa de carpeta, base y sub-base respectivamente.

D_1 , D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente, en pulgadas.

m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y sub-base, respectivamente.

De la misma manera se deberá obtener los coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica (a_1), de la capa base (a_2) y de la sub-base (a_3), utilizando los valores del módulo de resiliencia correspondientes a cada una de ellas.

Los coeficientes de capa a_1 , a_2 y a_3 se obtienen utilizando las correlaciones de valores de diferentes pruebas de laboratorio.

31

a) **ESPESORES MÍNIMOS EN FUNCIÓN DEL SN**

En el control de los espesores D_1 , D_2 y D_3 , a través del SN, se busca dar protección a las capas granulares no tratadas, de las tensiones verticales excesivas que producirían deformaciones permanentes, como se muestra en el gráfico siguiente.

Los materiales son seleccionados para cada capa, de acuerdo a las recomendaciones del método, por tanto se conocen los módulos resilientes de cada capa. En función al CBR del material a utilizar se determinan los números estructurales requeridos para proteger cada capa no tratada, utilizando el módulo resiliente de la capa que se encuentra inmediatamente por debajo, por ejemplo para sacar el espesor D_1 de la carpeta se considera el MR de la capa base y así se obtiene el SN1 que debe ser soportado por la carpeta asfáltica, de donde:

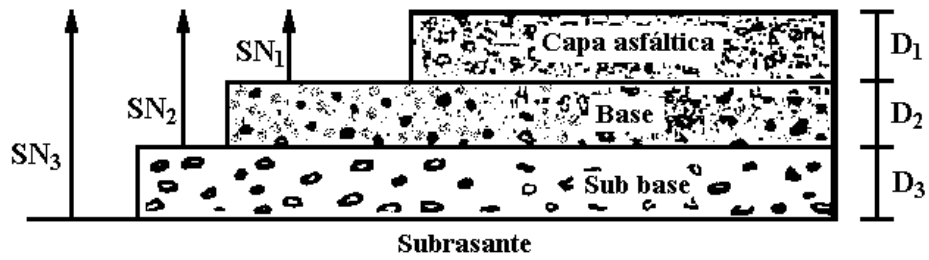


Imagen N° 13: Esquema de Paquete Estructural

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

Se adopta un espesor D1 ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa será:

$$SN_1 \geq A_1 \cdot D_1$$

Para determinar el espesor mínimo de la capa base, se entra al ábaco con el MR de la subbase, para obtener el número estructural SN2 que será absorbido por la carpeta y la capa base, de donde:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \cdot m_2} \geq \frac{SN_b}{a_2 \cdot m_2}$$

Se adopta un espesor D2 ligeramente mayor y el número estructural absorbido será:

$$SN_b = a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 \quad SN_b = \text{Número estructural de la base}$$

Finalmente para la subbase se ingresa con el MR que corresponde a la subrasante y se obtiene $SN_3 = SN$ para todo el paquete estructural, por tanto el espesor será:

$$D_3 \geq \frac{SN(SN_1 - SN_2)}{a_3 \cdot m_3} \geq \frac{SN_{sb}}{a_3 \cdot m_3}$$

Se adopta un espesor D3 ligeramente mayor y el número estructural absorbido por la subbase será:

$$SN_3 = a_3 \cdot m_3 \cdot D_3 \quad SN_{sb} \\ = \text{Número estructural de la subbase}$$

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40.000 psi (280 MPa). En este caso los espesores se determinarán mediante criterios constructivos o de acuerdo a la relación costo-eficiencia. **32**

CAPÍTULO III

RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tratamiento de subrasante con sistema SPECTRA

El material de fundación de las vías en ejecución es variable, conformado principalmente por un suelo arcilloso de baja plasticidad y cuyo **CBR “in situ” fue estimado, por el estudio de mecánica de suelos en 2.0 % suelo saturado**. El material de relleno disponible para estabilización en la vía era un **hormigón con un CBR de 20%**. La vía debería ser capaz de soportar el tránsito de tráiler T3S3 de 6 ejes. De capacidad y 50.00 ton de peso bruto (totalmente cargados). Usando como refuerzo una geomalla, se aplicó la metodología de Giroud –Han para encontrar el espesor mínimo de relleno a instalar.

El camión de diseño T3S3, en sus especificaciones técnicas, presenta una carga por eje simple de $P=7$ Tn. y una presión de inflado equivalente a $p=80$ psi. Se consideran 649, 539 EE.

Las geomallas empleadas presentan los siguientes módulos de estabilidad $J_1 = 0.32$ N-m/grados (geomalla Tensar TX140, en adelante tipo 1) y $J_2 = 0.65$ N-m/grados (geomalla Tensar TX160, en adelante tipo 2), el factor de capacidad de carga en vías reforzadas con geomallas es 5.71.

Para aplicar la ecuación de Giroud – Han se empleó el software SPECTRA PAVE 4.0 versión 2.0, software de libre disposición en la web y de propiedad de Tensar International, considerando una profundidad de ahuellamiento máxima de 1.5 pulgadas al final de la vida útil del acceso. Los resultados se muestran a continuación (Ver figura 5 y 6):

Datos:

- Eje de carga: 18 Kip = 80 Kn
- Presión de inflado de neumático: 80 Psi = 550 Kpa
- Número de ejes equivalentes: 694, 732
- Profundidad máxima de ranura: 40 mm.
- CBR de terreno natural = 2.0 %
- CBR Material de relleno= 20%

Traffic Conditions	
Axle load (kN)	80
Tire pressure (kPa)	550
Axle passes (each)	649539
Maximum rut depth (mm)	40
Soil Conditions	
Aggregate Fill CBR (%)	20
Design Subgrade CBR (%)	2
Geogrid Reinforcement	
<input type="checkbox"/> Unreinforced	
<input checked="" type="checkbox"/> Tensar TriAx Geogrid TX140	
<input checked="" type="checkbox"/> Tensar TriAx Geogrid TX160	

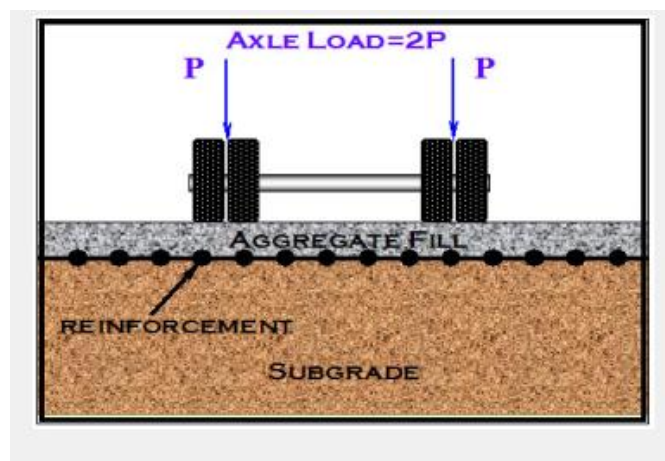


Imagen 14. Datos Usando el Software de Diseño con la Metodología Giroud - Han

Geosynthetic	Aggregate Fill Thickness (mm)		Aggregate Fill Thickness Savings	
	Calculated	Required	(mm)	(%)
Unreinforced	618.1	620	N/A	N/A
Tensar® TX140	321	330	290	47
Tensar® TX160	177.8	180	440	71

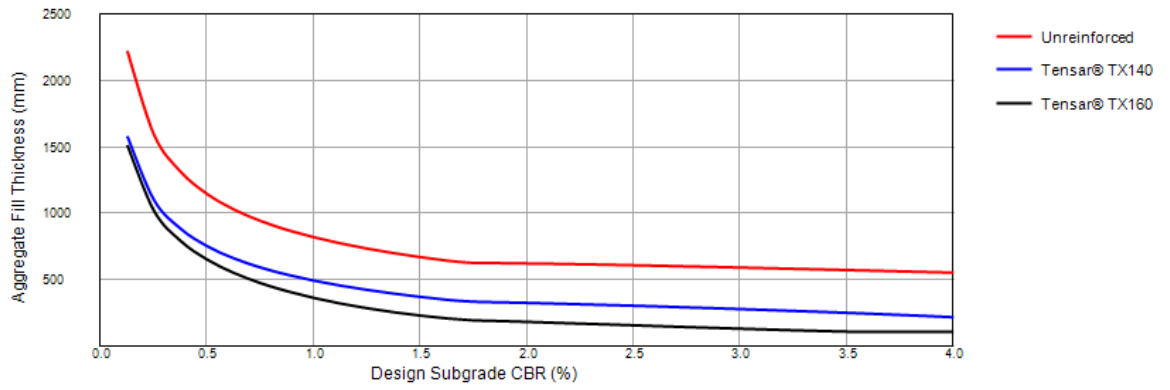


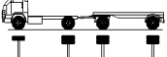
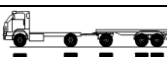


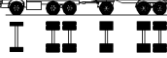

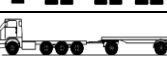

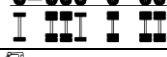
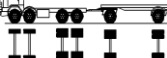

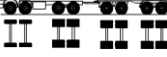

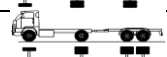
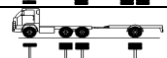
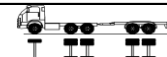
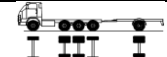
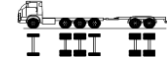
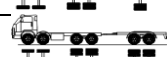
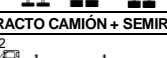


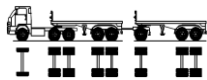
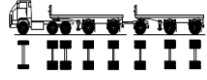
Imagen 15. Resultados Usando el Software de Diseño con la Metodología Giroud - Han

3.2. Cálculo de ESALs con formato Excel

Cuadro N° 16

DETERMINACION DE EJES EQUIVALENTES PARA PAVIMENTO FLEXIBLE												
PROYECTO : Tratamiento de carreteras en zonas húmedas del carretera vecinal de Chalacal Somate												
Pt=	1.8	Indice de serviciabilidad (bondad de servicio)					L2=1	Eje Simple		$EALF = \frac{W_{t18}}{W_{t8}}$		
SN=	2.53	Número estructural, (calidad de la capa)					L2=2	Eje Tandem				
Lx =	18	Carga en Kips sobre un eje Simple, Tandem y tridem					L2=3	Eje Tridem				
L2 =	1, 2, 3	Codigo de eje										
EALF = FACTOR DE EJE DE CARGA EQUIVALENTE :												
Es el número de cargas equivalentes que definen el daño por paso, sobre una superficie de rodadura debido al eje en cuestión, en relación al paso de un eje de carga Stándar, que usualmente es de 18 Kips=18000lb Calculado mediante las siguientes expresiones												
$LOG\left(\frac{W_x}{W_{t18}}\right) = 4.79 LOG(18+1) - 4.79 LOG(Lx + L2) + 4.33 LOG(L2) + \frac{G_x - G_t}{B_x - B_{t18}}$						$B_x = 0.4 + \frac{0.08(Lx + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L2^{3.23}}$		$B_{t18} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}}$		$G_t = LOG\left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}\right)$		
						B _{t18} = 1.951		Para Lx=18 y L2=1		G _t = -0.051		
MEDIO DE TRANSPORTE	Traf. Total	PESO TOTAL (Tn)	PESO POR EJES (Tn)			PESO TOTAL (Kips)	Lx POR EJES (Kips)	L2	B _x	EALF _i (POR EJE)	FACTOR CAMIÓN FC=ΣEALF _i	FC*IMDA
			EJE	%	Lx							
VEHICULOS MENORES												
CATEGORIA " L "												
MOTOKAR / MOTO LINEAL	150	0.30	Del.	30.0%	0.09	0.661	0.198	1	0.400	0.0000023	0.000008	0.0012154
			Post. 01	70.0%	0.21							
VEHIC. MAYOR												
CATEGORIA " M "												
AUTOMOVILES	87	3.00	Del.	50.0%	1.50	6.608	3.304	1	0.413	0.0010202	0.002040	0.1775172
			Post. 01	50.0%	1.50							
STATION WAGON	97	3.50	Del.	50.0%	1.75	7.709	3.855	1	0.419	0.0018086	0.003617	0.3508703
			Post. 01	50.0%	1.75							
CAMIONETA PICK UP	169	5.00	Del.	50.0%	2.50	11.013	5.507	1	0.449	0.0072198	0.014440	2.4402885
			Post. 01	50.0%	2.50							
PANEL	0	5.00	Del.	50.0%				1				
			Post. 01	50.0%								
COMBI	55	7.00	Del.	50.0%	3.50	15.419	7.709	1	0.525	0.0280881	0.056176	3.0896896
			Post. 01	50.0%	3.50							
BUS (B2)	5	18.00	Del.	38.9%	7.00	39.648	15.419	1	1.368	0.5097996	4.273539	21.3676948
			Post. 01	61.1%	11.00							
BUS (B3-1)	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		16.00							
BUS (B4-1)	0		Del.		14.00			2				
			Post. 01		16.00							
BUS (BA-1)	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		7.00			1				
VEHICULOS PESADOS												
CATEGORIA " N "												
C=CAMION												
CAMION (C2)	23	18.00	Del.	38.9%	7.00	39.648	15.419	1	1.368	0.5097996	4.273539	98.2913959
			Post. 01	61.1%	11.00							
CAMION (C3)	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00							
CAMION (C4)1-3	1	30.00	Del.	23.3%	7.00	66.079	15.419	1	1.368	0.5097996	1.763492	1.7634921
			Post. 01	76.7%	23.00							
CAMION (C4)2-2	0		Del.		14.00		50.661	3	1.676	1.2536925		
			Post. 01		18.00							
CATEGORIA " O "												
TS=TRACTO CAMIÓN + SEMIREMOLQUE												
T2S1	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		11.00							
T2S2	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		18.00							
T2Se2	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		11.00							
T2S3	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		25.00							
T2Se3	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00							
			Post. 02		11.00							
			Post. 03		18.00			2				
T3S1	5	36.00	Del.	19.4%	7.00	79.295	15.419	1	1.368	0.5097996	6.379776	31.8988777
			Post. 01	50.0%	18.00							
			Post. 02	30.6%	11.00							
			Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		18.00			2				

T3S3 	7	50.00	Del.	14.0%	7.00	110.132	15.419	1	1.368	0.5097996	4.422371	30.9565985
			Post. 01	36.0%	18.00		39.648	2	2.485	2.1062366		
			Post. 02	50.0%	25.00		55.066	3	2.046	1.8063351		
T3Se3 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		18.00			2				
CR=CAMIÓN + REMOLQUE												
C2R2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00			1				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		11.00			1				
C2R3 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00			1				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		18.00			2				
C3R2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		11.00			1				
C3R3 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		18.00			2				
C3R4 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		18.00			2				
			Post. 03		18.00			2				
C4R2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		23.00			3				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		11.00			1				
C4R3 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		23.00			3				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		18.00			2				
C4R2 	0		Del.		14.00			2				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		11.00			1				
C4R3 	0		Del.		14.00			2				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		11.00			2				
C4R4 	0		Del.		14.00			2				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		18.00			2				
			Post. 03		18.00			2				
CRB=CAMIÓN + REMOLQUE BALANCEADO												
C2RB1 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00			1				
			Post. 02		11.00			1				
C2RB2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		11.00			1				
			Post. 02		18.00			2				
C3RB1 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
C3RB2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		18.00			2				
C4RB1 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		23.00			3				
			Post. 02		11.00			1				
C4RB2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		23.00			3				
			Post. 02		18.00			2				
C4RB1 	0		Del.		14.00			2				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
C4RB2 	0		Del.		14.00			2				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		18.00			2				
TS=TRACTO CAMIÓN + SEMIREMOLQUE DOBLE												
T3S2S2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		18.00			2				
			Post. 03		18.00			2				
T3Se2Se2 	0		Del.		7.00			1				
			Post. 01		18.00			2				
			Post. 02		11.00			1				
			Post. 03		11.00			1				
			Post. 04		11.00			1				

	0	Del.	7.00		1			
		Post. 01	18.00		2			
		Post. 02	18.00		2			
		Post. 03	11.00		1			
		Post. 04	18.00		2			
	0	Del.	7.00		1			
		Post. 01	18.00		2			
		Post. 02	11.00		1			
		Post. 03	11.00		1			
		Post. 04	11.00		1			
		Post. 05	11.00		1			
		Post. 06	11.00		1			
DICE MEDIO DIARIO ANUAL	599						Σ = 190.3376400	
Y =	20	Periodo de diseño						
G =		Factor sin crecimiento (ya esta incluido en el analisis de tráfico)						
Fd =	0.5	Factor de Dist. en Dirección						
Fc =	1	Factor de Distribución por Carril						
Fp =	1	Factor de presión del neumatico						
		$ESAL = \sum_{i=1}^m FACTORCAMÓN_i \times IMD_i(Fc_i)(Fd)(Fc)(Fp) \times 365$					= 694,732.39	

Fuente. Elaboración propia

3.3. Cálculo de Paquete Estructural DATOS:

- CBR material de mejoramiento de subrasante: 20 %

Cuadro N° 17

HOJA DE CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
METODOLOGÍA AASHTO 1993
Período de Diseño de 0 a 20 años

Proyecto	: Estudio Carretera Paimas Paraje Grande	Fecha	: 29/08/2016
Tramo	: Km. 23+00 al Km. 24+00	Bach. Ing.	: Clever Livia C.
Contratista	:	Laboratorio	: OITSA
Supervisor	:	Diseño	
		Nro.	: 0001

ECUACIÓN DE CÁLCULO

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

CARACTERÍSTICAS DE LOS

1.00 MATERIALES

1.1	Módulo de Resiliencia de la Capa Asfáltica (psi)	215901
1.2	Módulo de Resiliencia de la Base Granular Estabilizada (psi)	
1.3	Módulo de Resiliencia de la Base Granular (psi)	42205
1.4	Módulo de Resiliencia de la Sub Base Granular (psi)	27084

PROPIEDADES DE LA SUB

2.00 RASANTE

2.1	CBR de la Sub Rasante (%)	20
2.2	Módulo de Resiliencia de la Sub Rasante (psi)	17380

DATOS DE ESTUDIO DE TRÁFICO Y

3.00 PROPIEDADES

3.1	Número de Ejes Equivalente Total (W18)	694,732
3.2	Factor de Confiabilidad (R.)	80%
3.3	Desviación Estándar Normal (Zr)	-0.842
3.4	Error Estándar Combinado (So)	0.45

DATOS DE

4.00 SERVICIABILIDAD

4.1	Serviciabilidad Inicial	3.80
4.2	Serviciabilidad Final	2.00

4.3 Índice de Serviciabilidad.

1.80

5.00 PERIODO DE DISEÑO EN AÑOS

5.1 Periodo de Diseño

20 Años

6.00 DATOS DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

PROPIEDADES DE LAS CAPAS DEL

6.1 PAVIMENTO

6.1.1. Estabilidad Marshall de la Superficie de Rodadura

1025

6.1.2. Estabilidad Marshall de la Base Granular Estabilizada

6.1.3. CBR Base Granular

80

6.1.4. CBR Sub Base Granular

40

COEFICIENTES DE REDUCCIÓN

6.2 ESTRUCTURAL

6.2.1. Coeficiente de Reducción Estructural de la Superficie de Rodadura

0.45

6.2.2. Coeficiente de Reducción Estructural de la Base Granular Estabilizada

6.2.3. Coeficiente de Reducción Estructural de la Base Granular Estabilizada

0.13

6.2.4. Coeficiente de Reducción Estructural de la Sub Base Granular

0.12

CALIDAD DE

6.3 DRENAJE

6.3.1. Calidad de Drenaje de la Base Granular

Bueno

6.3.2. Tiempo de Exposición de la Base Granular a Saturación

60

6.3.3. Coeficiente de Drenaje de la Base Granular

1.06

6.3.4. Calidad de Drenaje de la Sub Base Granular

Bueno

6.3.5. Tiempo de Exposición de la Sub Base Granular a Saturación

60

6.3.4. Coeficiente de Drenaje de la Sub Base Granular

1.06

CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL :

Sol form. Log (w18)	Sol. Fór. AASHTO	SN	
5.84	5.84	1.83	SN1
5.84	5.84	2.16	SN2
5.84	5.84	2.53	SN _{TOTAL}

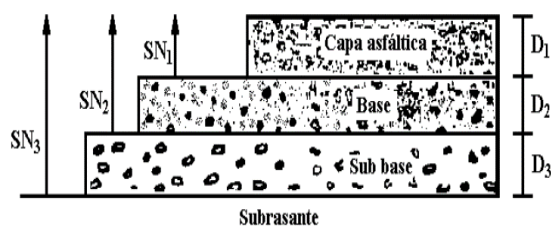


Imagen 16. Paquete Estructural

7.00 NÚMEROS ESTRUCTURALES

- 7.1 Número Estructural Superficie de Rodadura
- 7.2 Número Estructural Base Granular Estabilizada
- 7.3 Número Estructural Base Granular
- Número Estructural Sub Base
- 7.4 Granular
- 7.5 Número Estructural Requerido Total

2.53
1.83
0.33
0.370
2.53

8.00 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA

- 8.1 Espesor de Superficie de Rodadura
- 8.2 Espesor de Base Granular Estabilizada
- 8.3 Espesor de Base Granular
- 8.4 Espesor de Sub Base Granular

TEORICO	RECOMENDADO
10.33	11 cm.
6.86	15 cm.
8.33	15 cm.
ESPESOR	41 cm.

19.00 COMPROBACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

- 1.1 Comprobación de Diseño Estructural del Pavimento

Eficiente

Proponiendo una carpeta asfáltica de 7.5

Cuadro N° 18

7.00 NÚMEROS ESTRUCTURALES

- 7.1 Número Estructural Superficie de Rodadura
- 7.2 Número Estructural Base Granular Estabilizada
- 7.3 Número Estructural Base Granular
- 7.4 Número Estructural Sub Base Granular
- 7.5 Número Estructural Requerido Total

2.53
1.33
0.72
0.481
2.53

8.00 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA

- 8.1 Espesor de Superficie de Rodadura
- 8.2 Espesor de Base Granular Estabilizada
- 8.3 Espesor de Base Granular
- 8.4 Espesor de Sub Base Granular

TEORICO	RECOMENDADO
7.50	7.5 cm.
15.00	15 cm.
10.82	15 cm.
ESPESOR	37.5 cm.

19.00 COMPROBACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

- 1.1 Comprobación de Diseño Estructural del Pavimento

Eficiente

Fuente. Elaboración Propia

Comprobación del número estructural:

Cuadro N° 19

SN CORREG. SEGÚN MÉTODO AASHTO (CM)

SN1 : 3.37 cm

SN2 : 2.07 cm

SN3 : 1.38 cm

ΣSN: 6.83 cm > 6.43 cm **SN_{TOTAL}**

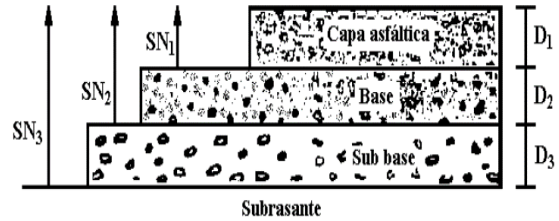


Imagen 17. Paquete Estructural

Fuente. Elaboración Propia

Espesor de paquete estructural obtenido:

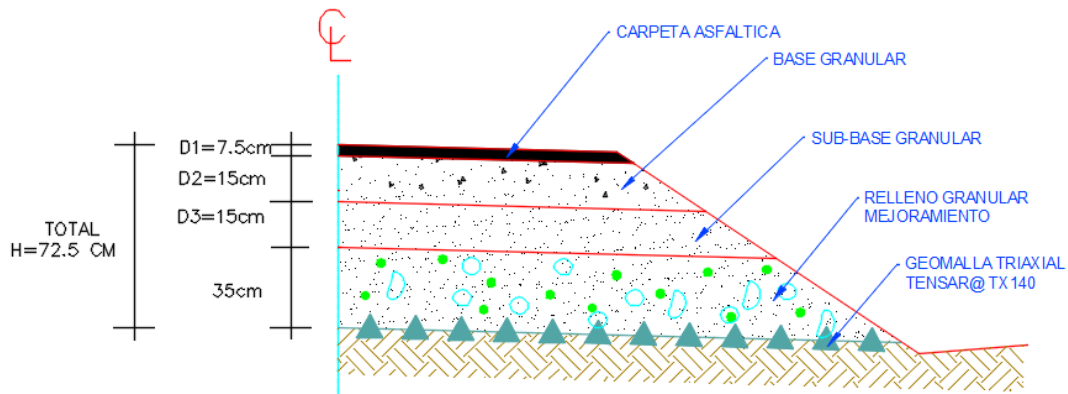


Imagen 18. Paquete Estructural Obtenido con Refuerzo de Geomalla

CAPÍTULO IV

ORGANIZACIÓN PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Resultados parciales

Tratamiento de subrasante con geomalla triaxial tensor TX140

Traffic Conditions

Axle load (kN)

Tire pressure (kPa)

Axle passes (each)

Maximum rut depth (mm)

Soil Conditions

Aggregate Fill CBR (%)

Design Subgrade CBR (%)

Geogrid Reinforcement

Unreinforced

Tensar TriAx Geogrid TX140

Tensar TriAx Geogrid TX160

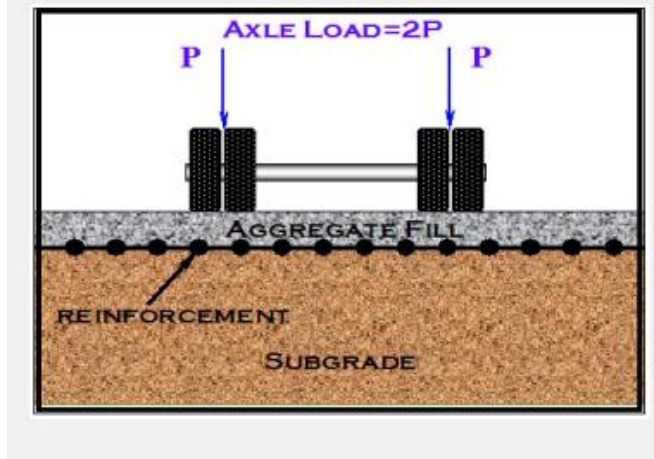


Imagen 14. Datos Usando el Software de Diseño con la Metodología Giroud - Han

Geosynthetic	Aggregate Fill Thickness (mm)		Aggregate Fill Thickness Savings	
	Calculated	Required	(mm)	(%)
Unreinforced	618.1	620	N/A	N/A
Tensar® TX140	321	330	290	47
Tensar® TX160	177.8	180	440	71

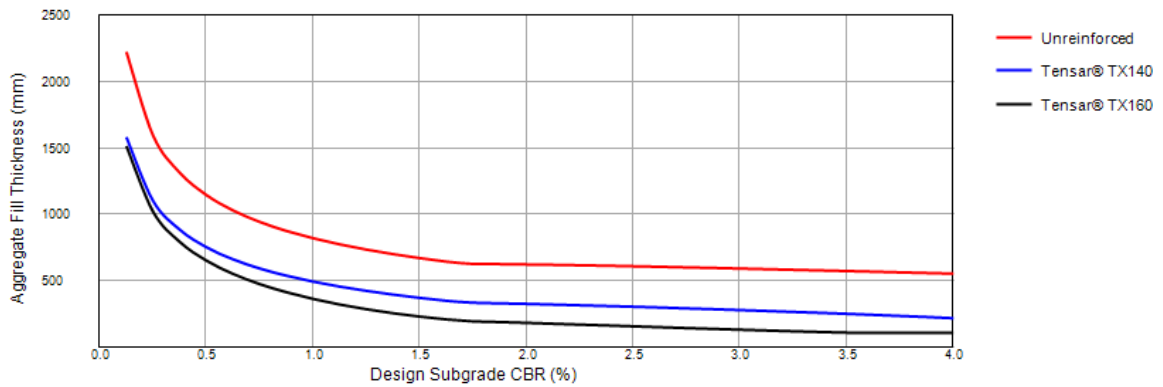


Imagen 15. Resultados Usando el Software de Diseño con la Metodología Giroud - Han

4.1.2. Resultados Generales

Diseño de Paquete estructural

CBR Material de mejoramiento= 20%

Número de ejes equivalentes: 694, 732

CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL :		
Sol form. Log (w18)	Sol. Fór. AASHTO	SN
5.84	5.84	1.83
5.84	5.84	2.16
5.84	5.84	2.53

SN1

SN2

SN_{TOTAL}

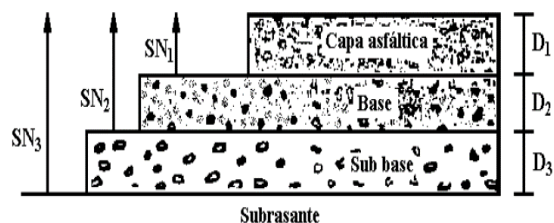


Imagen 16. Paquete Estructural

Proponiendo una carpeta asfáltica de 7.5

Cuadro N° 18

7.00 NÚMEROS ESTRUCTURALES

- 7.1 Número Estructural Superficie de Rodadura
- 7.2 Número Estructural Base Granular Estabilizada
- 7.3 Número Estructural Base Granular
- 7.4 Número Estructural Sub Base Granular
- 7.5 Número Estructural Requerido Total

2.53
1.33
0.72
0.481
2.53

8.00 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA

- 8.1 Espesor de Superficie de Rodadura
- 8.2 Espesor de Base Granular Estabilizada
- 8.3 Espesor de Base Granular
- 8.4 Espesor de Sub Base Granular

TEORICO	RECOMENDADO
7.50	7.5 cm.
15.00	15 cm.
10.82	15 cm.
ESPESOR	37.5 cm.

19.00 COMPROBACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

- 1.1 Comprobación de Diseño Estructural del Pavimento

Eficiente

Fuente. Elaboración Propia

4.2. Discusión de los resultados.

Con el uso de la geomalla triaxial como refuerzo de la subrasante lo logra un paquete estructural de 72.5 cm, con un material de mejoramiento de H=35 cm logrando la trabazón de partículas y la tensión de la subrasante para contra restar el efecto de bombeo.

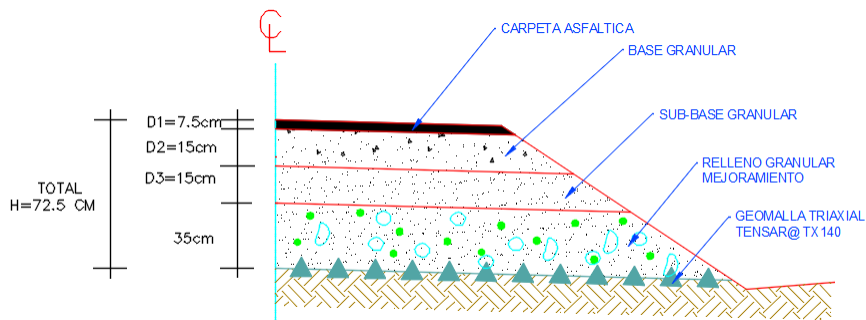


Imagen 19. Paquete Estructural Obtenido con Refuerzo de Geomalla

Sin utilizar la geomalla triaxial como refuerzo de la subrasante lo logra un paquete estructural de 102.5 cm, y la altura del material de relleno es de 65 cm. Más propenso a deslizarse las partículas y generar la deformación de la subrasante.

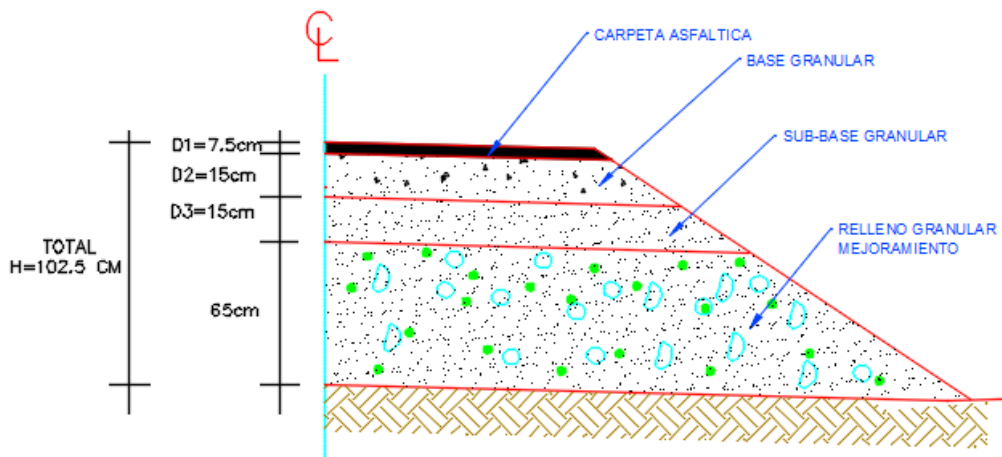


Imagen 20. Paquete Estructural Obtenido sin Refuerzo de Geomalla

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.3. Conclusiones

- 1) Como resultado del uso de la geomalla se concluye que los espesores del paquete estructural disminuyen con respecto a un diseño tradicional utilizando el CBR del terreno natural.
- 2) En ciertas zonas de Piura existen lugares en que las subrasantes de los proyectos están por debajo de los valores mínimos que nos indica AASHTO. Por lo tanto se recomienda usar geomallas para mejorar el CBR de diseño

- 3) En el proyecto ejecutado se presentaron condiciones diferentes en las características de la subrasante, en ambos lados del pavimento se encontraban sembríos de arroz cuando se hizo el estudio de mecánica de suelos (EMS) fue en época de cosecha en el momento de ejecución del proyecto también se estaba en época de siembra con empozamiento de agua para riego en ambos lados del pavimento esta variación modifica las características de la subrasante.

4.4. Recomendaciones

- 1) Se recomienda el uso de geomallas para disminuir los espesores del paquete estructural y complementar este estudio con un análisis de costos, la reducción del paquete estructural versus el costo del uso de las geomallas.
- 2) De acuerdo a AASHTO (tabla N° 12.40) y de acuerdo a tesis (tabla N° 04) se recomienda valores de CBR mínimos en la subrasante. Se debe respetar estas condiciones de diseño en los proyectos que se desarrollan para garantizar un diseño óptimo.
- 3) Al haber variación de las características de subrasante en este caso particular se recomienda hacer el estudio de mecánica de suelos (EMS) en las condiciones más críticas que en este caso sería la época de siembra, y se recomienda el uso de un filtro conformado por grabas como material de mejoramiento más la geomalla, que permita la esorrentía de las aguas y no comprometa el paquete estructural del pavimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) **Becerra Mario** _ Tipos de pavimentos y Concretos Diseño Construcción y supervisión.
- 2) **Caballeros Torres Erick Arnoldo** _ (2006) Guatemala "utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible".
- 3) **Ferrer Santiago Manuel A.** _ (2016) Piura - Perú "Vía De Evitamiento Piura: Vanguardia De Los Muros De Suelo Reforzad".
- 4) **Manual De Carreteras** _ Suelo Geología, Geotecnia y Pavimentos.
- 5) **Orrego Cabanillas Daniel Alberto** _ (2014) Lima, Perú "Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles".
- 6) **Silva Burga, Javier Alejandro** _ (2013) Lima, Perú. "Uso de geomallas en accesos mineros –Haul roads (experiencias en yanacocha y pierina)".
- 7) **Tapia Diez, Andrés Renato** _ (2012) Guayaquil, Ecuador "seminario de graduación se realiza un diseño de un tramo de carretera Bajada de Chanduy – Aguas Verdes – Pocito ".

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	JUSTIFICACIÓN	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	METODOLOGÍA
<p>“Optimización Del Diseño Del Paquete Estructural De Un Pavimento Flexible, Utilizando Geomalla Triaxial En La Subrasante, Aplicado En El Distrito DE BELLAVISTA SULLANA- PIURA 2017”.</p>	<p>¿Cuál es la necesidad de optimizar el diseño del paquete estructural de un pavimento flexible, utilizando geomalla triaxial en la subrasante aplicado en el Distrito de bellavista Sullana?</p>	<p>El objetivo general es optimizar el diseño del paquete estructural de un pavimento flexible reforzando la subrasante con una geomalla triaxial.</p> <p align="center">OBJETIVO ESPECIFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hacer una evaluación de tráfico actual de la vía. - Conocer a detalle las características de los materiales a utilizar. - Hacer una evaluación climatológica de zona. 	<p>El proyecto se justifica Porque a nivel de la ingeniería en general y civil en particular, se va a presentar como un aporte para la mejora de los propios diseños d y/o procesos técnicos que tienen que ver con la construcción de carreteras, concretamente el mejoramiento de sub rasante con geomallas y diseño de los pavimentos flexibles, y sobre todo como un antecedente importante para la región de la Costa de Piura.</p>	<p><u>Optimización Del Diseño Del Paquete Estructural De Un Pavimento Flexible, Utilizando Geomalla Triaxial En La Subrasante :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pavimento flexible - CBR - Estudio de tráfico - Ejes equivalentes - Sistema SPECTRA - Metodología AASHTO 93 	<p align="center">Inductivo</p>

ANEXO 02: ARTÍCULO CIENTÍFICO

“OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE, UTILIZANDO GEOMALLA TRIAXIAL EN LA SUBRASANTE, APLICADO EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA SULLANA – PIURA 2017”.

“OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF THE STRUCTURAL PACKAGE OF A FLEXIBLE PAVEMENT, USING TRIAXIAL GEOMALLA IN THE SUBJECT, APPLIED IN THE DISTRICT OF BELLAVISTA SULLANA - PIURA 2017”

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo optimizar el diseño de un paquete estructural de un pavimento flexible, utilizando una geomalla triaxial en la subrasante en terrenos húmedos y blandos, se ha tomado como muestra la ruta vecinal PI -527, que da inicio en el Boquerón de Núñez hasta el centro poblado de Somate Bajo en los distritos de Bellavista, Provincia Sullana departamento Piura. Este proyecto se ha desarrollado para solucionar la problemática de la carretera, las cuales radican en la deformación de la ruta afirmada generada principalmente por un alto tránsito pesado y la humedad de la zona por motivo de los sembríos de arroz y filtraciones en ambos lados de la carretera, al mismo tiempo no brinda seguridad a los transportistas y moradores del lugar. Este proyecto será desarrollado empleando la metodología de diseño utilizada en el Perú así como los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de presente país.

Para el mejoramiento de sub rasante y diseño de pavimento flexible propuesto en esta tesis, se emplearan registros de conteos del tráfico de la carretera en cuestión, realizados en la entrada del centro poblado somate Bajo denominada estación E-1, los cuales fueron realizados durante una semana continua en el mes de enero del 2017. Así mismo, para el cálculo del espesor de la capa del mejoramiento de sub rasante se empleara el sistema Spectra y para el cálculo de los espesores de las capas que conformarán la estructura del pavimento flexible se utilizará la

utilizará la metodología AASTHO 93.

Finalmente se llegará a una propuesta final dando la solución más pertinente en cuanto a los problemas y/o la situación actual encontrada en la ruta vecinal PI-527.

Palabra clave: Pavimento flexible, geomalla, subrasante

ABSTRACT

The present thesis aims to optimize the design of a structural package of a flexible pavement, using a triaxial geogrid in the subsoil in wet and soft terrains, has taken as sample the neighborhood route PI -527, located in the districts of Bellavista, Province Sullana department Piura. This project has been developed to solve the problems of the road, which lie in the deformation of the route affirmed generated mainly by a high heavy traffic and the humidity of the area due to rice fields and leaks, at the same time Provides security to carriers and locals. This project will be developed using the design methodology used in Peru as well as the manuals of the Ministry of Transport and Communications of this country.

For the improvement of subfloor and flexible pavement design proposed in this thesis, traffic counts records of the road in question, made at the entrance of the Somate Bajo populated center called the E-1 station, will be used. Week period continues in January 2017. Likewise, for the calculation of the thickness of the subfloor improvement layer, the Spectra system will be used and for the calculation of the thicknesses of the layers that will form the flexible pavement structure will be used The AASTHO methodology 93.

Finally, we will arrive at a final proposal giving the most pertinent solution regarding the problems and / or the current situation found in the neighborhood route PI-527.

Keywords: Flexible pavement, geogrid, subgradeutilizará

INTRODUCCION

La presente tesis tiene como objetivo optimizar el diseño de un paquete estructural de un pavimento flexible, utilizando una geomalla triaxial en la subrasante en terrenos húmedos y blandos, se ha tomado como muestra la ruta vecinal PI -527, que da inicio en el Boquerón de Núñez en el distrito de Bellavista, hasta el centro poblado de Chilaco provincia de Sullana. Este proyecto se ha desarrollado para solucionar la problemática de esta ruta que en la actualidad está siendo pavimentada, pero existen zonas arroceras a ambos lados de la vía que son irrigadas por el canal Daniel Escobar y estas están con agua permanente, y las zonas de filtraciones producto del riego de parcelas a lado derecho de la carretera; estos tramos están en consulta para adicional de obra por el motivo que no se consideró el tratamiento adecuado, esta constante humedad hace que la carretera se deforme volviéndola intransitable, lo cual no brinda seguridad a los conductores. Este proyecto será desarrollado empleando la metodología de diseño utilizada en el Perú así como los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de presente país.

Para el diseño de pavimento flexible propuesto en esta tesis, se ha tomado un Km de carretera en la zona húmeda de parcelas arroceras ubicado entre el centro poblado de Chalaca y Somate Bajo en el Km. 23+00 al Km. 24+00, para ello se emplearán registros de conteos del tráfico de la ruta vecinal en cuestión, realizados en al ingreso del centro poblado de somate denominada estación E-1, Asimismo, para el cálculo de los espesores de las capas que conformarán la estructura del pavimento flexible se utilizará la metodología AASTHO 93, y para el tratamiento de subrasante con geomallas se usara el sistema SPECTRA desarrollado por la compañía TENSAR.

Por otra parte, el drenaje de la vía se realizará de acuerdo a los reglamentos vigentes y/o a los manuales que proporciona el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Se terminará la investigación proponiendo los planos de planta y perfil, secciones transversales y detalles de colocación de geomallas y relleno de mínimo para subrasante.

Finalmente se llegará a una propuesta final dando la solución más pertinente en cuanto a los problemas y/o la situación actual encontrada en la ruta vecinal PI-527.

Hipótesis

Utilizando la geomalla triaxial en la subrasante se lograra optimizar el diseño del paquete estructural del pavimento flexible. Aplicado en el distrito de Bellavista – Sullana.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

- a. Papeles: Formularios, tablas, lapiceros, lápiz y expediente técnico.
- b. Equipos: Laptop, calculadora.

Metodología

- a. Análisis de tráfico:

Para el análisis de tráfico se hizo el conteo vehicular determinando como estación de conteo (E-1), la entrada del centro poblado de somate bajo, se hizo el conteo vehicular durante 7 días, utilizando formatos del MTC para poder hacer la clasificación vehicular y obtener el IMDA.

Una vez encontrado el trafico actual se encuentra el trafico proyectado a 20 años a este tráfico de le saca el tráfico generado al final obtenemos un tráfico total que sale de la suma del tráfico proyectado más el tráfico generado.

- b. Estudio de mecánica de suelos:

Para el estudio de mecánica de suelos se tomaron datos del expediente técnico del proyecto denominado “**MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VECINAL DESDE EL BOQUERÓN DE NÚÑEZ EN BELLAVISTA HASTA CHILACO EN LANCONES, DISTRITO DE SULLANA, PROVINCIA DE SULLANA – PIURA**” elaborado para la ruta en mención.

De dicho expediente se tomó los datos procesados de las calicatas: CBR de la subrasante, el CBR del material para mejoramiento, el CBR par la sub base, el CBR para la Base y el ensayo de estabilidad Marshall.

c. Determinación de ejes equivalentes:

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados: ³³

$$N_{rep\ de\ EE\ EE_{8.2\ tn}} = \Sigma(EE_{dia\ carril} \times Fca \times 365)$$

d. Determinación del paquete estructural con la metodología AASTHO 93 :

Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la subrasantes para el cálculo de espesores.

Se incluye más adelante la ecuación de cálculo en la versión de la Guía AASHTO – 93.

El propósito del modelo es el cálculo del Numero Estructural requerido (SNr), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto. ³⁴

³³ Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

³⁴ Manual De Carreteras _Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2013

RESULTADOS

Presentación de resultados

Resultados parciales

Tratamiento de subrasante con geomalla triaxial tensar TX140

Traffic Conditions

Axle load (kN)

Tire pressure (kPa)

Axle passes (each)

Maximum rut depth (mm)

Soil Conditions

Aggregate Fill CBR (%)

Design Subgrade CBR (%)

Geogrid Reinforcement

Unreinforced

Tensar TriAx Geogrid TX140

Tensar TriAx Geogrid TX160

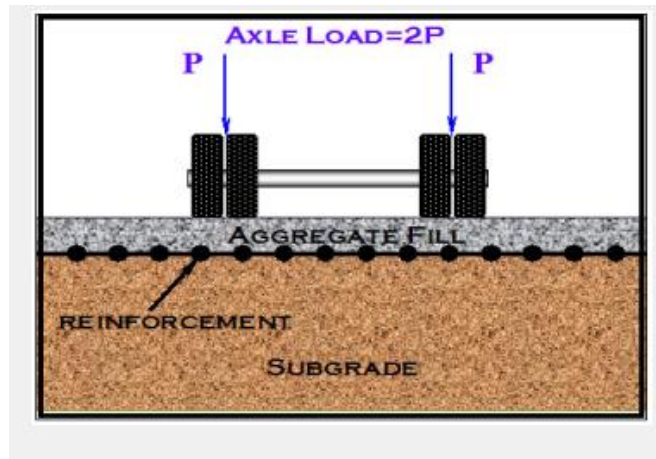


Imagen 14. Datos Usando el Software de Diseño con la Metodología Giroud - Han

Geosynthetic	Aggregate Fill Thickness (mm)		Aggregate Fill Thickness Savings	
	Calculated	Required	(mm)	(%)
Unreinforced	618.1	620	N/A	N/A
Tensar® TX140	321	330	290	47
Tensar® TX160	177.8	180	440	71

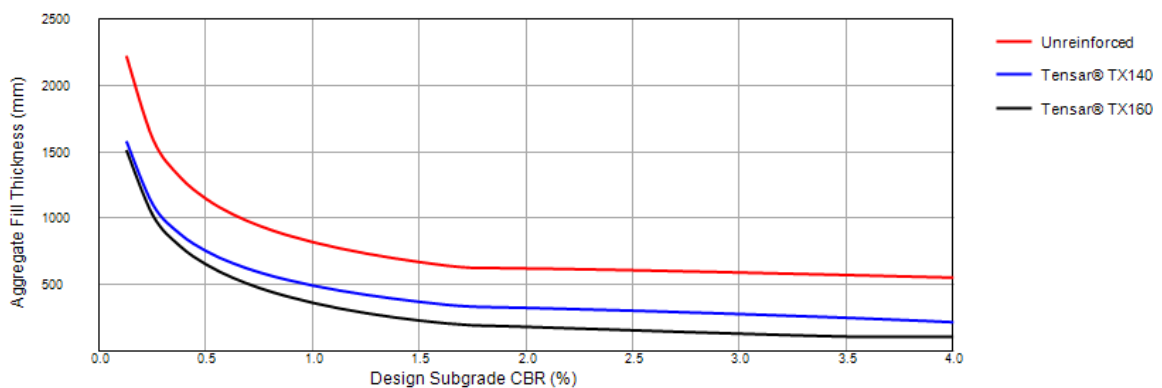


Imagen 15. Resultados Usando el Software de Diseño con la Metodología Giroud - Han

Resultados Generales

Diseño de Paquete estructural

CBR Material de mejoramiento= 20%

Número de ejes equivalentes: 694, 732

CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL :		
Sol form. Log (w18)	Sol. Fór. AASHTO	SN
5.84	5.84	1.83
5.84	5.84	2.16
5.84	5.84	2.53

SN1

SN2

SN_{TOTAL}

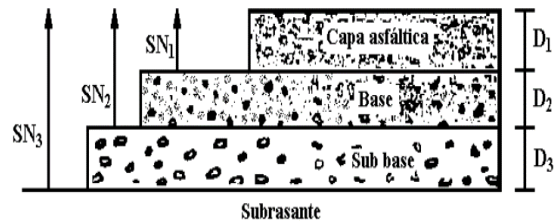


Imagen 16. Paquete Estructural

Proponiendo una carpeta asfáltica de 7.5

Cuadro N° 18

7.00 NÚMEROS ESTRUCTURALES

- 7.1 Número Estructural Superficie de Rodadura
- 7.2 Número Estructural Base Granular Estabilizada
- 7.3 Número Estructural Base Granular
- 7.4 Número Estructural Sub Base Granular
- 7.5 Número Estructural Requerido Total

2.53
1.33
0.72
0.481
2.53

8.00 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA

- 8.1 Espesor de Superficie de Rodadura
- 8.2 Espesor de Base Granular Estabilizada
- 8.3 Espesor de Base Granular
- 8.4 Espesor de Sub Base Granular

TEORICO	RECOMENDADO
7.50	7.5 cm.
15.00	15 cm.
10.82	15 cm.
ESPESOR	37.5 cm.

19.00 COMPROBACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

- 1.1 Comprobación de Diseño Estructural del Pavimento

Eficiente

Fuente. Elaboración Propia

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con el uso de la geomalla triaxial como refuerzo de la subrasante lo logra un paquete estructural de 72.5 cm, con un material de mejoramiento de H=35 cm logrando la trabazón de partículas y la tensión de la subrasante para contra restar el efecto de bombeo.

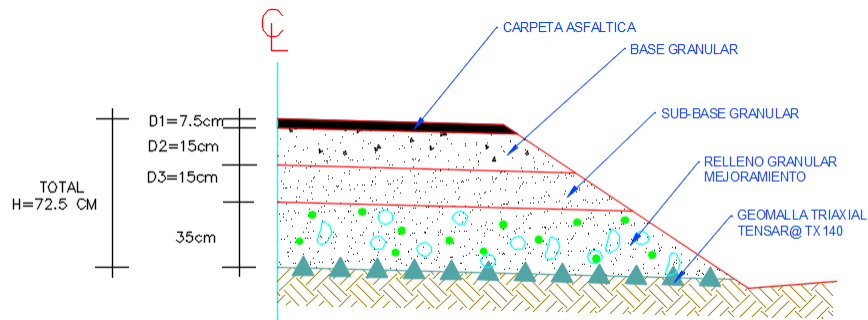


Imagen 19. Paquete Estructural Obtenido con Refuerzo de Geomalla

Sin utilizar la geomalla triaxial como refuerzo de la subrasante lo logra un paquete estructural de 102.5 cm, y la altura del material de relleno es de 65 cm. Más propenso a deslizarse las partículas y generar la deformación de la subrasante.

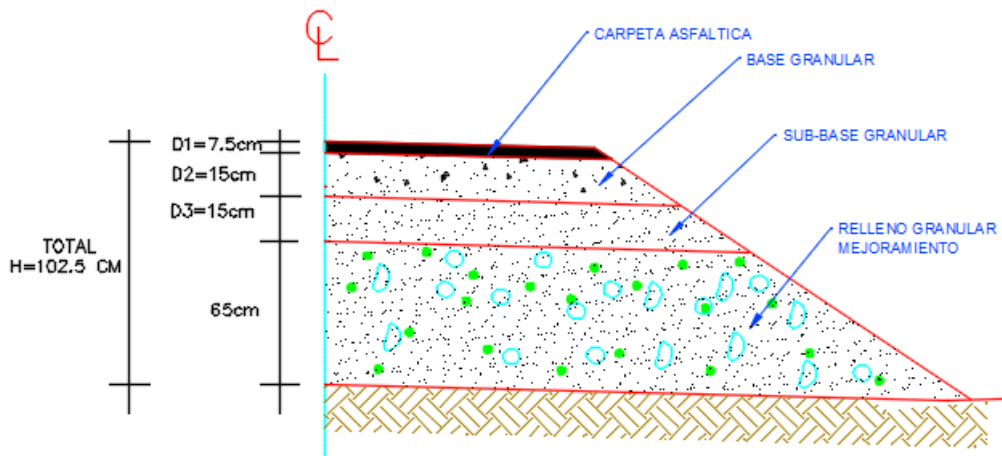


Imagen 20. Paquete Estructural Obtenido sin Refuerzo de Geomalla

CONCLUSIONES

- 4) Como resultado del uso de la geomalla se concluye que los espesores del paquete estructural disminuyen con respecto a un diseño tradicional utilizando el CBR del terreno natural.
- 5) De acuerdo a AASHTO (tabla N° 12.40) y de acuerdo a tesis (tabla N° 04) se recomienda valores de CBR mínimos en la subrasante. Se debe respetar estas condiciones de diseño en los proyectos que se desarrollan para garantizar un diseño óptimo.
- 6) En el proyecto ejecutado se presentaron condiciones diferentes en las características de la subrasante, en ambos lados del pavimento se encontraban sembríos de arroz cuando se hizo el estudio de mecánica de suelos (EMS) fue en época de cosecha en el momento de ejecución del proyecto también se estaba en época de siembra con empozamiento de agua para riego en ambos lados del pavimento esta variación modifica las características de la subrasante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) **Becerra Mario** _ Tipos de pavimentos y Concretos Diseño Construcción y supervisión.
- 2) **Caballeros Torres Erick Arnoldo** _ (2006) Guatemala "utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible".
- 3) **Ferrer Santiago Manuel A.** _ (2016) Piura - Perú "Vía De Evitamiento Piura: Vanguardia De Los Muros De Suelo Reforzad".
- 4) **Manual De Carreteras** _ Suelo Geología, Geotecnia y Pavimentos.
- 5) **Orrego Cabanillas Daniel Alberto** _ (2014) Lima, Perú "Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles".
- 6) **Silva Burga, Javier Alejandro** _ (2013) Lima, Perú. "Uso de geomallas en accesos mineros –Haul roads (experiencias en yanacocha y pierina)".
- 7) **Tapia Diez, Andrés Renato** _ (2012) Guayaquil, Ecuador "seminario de graduación se realiza un diseño de un tramo de carretera Bajada de Chanduy – Aguas Verdes – Pocito".