

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE SEGÚN METODOLOGIA DEL AASHTO 93, Y OTRO CON GEOMALLAS BIAXILES EN EL SECTOR LOS LAURELES DEL DISTRITO DE EL PORVENIR-TRUJILLO-LA LIBERTAD.

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.**

**AUTOR** : BR. MARCOS MIGUEL SÓCOLA SALDARRIAGA

**ASESOR** : ING. TITO ALFREDO BURGOS SARMIENTO.

**TRUJILLO - PERÚ**

**2016**



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: "DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE SEGÚN METODOLOGIA DEL AASHTO 93, Y OTRO CON GEOMALLAS BIAXILES EN EL SECTOR LOS LAURELES DEL DISTRITO DE EL PORVENIR-TRUJILLO-LA LIBERTAD."

ÁREA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTES.

**JURADO:**

---

Ing.

PRESIDENTE

---

**ASESOR:**

---

Ing. Tito Burgos Sarmiento.

## **PRESENTACIÓN**

**SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:**

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, el presente trabajo de investigación titulado: “Diseño y análisis comparativo de un pavimento flexible según metodología del AASTHO 93, y otro con geomallas biaxiales en el sector Los Laureles del distrito de El Porvenir – Trujillo – La Libertad”, con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado para obtener y conocer los beneficios de la utilización de un geosintético en pavimentos flexibles, considerando las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras, normas técnicas según la línea de investigación, aplicación de conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la universidad, consulta de fuentes bibliográficas especializadas y con la experiencia del asesor.

---

Br. Marcos Miguel Sócola Saldarriaga.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado para mi familia, para todos los que la conforman, que estoy seguro estarán contentos con este logro.

Br. Marcos Miguel Sócola Saldarriaga

## **RESUMEN**

El presente trabajo ha tenido el propósito de comparar la utilización y la no utilización de Geomallas Biaxiales en el mejoramiento de las condiciones de transitabilidad en la zona de los Laureles del distrito de El Porvenir, de la provincia de Trujillo, del departamento de La Libertad, y para lograrlo se realizaron los estudios correspondientes de la zona, pudiendo con esto determinar el diseño del pavimento flexible. Para el diseño del pavimento flexible se utilizó la metodología tradicional del AASTHO 93; se analizaron y compararon los dos diseños obtenidos, uno sin ningún tipo de geosintético y el otro adicionándole Geomallas Biaxiales, para que de esta forma se pudieran conocer los beneficios o perjuicios que tiene la aplicación de los Geosintéticos en pavimentos flexibles. Mediante el presente trabajo se pudo determinar que la utilización de Geomallas Biaxiales tiene como uno de sus beneficios más importantes la disminución de espesores en las capas del pavimento flexible, además de obtener pavimentos más estables con mayor resistencia a las cargas estáticas y dinámicas absorbiendo y distribuyendo los esfuerzos, y desde un punto de vista económico en una disminución de los costos.

## **ABSTRACT**

This work has the purpose of comparing the use and non-use of Tensar Biaxial to improve traffic conditions in the area of Laureles district of El Porvenir, in the province of Trujillo, department of La Libertad, and achieve the corresponding studies were performed in the area to improve, can determine with this design flexible pavement. For the design of flexible pavement traditional methodology was used AASTHO 93; They were analyzed and compared the two designs obtained, one without any geosynthetic and the other adicionándole Tensar Biaxial so that in this way they could know the benefits or harm that has the application of Geosynthetics in flexible pavements. Through this study it was determined that the use of Tensar Biaxial has as one of its most important benefits decreasing thicknesses in the layers of flexible pavement, plus more stable pavements with greater resistance to static and dynamic loads absorbing and distributing efforts, and from an economic point of view, a reduction in costs.

## INDICE

### CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN .....	9
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.3 MARCO TEÓRICO .....	12

### CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODO .....	28
2.1 ASPECTOS GENERALES.....	28
2.2 ASPECTOS SOCIO ECONÓMICOS.....	30
2.3 TOPOGRAFÍA DE LA ZONA .....	31
2.4 ESTUDIO DEL TRÁFICO .....	31
Determinación del factor camión (f.c.).....	33
Cálculo del eal de diseño.....	34
2.5 ESTUDIO DE SUELOS .....	35
Ensayo C.B.R. ....	39
2.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	40
2.7 ENSAYOS GENERALES .....	44
Perfil estratigráfico .....	44
Ensayos de laboratorio .....	49
Proctor modificado .....	49
Ensayo de CBR .....	50
Conclusiones de estudio de mecánica de suelos.....	50
2.8 ESTRUCTURA DE GEOSINTÉTICOS .....	51
2.9 VENTAJAS EN EL USO DE GEOSINTÉTICOS .....	52

CAPÍTULO III	
RESULTADOS .....	53
3.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO .....	53
3.2 RESULTADO DE ESPESORES .....	61
CAPÍTULO IV	
EVALUCIÓN DE RESULTADOS .....	62
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES .....	67
CAPÍTULO VI	
RECOMENDACIONES .....	69
CAPÍTULO VII	
BIBLIOGRAFÍA .....	70
CAPÍTULO VIII	
ANEXOS .....	71



# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

Debido al desmesurado crecimiento urbanístico de las distintas ciudades del país y a pesar de que la zona haya sido debidamente planificada, aparecen grandes problemas de desarrollo de los servicios más indispensables, como el agua potable, alcantarillado, energía eléctrica y pavimentación, que debe ser de primer orden social, para posibilitar indudablemente la buena transitabilidad de la zona en estudio.

El concepto de reforzar suelos ha permanecido vigente ante las crecientes necesidades de la humanidad, tanto que en 1926 se dio el primer intento de uso de fibras sintéticas en el refuerzo de una estructura de pavimentación. El primer experimento ensayado fue del Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos (Koemer, 1997) y consistió en disponer una gruesa capa de algodón sobre la capa de base del pavimento flexible para luego verter asfalto caliente sobre la fibra y protegerlo con una delgada capa de arena. Los resultados del experimento fueron publicados en 1935, mostrando una reducción de las fallas localizadas y el agrietamiento en la estructura y buenas condiciones de servicio antes de que la fibra se deteriorara completamente. Este proyecto demostró la relevancia de usar cuerpos ajenos al material, que cumplan las funciones de mejoramiento del material natural propias de las fibras sintéticas.

En el presente trabajo se busca demostrar el desempeño general de los geosintéticos, en esta oportunidad de las geomallas biaxiales, que permite proveer soluciones eficientes a la ingeniería en diversas escalas, y como su amplio uso se ha alcanzado gracias a las ventajas comparativas frente a otros métodos de mejoramiento de condiciones in-situ dentro de las cuales se destacan a un mejor desempeño de la función específica por su estricto control de calidad y desarrollo tecnológico que

están calificados en el cumplimiento de funciones específicas y económicas en su uso, ya sea por menor inversión inicial o por prolongación de la vida útil de la estructura, al contrario de los pavimentos sin geomallas biaxiales.

### **1.1. Planteamiento del problema**

Nuestro proyecto se ubica geográficamente en el distrito de El Porvenir, es uno de los distritos que conforman el área metropolitana a Trujillo, ubicado en el Departamento de La Libertad, perteneciente a la Región de La Libertad, Perú. En la actualidad su superficie es de 36.7 Km<sup>2</sup>.

Este distrito presenta un relieve predominante accidentado con laderas y áreas con pendientes profundas.

El problema que subsiste en la zona es la falta de infraestructura vial en buen estado y la poca durabilidad en el tiempo, que mejore las condiciones de transitabilidad en la zona.

Por lo mencionado anteriormente el presente proyecto pretende dar una alternativa al problema planteado en la zona de estudio; mediante el diseño del pavimento flexible, realizando un análisis comparativo de costos para conocer los beneficios específicos que tienen las Geomallas Biaxiales y aprovecharlas para beneficiar a los pobladores de la zona, ya que sabemos algunos de los beneficios como es el caso de la reducción del tiempo de construcción del pavimento y el aumento de durabilidad debido a la mejor distribución de cargas sobre las capas del pavimento flexible, gracias a la aplicación de Geomallas Biaxiales.

#### **Delimitación**

Por lo mencionado en el planteamiento del problema, el estudio de la tesis se delimita en estudiar y realizar modelamiento del pavimento flexible según la metodología de AASTHO 93 para obtener los espesores de cada una de las capas de la estructura y

luego compararlas con el diseño del pavimento mediante la utilización de Geomallas Biaxiales.

### Aporte del Trabajo

Este trabajo pretende dar una alternativa de solución a la zona en estudio, con la utilización de Geomallas Biaxiales, aportando mejora en la capacidad de soporte y extendiendo el periodo de vida útil del pavimento flexible, diseñado mediante la metodología del AASTHO 93, para poder mejorar las condiciones de transitabilidad en la zona del sector de Los Laureles del Distrito de El Porvenir – Provincia de Trujillo – Departamento de La Libertad.

Se realizarán estudios básicos de ingeniería: estudios de suelos, estudios topográficos, estudios de tráfico, cálculos para obtener el CBR, análisis de costos unitarios.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.2 General:**

- Comparar el Diseño y el análisis de costos de un Pavimento Flexible según la Metodología AASHTO 93; y otro con Geomallas Biaxiales en el Sector Los Laureles-Distrito de El Porvenir – Trujillo – La Libertad.”

### **1.2.3 Específicos:**

- Realizar el diseño y análisis de costos de un Pavimento Flexible según la Metodología AASHTO 93 en el Sector Los Laureles-Distrito de El Porvenir – Trujillo – La Libertad. .

- Realizar el diseño y análisis de costos de un Pavimento Flexible según la Metodología AASHTO 93 adicionándole geomallas biaxiales en el Sector Los Laureles-Distrito de El Porvenir – Trujillo – La Libertad.
- Realizar estudios topográficos, mecánica de suelos y geológicos y Estudio de Trafico
- Determinación del CBR de Diseño y el Perfil Estratigráfico de la Zonal de Estudio.
- Determinación del ESAL de Diseño y el periodo de vida útil del proyecto.
- Determinar los Espesores de las diferentes capas del Pavimento, con el Uso de las Geomallas Biaxiales.
- Realizar el modelamiento del Pavimento Flexible.

### **1.3 Marco Teórico**

#### 1.5.1 Pavimentos Flexibles

Se sabe que sobre la capa de sub-rasante se construye el pavimento flexible, que está compuesto por sub-base, base y carpeta asfáltica. El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas de tránsito.

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- Resistencia estructural

- Deformidad
- Durabilidad
- Costo
- Requerimientos de conservación
- Comodidad

#### Resistencia Estructural:

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural.

#### Durabilidad:

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se les desee dar al camino, depende de la importancia de este. Hay veces que es más fácil hacer reconstrucciones para no tener que gastar tanto en el costo inicial de un pavimento.

#### Requerimientos de conservación:

Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad de tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe tomar en cuenta el comportamiento futuro de las terracerías, deformaciones y derrumbes. La degradación estructural de los materiales por carga repetida es otro aspecto que no se puede dejar de lado. La falta de conservación sistemática hace que la vida de un pavimento se acorte.

### Comodidad:

Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad del proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

### Capas del Pavimento

#### Base y sub-base:

La sub-base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es:

- Reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base.
- Proteger a la base aislándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base.
- Proteger a la base impidiendo que el agua suba por capilaridad
- Transmitir y distribuir las cargas a las terracerías.

Las características de calidad que se buscan en los materiales de sub-base, se muestran en la siguiente tabla.

Materiales de Sub-base	
Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría
Límite líquido máximo	25%
Límite plástico máximo	6%

Compactación mínima	100%
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porcentaje	50 min
Equivalente de arena, en porcentaje	30 min

Fuente: SCT (2006)

La base es la capa de material que se constituye sobre la sub-base. Los materiales con los que se construyen deben ser de mejor calidad que los de la sub-base, la función de la base es:

- Tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos
- Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la sub-base.
- Aunque exista humedad la base no debe de presentar cambios volumétricos perjudiciales.

Las características de calidad que se buscan en los materiales para base, se muestran en la siguiente tabla.

Materiales de Base	
Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría
Límite líquido, en porcentaje (máx.)	25%
Límite plástico máximo	6%

Partículas alargadas	35%
Compactación	100 min
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porcentaje	100 min
Equivalente de arena, en porcentaje	50 min
Índice de durabilidad, en porcentaje	40 min

Fuente: SCT (2006)

Para construir bases y sub-bases, es necesario:

- Realizar una exploración de la zona para elegir bancos
- Analizar la calidad de los materiales que se encontraron.
- Extraer y acarrear los materiales
- Hacer tratamientos previos como el cribado, la trituración y en algunos casos estabilizar
- Después de los tratamientos previos, es necesario que se acarreen a la obra y se les dé un tratamiento que incluye estabilizaciones mecánicas, disgregado y mezclado para homogeneizar el material
- Compactar el material para que alcance el 95% o 100% del P.V.S.M.
- Por último se dá un riego de impregnación. Esta se aplica después de dejar secar la base durante varios días. Se aplica el riego distribuyendo el asfalto. El riego sirve para tener una zona de transición entre la base y la carpeta asfáltica. El asfalto debe penetrar en la base mínimo 3mm.

Fuente: Colección de tesis digitales – Universidad de las Américas de Puebla

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/sanchez\\_r\\_se/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/capitulo2.pdf)



### 1.3.2 Metodología de AASTHO 93

El método de diseño AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials), originalmente conocido como AASTHO, fue desarrollado en los Estados Unidos, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años partir de los deterioros que experimentan representar las relaciones deterioro - sollicitación para todas las condiciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, el método AASTHO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Desde la publicación de la primera guía AASTHO en 1961, se han efectuado modificaciones en la ecuación de diseño con la finalidad de mejorar su uso y su confiabilidad.

El método de AASTHO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa en la siguiente fórmula:

$$\log_{10} W_{T18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Los requisitos de diseño son:

- a. Periodo de diseño (años)
- b. Numero de ejes equivalentes total (W18)
- c. Serviciabilidad inicial (pi)
- d. Serviciabilidad final (pt)
- e. Factor de confiabilidad (R)
- f. Desviación estándar normal (Zr)
- g. Desviación normal del error estándar (So)

- Parámetro W18:

Para la guía AASTHO corresponde al EAL afectado por coeficientes que representan el sentido y el número de carriles que tendrá la vía.

$$\mathbf{W18 = Dd \times DI \times EAL}$$

Fuente: AASHTO

EAL = Numero de ejes equivalentes a 8.2 tn. en el periodo de diseño.

Dd = Es un factor de distribución direccional. Por lo general se considera 0.5

DI = Esta dictado por el siguiente cuadro.

$$ESAL = W_{18} = (\text{Equivalent Single Axle Load})$$

$$\mathbf{ESAL = TMDA \times HV \times GF \times DD \times LD \times TF \times 365}$$

Fuente: AASHTO

Dónde:

TMD: Tránsito medio diario (en dos direcciones)

HV : Porcentaje de vehículos pesados

GF : Factor de crecimiento

DD : Factor de direccionalidad (50/50 o resultado del estudio de tránsito)

LD : Factor de distribución por carril

TF : Factor camión

- Índice de servicialidad presente:

$$\mathbf{\Delta PSI = PSI \text{ final} - PSI \text{ inicial}}$$

PSI inicial= Inicio del periodo

PSI final = Fin del periodo

- Factor de confiabilidad:

Niveles sugeridos de confiabilidad de acuerdo a la clasificación funcional del camino.

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Valores de Nivel de confiabilidad R recomendados

Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

- Desviación estándar normal

Valores de la desviación estándar normal ( $Z_R$ ) correspondiente a los niveles de confiabilidad, "R".

Confiabilidad, R, en porcentaje	Desviación estándar normal, $Z_R$
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Valores de la estándar 19n normal,  $Z_R$ , correspondientes a los niveles de confiabilidad, R  
Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

- Desviación Estándar Total (So):

#### 0.40 – 0.45 Pavimentos Flexibles

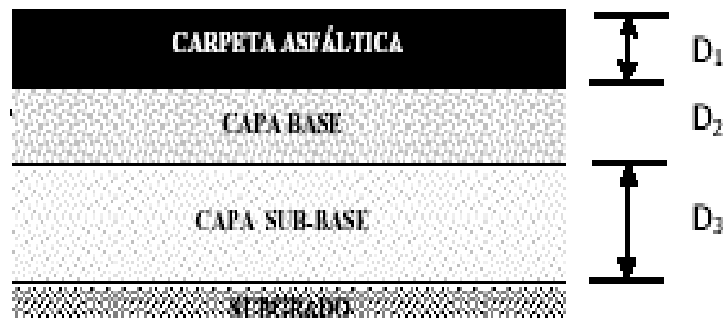
- Módulo de resiliencia de la sub rasante:

$M_R$  = Módulo de resiliencia en psi del material de terracería (sub rasante)

- ✓  $M_{R=1500 \cdot CBR}$ , para  $CBR < 10$  sugerida por AASHTO
- ✓  $M_{R(psi)} = 2555 \cdot CBR^{0.64}$  para  $CBR > 10$  sugerida por AASHTO
- ✓  $M_{R=4326 \cdot CBR(pulg.) + 241}$  utilizada para suelos granulares por la propia guía AASHTO.

- Número estructural

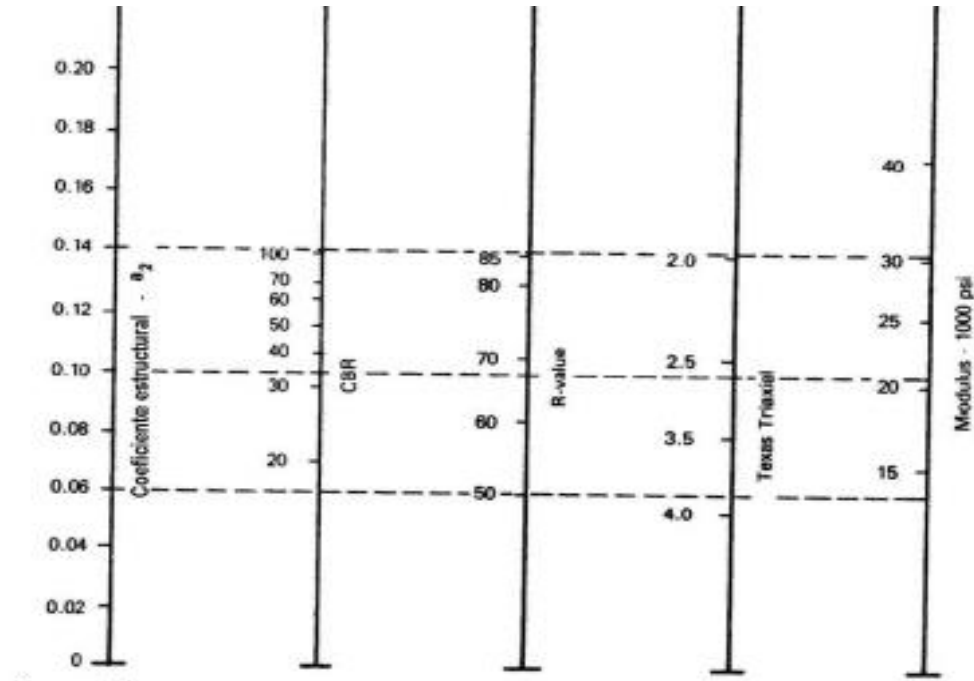
Identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que puede soportar el nivel de carga solicitado.



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

En el año de 1972 Van Til Et efectuó un monograma de correlación entre el módulo resiliente con el CBR:

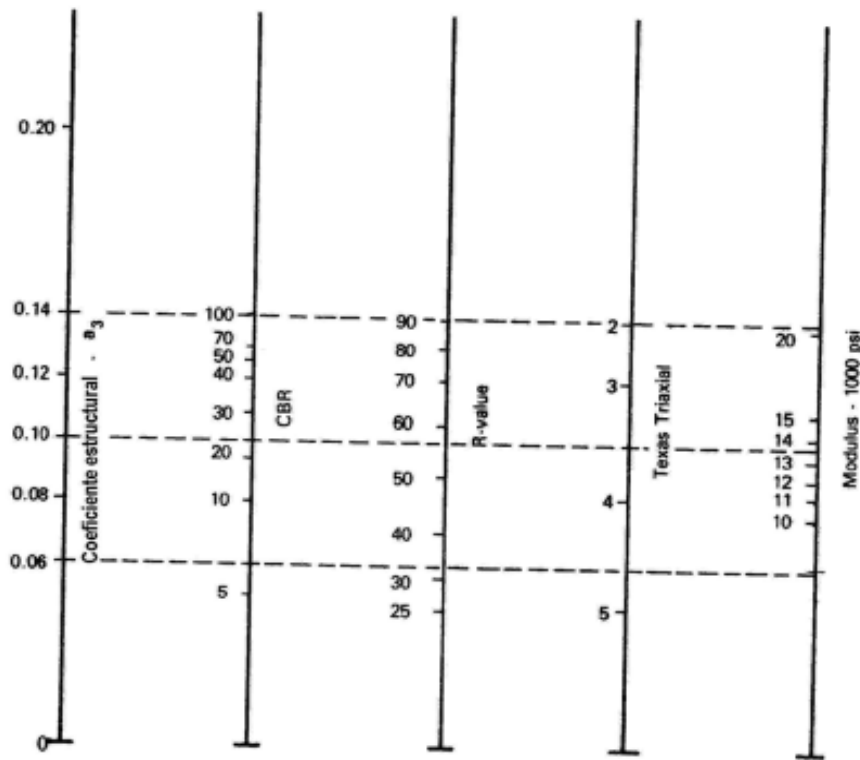
1. Nomograma para estimar el coeficiente estructural  $a_2$  para una capa de base granular.



Nomograma para estimar coeficiente estructural  $a_2$  para una base granular.

Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

2. Nomograma para estimar el coeficiente estructural  $a_3$  para la capa sub base.



Nomograma para estimar coeficiente estructural  $a_3$  para una sub-base granular.

Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

- Coeficientes de drenaje “m”

$$- D1 = \frac{SN1}{a1}$$

$$- D2 = \frac{SN2-SN1}{a_2 m_i}$$

$$- D3 = \frac{SN3-SN2}{a_3 m_i}$$

Calidad del drenaje	Agua removida
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drenada

Porcentaje de Tiempo al cual está expuesto el Pavimento a Niveles de Humedad próxima a la Saturación				
	Menor a 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor a 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Coeficientes de drenaje recomendados.

Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

### 1.5.3 Metodología del AASTHO 93 utilizando Geomallas Biaxiales

#### ASSHTO DESIGNATION R-50-09 (REFUERZO DE CAPA BASE)

Esta norma proporciona orientación práctica a los diseñadores de pavimentos interesados en la incorporación de geosintéticos para refuerzo de los pavimentos. Por lo que los usuarios de este documento verificarán los beneficios técnicos y económicos en sus proyectos.

Los geosintéticos se utilizan en la estructura del pavimento como soporte estructural de las cargas de tráfico durante la vida útil del pavimento.

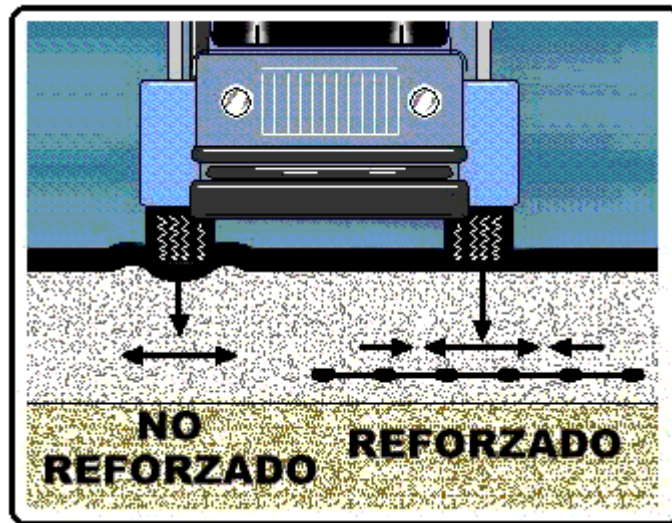
En este caso el geosintético que utilizaremos serán las geomallas biaxiales.

Las geomallas biaxiales son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón con las partículas del suelo de relleno o suelo circundante. La principal función de las geomallas es indiscutiblemente el refuerzo.

Las geomallas están diseñadas para trabajar como un compuesto estructural suelo-geomalla que al trabajar en forma conjunta generen una respuesta de la estructura más estable, producto de la unión de ambos materiales, garantizando la estabilidad de la estructura.

Las aplicaciones de las geomallas constituyen una innovadora solución estructural desde un punto de vista técnico y económico, con respaldo por múltiples aplicaciones a nivel mundial y nacional en todos los campos de la construcción.

El mecanismo principal de la geomalla es la trabazón, que se consigue al penetrar los agregados en las aberturas de la Geomalla, limitando el desplazamiento horizontal de los agregados incrementando con ello la fricción con las capas súper-yacentes; así como la capacidad de las Geomallas para absorber y distribuir esfuerzos. En suma, el compuesto suelo-reforzado ofrece mayor resistencia a las cargas estáticas y dinámicas.



Tipos de geomallas:

Por su forma son Monoaxial, biaxiales y recientemente triaxiales, por su material Polyester (tejido), polietileno y polipropileno.

Monoaxial: es de alta resistencia a la tensión y mínima elongación axial controlada.



Biaxial: alta resistencia en sus uniones, gran módulo de tensión y mínima elongación biaxial simétrica y/o asimétrica según sea el tipo requerido.



Geomalla biaxial

Características de las geomallas:

- Resistencia a la tracción: depende de la geometría y sobrecargas previstas en la estructura.
- Resistencia a largo plazo: contempla los diferentes factores reductores debidos a la fluencia del material, ambientales y de instalación.
- Coeficiente de interacción con el suelo: adherencia efectiva de la armadura con el suelo circundante.
- Permeabilidad: capacidad de flujo de agua.

Aplicaciones de las geomallas:

- En taludes,
- Gaviones
- Obras marinas
- Muros
- Terraplenes y otros.

La geomalla en combinación con geotextiles y geomembranas se usan como:

- Estabilización de suelos como refuerzos.
- Reforestación e instalaciones agrícolas.

- Rellenos sanitarios.

Estos geosintéticos han logrado gran aceptación por cuanto reemplazan la empalizada, sistema tradicional que se usaba en la construcción de vías de acceso para la exploración de petróleo.

Propiedades de Geomallas biaxiales que son las que se utilizaran en este caso:

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	P-BX11 <sup>1</sup>	P-BX12 <sup>1</sup>
Resistencia a la tensión 2% deformación (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(4.1/6.6) kN/m	(6.0/9.0) kN/m
Resistencia a la tensión 5% deformación (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(8.5/13.4) kN/m	(11.8/19.6) kN/m
Resistencia a la tensión pico (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(12.4/19.0) kN/m	(19.2/28.8) kN/m
Eficiencia en los nodos <sup>3</sup>	GRI-GG2	93%	93%
Rigidez flexural <sup>4</sup>	ASTM D1388	250 mg - cm x 1000	750 mg - cm x 1000
Rigidez torsional (J) <sup>5</sup>	US ARMY COE	3.2 kg - cm/deg	6.5 kg - cm/deg

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	P-BX11	P-BX12
Tamaño de abertura (SL/ST) <sup>2</sup>	Medido	(25/33) mm	(25/33) mm
Espesor de costillas (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D1777	(0.76/0.76) mm	(1.27/1.27) mm
Área abierta	CW 02215	75%	80%
Resistencia a los daños de instalación <sup>6</sup>	ASTM D6637	(>90) %SC/%SW/%GP	(>90) %SC/%SW/%GP
Resistencia a la degradación a largo plazo <sup>7</sup>	ASTM D4355-05	>100%	>100%

PRESENTACIÓN	NORMA	P-BX11	P-BX12
Ancho del rollo	Medido	4.0 m	4.0 m
Longitud del rollo	Medido	75 m	50 m
Área del rollo	Medido	300 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>

Las geomallas biaxiales son estructuras bidimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas longitudinalmente y transversalmente.

Este proceso único produce una estructura de una sola pieza con distribución uniforme de espacios rectangulares, de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Este tipo de Geomalla se compone de elementos y nudos rígidos en los cuales el material granular es confinado por trabazón.

Esta trabazón de agregados optimiza la distribución de esfuerzos sobre la subrasante (reduciendo las deformaciones sobre ésta) y restringe el desplazamiento lateral de los agregados de la base o sub-base, aumentando y mejorando su confinamiento y resistencia. La abertura de la malla permite una alta adherencia entre las diferentes capas granulares de la estructura del pavimento. La Geomalla, adicionalmente, aumenta la resistencia a la tensión de las capas de base, tanto en vías no pavimentadas como en estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, por lo tanto, son ideales para el refuerzo de suelos.

Fuente: Instituto de la construcción y gerencia-ICG- “Supervisión en obras de infraestructura Vial – 2da edición.

## CAPITULO II

### MATERIAL Y MÉTODO

#### 2.1 ASPECTOS GENERALES

##### 2.1.1 UBICACIÓN:

El Distrito de El Porvenir es uno de los distritos que conforman el área metropolitana de Trujillo, ubicado en el Departamento de La Libertad, perteneciente a la Región La Libertad, Perú. En la actualidad su superficie de 36.7 Km<sup>2</sup>.

El distrito de El Porvenir por su posición geográfica su ámbito jurisdiccional presenta los siguientes límites:

Por el Norte	:	Distrito de Laredo
Por el Este	:	Distritos de El Huanchaco.
Por el Sur	:	Distrito Trujillo.
Por el Oeste	:	Distrito de La Esperanza.

A la fecha existen los siguientes barrios y urbanizaciones: Miguel Grau, La Unión, Río Seco, Alán García, El Mirador, Las Animas, Mampuesto, Víctor Raúl Haya de la Torre, Túpac Amaru, Ciudad de Dios, Los Libertadores, La Merced, Libertad, cuenta con un 80% de cobertura en servicios de agua potable, alcantarillado y electrificación y tiene un nivel básico de equipamientos comunales, en proceso de implementación progresiva.

El uso general del suelo es residencial, con fuerte presencia del uso mixto de vivienda – taller (micro empresas de calzado).

Se aprecia la concentración comercial de tiendas de cuero, productos para la fabricación de calzado, talleres, restaurantes, bancos, y otros establecimientos de servicios, en el Sector Central, sobre las avenidas Sánchez Carrión y Mateo Pumacahua, principales ejes viales del distrito.

El Porvenir se caracteriza por el dinamismo de su producción artesanal de calzado una de las más importantes del país y otros derivados del cuero, que se concentra en el distrito conformando un conglomerado industrial (53% de empresas). En menor escala, se desarrolla la carpintería, la confección de ropa, la panadería y metal mecánica.

Las coordenadas UTM promedio donde se ubica el Distrito de El Porvenir son: 9107000N y 717300 E.



## **2.1.2 POBLACIÓN**

Según los resultados del censo de población y vivienda del año 2007, la población del distrito El Porvenir para ese año era de 140.507 habitantes.

Población actual: Para el año 2011 se tiene una población estimada en el distrito El Porvenir de 164.931 habitantes según datos estadísticos del Sitio Web Oficial de la Gerencia Regional de Salud La Libertad, organismo que tiene los datos más actualizados de población de la región debido a que sus metas de atención está determinada por el número de habitantes por cada área geográfica de la región.

Fuente: Sitio Web de la gerencia Regional de Salud La Libertad:

<http://www.diresalalibertad.gob.pe/>

## **2.2 ASPECTOS SOCIO ECONÓMICOS**

### **2.2.2 Educación:**

Hay una alta tasa de analfabetismo en El Porvenir, con una tasa de 10% en las mujeres que viven allí. Estos problemas económicos y estructurales, junto con el 22% de la población estando desnutrida, crea muchas dificultades relacionadas a conducta antisocial y el crimen.

### **2.2.3 Accesibilidad al distrito:**

El distrito de El Porvenir se ubica en la parte sur este de la Provincia de Trujillo. Limita por el norte con el Distrito de Huanchaco y Laredo, por el sur con los distritos de Florencia de Mora, Trujillo y Laredo, por el este con el distrito de Laredo y por el oeste con el distrito de La Esperanza y Huanchaco. Tiene un superficie territorial de 36.70 Km<sup>2</sup>. Las lluvias son escasas.

El Distrito de El Porvenir se ubica a 15 minutos de Trujillo Centro Histórico tomado como referencia.

#### **2.2.4 Clima del distrito:**

El Clima de El Porvenir se caracteriza por su clima árido y semicálido, con una temperatura media máxima de 22, 7° C (72,9° F), y una mínima de 15, 8° C (60,4° F) Con ausencia de lluvias durante todo el año.

### **2.3 TOPOGRAFÍA DE LA ZONA**

La Topografía de la zona en estudio presenta un relieve predominantemente ondulado con laderas y áreas con pendientes moderadas en ciertas calles de Los Laureles del Porvenir.

### **2.4 ESTUDIO DEL TRÁFICO**

El procedimiento para el análisis de tráfico presentado incorpora el concepto de cargas por eje simple de 18000 lb. (18 kips). Por consiguiente se requiere conocer el número de vehículos, o el número y la masa de las cargas por eje esperados en la viabilidad.

Los factores a considerar en el estudio de tráfico, para poder obtener el diseño del pavimento, será el tráfico inicial y el esperado durante el periodo de diseño del pavimento.

El procedimiento de diseño para hallar el espesor de las capas del pavimento para este proyecto son:

a) Carril de diseño

En el presente proyecto se ha considerado el 50 % del tráfico comercial para el carril de diseño por tratarse de vía de dos carriles.

NUMERO DE CARRILES EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE PARA EJES DE 8.2 TONELADAS EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: AASTHO 93

b) Periodo de diseño

Un pavimento puede ser diseñado para soportar el efecto acumulativo del tráfico durante cualquier periodo de tiempo. En nuestro proyecto hemos considerado un periodo de diseño de  $n= 20$  años, debido a la recomendación que realiza la versión actual de AASTHO, sobre el periodo de diseño en función al tipo de carretera:

TIPO DE CARRTERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30 – 50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20 – 50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15 – 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10 – 20 años

Fuente: AASTHO 93.

c) Crecimiento de tráfico

En el caso de la ciudad de Trujillo el incremento anual de vehículos es  $r= 5.00\%$

$$\text{Factor de crecimiento} = [(1+r)^n - 1]/r$$



Dónde:

FC= Factor de crecimiento  
n= Periodo en años = 20 años  
r = Tasa de crecimiento = 5.00%

Reemplazando obtenemos  
Factor de crecimiento= 33.066%

### DETERMINACIÓN DEL FACTOR CAMIÓN (F.C.)

Tipos de vehículos:

AP: automóviles y camionetas pequeñas

AC: camionetas y combis

B2: ómnibus de eje simple

C2: camiones medianos de dos eje simple

C3: camiones de dos ejes uno simple y el otro Tandem

Tipo de vehículo: Camión C2 (Dos ejes)

Camión 2 Ejes C2	Peso en Libras		Factor equivalente de carga	
	Cargado	Descargado	Cargado	Descargado
a) Eje delantero Simple	15,435	15,435	0.54108	0.54108
b) Eje posterior Simple	24,255	15,435	3.1575	0.54108
TOTAL	39690	30870	3.69858	1.08216
PROMEDIO DESCARGADO Y CARGADO	35280		2.39037	

Tipo de vehículo: Camión T2S2-252 (Tres eje: Dos simples y uno Tadem)

Camión 3 Ejes T2S2-252	Peso en Libras		Factor equivalente de carga	
	Cargado	Descargado	Cargado	Descargado
a) Eje delantero Simple	15,435	15,435	0.54108	0.54108
b) Eje posterior Simple	24,255	15,435	3.1575	0.54108
c) Eje posterior Tandem	39,690	15,435	2.0211	0.04087
TOTAL	79380	46305	5.71968	1.12303
PROMEDIO DESCARGADO Y CARGADO	62842.5		3.421355	

Fuente: Elaboración propia

Tipo de vehículo: Camión C3 (Dos eje: Uno simple y el otro Tandem)

Camión 2 Ejes C3	Peso en Libras		Factor equivalente de carga	
	Cargado	Descargado	Cargado	Descargado
a) Eje delantero Simple	15,435	15,435	0.54108	0.54108
b) Eje posterior Tandem	39690	15,435	2.0211	0.04087
TOTAL	55125	30870	2.56218	0.58195
PROMEDIO DESCARGADO Y CARGADO	42997.5		1.57207	

Fuente: Elaboración propia

Además consideramos el valor del Factor Camión de 0.020 para Camionetas y Combis, no se considera autos.

## CÁLCULO DEL EAL DE DISEÑO

A continuación se presenta el método para determinar los datos del tráfico que sirven a los métodos de diseño estructural.

El EAL de diseño es el número de pasadas de cargas equivalentes a un eje simple de 18000 lb. (18 Kips), que ocurrirán durante el periodo de diseño del pavimento.

Hallamos el EAL de diseño para el sector de nuestro estudio:

FACTOR DE PERIODO DE DISEÑO		20 años	PISTA DE DOS CARRILES		
FACTOR CRECIMIENTO		5%			
Descripción		Veh/día	50% que transita en el carril de diseño		
<b>Tráfico diario inicial</b>		<b>314</b>			
Total de autos		<b>62</b>			
Total de camiones y combis		<b>166</b>	83		
<b>Vehículos pesados</b>					
Camión Tipo C2		42	21		
Camión Tipo C3		24	12		
Camión Tipo T2S2-2S2		20	10		
<b>Total de Vehículos pesados</b>		<b>86</b>			
Tipo de vehículo	Número de vehículo	Número de vehículos al año	Factor camión	Factor crecimiento	EAL
Ac	83	30295	0.0200	33.066	20034.66
C2	21	7665	2.3904	33.066	605840.56
C3	12	4380	1.5721	33.066	227681.14
T2S2-2S2	10	3650	3.4214	33.066	412926.44

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto,

EAL de diseño: 1'266483.00

## 2.5 ESTUDIO DE SUELOS

### 2.5.1. Introducción

Para la realización del estudio de Mecánica de Suelos de la zona, se realizó el sondeo respectivo con la finalidad de determinar el tipo de suelo existente en la zona y sus características físicas-mecánicas mediante la excavación de calicatas y la extracción de muestras para ser ensayadas a determinadas profundidades que para este caso serán a 2.00 m. se determinan las características físicas y mecánicas del terreno de estudio.

A continuación se indica la ubicación de las calicatas:

- Calicata 01 (C-01), ubicada en la manzana “D”, calle 2. Con una profundidad de 2.00 m.
- Calicata 02 (C-02), ubicado en la manzana “B”, Entre el pasaje 14 – pasaje 15. Con una profundidad de 2.00 m.
- Calicata 03 (C-03), ubicado en la esquina de la manzana “K”, calle 03 – calle 10. Con una profundidad de 2.00 m.
- Calicata 04 (C-04), ubicado en la manzana “P”, calle 07 – calle 10. Con una profundidad de 2.00 m.
- Calicata 05 (C-05), ubicado en la manzana “B”, calle 03 y el Pasaje 18. Con una profundidad de 2.00 m.

### **2.5.2 Ensayos de laboratorio**

Para el estudio de las muestras de suelo seleccionado estaremos efectuando sus ensayos físicos y mecánicos que son:

- Clasificación general de los suelos: sirven para identificar y clasificar adecuadamente los suelos.
- Control de la construcción: estos se usan para asegurar que los suelos se comporten adecuadamente durante un proceso constructivo.
- Resistencia del suelo: se usa para determinar la capacidad de carga de los suelos y si son adecuados para utilizarlos en la construcción.

#### **a. Ensayos generales y clasificación de los suelos**

##### **1. Análisis granulométrico (ASSTHO T88 – ASTM D422)**

Se llama también Análisis mecánico y consiste en la determinación de los porcentajes de piedra, grava, arena, limo, arcilla que hay en una cierta masa de suelo.

El procedimiento para realizar el ensayo son los siguientes:

- Se reciben las muestras las cuales deben ser mayor a 5 kilogramos por muestra.
- Se procede al cuarteado de la muestra
- Se procede al lavado de la muestra a utilizar, esto permite que los finos se separen del material y otros elementos que podrían tener consigo la muestra. Esto se repite tantas veces que sea necesario.
- Se seca la muestra necesaria en el horno a una determinada temperatura.
- Se saca del horno y se pesa 1 kilogramo del material.
- Se procede al análisis granulométrico, es decir es tamizado para luego hacer clasificación según AASHO y SUCS.

## 2. Humedad natural (ASTM D-2216)

Denominamos así a un porcentaje en el cual comparamos el peso del agua ( $W_w$ ) con respecto al peso seco del suelo ( $W_s$ ), lo podemos representar por medio de la siguiente fórmula:

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Dónde:

- $\%W =$  % Humedad
- $W_w =$  Peso de agua
- $W_s =$  Peso sólido

Se realiza el siguiente procedimiento:

- En un recipiente que se conoce su peso se extrae de la muestra recepcionada un poco de material para después pesarlo (se vierte mínimo 200 gramos).
- Se coloca al horno a una temperatura de 80 °C hasta el día siguiente.
- Después de ese tiempo se vuelve a pesar, a eso se considera peso del tarro más el suelo seco.
- Se procede a hacer cálculo con la fórmula mencionada anteriormente.

## 3. Peso específico

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada.

#### 4. Límite líquido y plástico

- Límite líquido (LL) (AASHTO T89 – ASTM D4318)

Es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquida y plástica de un suelo.

Para determinar el límite líquido (LL) se toma el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes, el mismo que nos da la idea de la resistencia al corte cuando tiene un determinado contenido de humedad.

Un suelo cuyo contenido de humedad sea mayor a su límite líquido tendrá una resistencia al corte prácticamente nulo.

- Límite plástico (LP) (AASHTO T90 – ASTM D4318)

Es la propiedad que tiene el suelo de deformarse sin llegar a romperse, se lo define como el contenido de humedad del suelo, en el momento de pasar del estado plástico al sólido.

#### **b. Ensayos de control**

La falta adecuada de compactación es una de las muchas fallas en pavimentos. La estabilidad de una obra exige, entre otras cosas que los terraplenes y las diferentes capas de un pavimento se hallen debidamente compactadas. La compactación deberá efectuarse mediante equipos especiales a fin de que el material a compactarse alcance la mayor densidad posible en el terreno y deberá tener una humedad previamente determinada en el laboratorio.

Existen varios métodos para determinar la humedad óptima y la densidad máxima de un suelo. La mayor parte de estos métodos son dinámicos aplicando mediante pisonos o martillos, y algunos estáticos aplicados mediante prensas hidráulicas.

#### **c. Ensayos de resistencia**

Estos ensayos se usan para determinar la capacidad de carga del suelo y de esta manera poder obtener parámetros de diseño.

- **Ensayo C.B.R. (AASTHO T193 – ASTM D1883)**

El objetivo de este ensayo es determinar un índice de la resistencia al esfuerzo cortante del terreno. Conocido el índice de C.B.R. se puede determinar el espesor del pavimento a emplear, basándose en curvas obtenidas experimentalmente.

El índice de C.B.R. se obtiene como porcentaje de esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en el suelo que se ensaya, dividido por el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad.

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidades controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte pero de la aseveración anterior es evidente que éste número no es constante para un suelo dado sino que se aplica durante el ensayo.

Finalmente se llega a la siguiente conclusión:

$$\text{C.B.R.} = \frac{\text{Esfuerzo en el suelo ensayado}}{\text{Esfuerzo en muestra patrón}} \times 100$$

De esta ecuación se puede ver que el número del C.B.R. es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo del porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero. Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son los siguientes:

Penetración mm.	Carga unitaria Lb/pulg <sup>2</sup>	Carga unitaria Kg/cm <sup>2</sup>
--------------------	--	--------------------------------------

El número de C.B.R. usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 0.1'' (2.5 mm.), sin embargo si el valor de C.B.R. a una penetración de 0.2'' (5 mm) es mayor, el ensayo debería repetirse. Si un

segundo ensayo produce nuevamente un valor de C.B.R. de penetración de 0.2'' (5mm) mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final del ensayo.

Los ensayos de C.B.R. se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico determinado, utilizando el ensayo de compactación estándar.

## **2.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**

Es muy útil dividir los suelos en grupos con comportamientos semejantes y a esto se le denomina clasificación de suelos.

Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros.

### **2.6.1 Sistema de clasificación AASTHO**

Este sistema de clasificación es uno de los más aceptables y adecuados para la construcción de carreteras, divide a los suelos en 7 grupos basándose en su composición granulométrica, en el límite líquido y en el índice de grupo.

Los grupos se enumeran desde A-1 hasta A-7, el mejor suelo para subrasante, es el A-1, le sigue A-2, siendo A-7 el de peor calidad.

Esta clasificación divide a los suelos en dos clases: suelos finos (limosos – arcillosos) y suelos granulares.

Suelos finos o materiales limo-arcillosos

Son aquellos que pasan el tamiz N° 200 (0.075 mm.) en más del 35%. Estos suelos son A-4, A-5, A-6, A-7.

Suelos granulares:



Son aquellos que tienen 35% o menos del material fino que pasa el tamiz N° 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3, para esta clasificación se determina el índice de grupo.

Índice de grupo:

Los suelos que presentan comportamiento similar se encuentran dentro de un mismo grupo, por lo tanto están representados por un mismo índice, mientras mayor sea el índice de grupo más desfavorable es el suelo de respecto a su estabilidad.

La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite líquido, grado de plasticidad y porcentaje que material fino pasa por el tamiz N° 200.

Los índices de grupos de:

- Los suelos granulares están comprendidos entre 0 y 4.
- Los suelos finos entre 8 y 12.
- Los suelos arcillosos entre 11 y 20 o más.

Para calcular el índice de grupo se usa la siguiente fórmula:

$$IG = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

Dónde:

a: porcentaje que pasa por el tamiz n° 200, comprendiendo entre 35% como mínimo y 75 % como máximo. Se representa únicamente en número entero y varia de 0 a 40.

b: porcentaje que pasa por el tamiz n° 200, comprendiendo entre 15% como mínimo y 55 % como máximo. Se representa únicamente en número entero y varia de 0 a 40.

c: parte del límite líquido comprendido entre 40% como mínimo y 60% como máximo. Se representa en un número entero y varía de 0 a 20.

d: parte del índice plástico, comprendido entre 10% como mínimo y 30% como máximo. Se representa en número entero y varía de 0 a 20.

Los índices de grupo sólo se deben expresar en números enteros. Si su valor es negativo se considera como cero.

CLASIFICACIÓN	ÍNDICE DE GRUPO
Excelente	0-1
Bueno	1-2
Regular	2-4
Malo	5-9
Muy malo	Mayor de 9

Índice de plasticidad (IP) (AASHTO T90-ASTM D4318)

Es el valor numérico de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$I.P. = LL. - LP.$$

IP	Características	Tipo de suelos	Cohesividad
0	No plástico	Arena	No cohesivo
7	Baja plasticidad	Limoso	Parcialmente cohesivo
7 – 17	Plasticidad media	Arcilla – limoso	Cohesivo
17	Altamente plástico	Arcilla	Cohesivo

Este cuadro muestra las características de algunos tipos de suelos según su índice de plasticidad obtenido en base a experiencias de científicos especialistas en materia de suelos.

## 2.6.2 Sistema de clasificación SUCS

Según esta clasificación los suelos se dividen en tres grupos principales de grano grueso, de grano fino, y altamente orgánico (suelos – turbas).

Los suelos – turbas se reconocen fácilmente. Para separar los suelos de granos finos de los gruesos se adopta el tamiz N° 200 (0.075 mm.). En el terreno la separación se realiza observando si las partículas individuales pueden o no ser distinguidas a simple vista.

Los suelos de grano grueso se dividen en gravas (G) y arena (S) según tengan más o menos del 50% de granos visibles retenidos en el tamiz N° 4. Cada uno de estos tipos se divide en cuatro grupos:

W: Bien graduados (coeficiente de uniformidad  $U > 4$ ), limpio (< al 5% que pasa del tamiz N° 200).

P: Pobrementemente graduada (con granulometría discontinua, o  $U < 4$  para gravas o 6 para arena); limpios (< al 5% de partículas menores de 0.074 mm.)

C: Bien graduados; sucios (> 12% de particularidades menores de 0.074 mm.) finos arcillosos o plásticos ( $I_w > 7$ , ubicado por encima de la línea en el gráfico de las plasticidades)

P: pobremente graduados, sucios (> 12% de partículas menores de 0.074 mm.); finos limosos o no plásticos ( $I_w < 4$ , ubicado por debajo de la línea A en el gráfico de plasticidades)

Según su composición, estos tipos de suelo se representan con símbolo como GW y SP. Para los materiales límites se utilizan símbolos dobles como GW – CP.

Los suelos de granos finos se dividen entre grupos: Limo orgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de ellos se divide a su vez en los que tienen límites líquidos menor de 50% (L) o mayor de 50% (H).

La distinción entre arcillas inorgánicas C, los limos inorgánicos M y los suelos orgánicos O se realizan en el gráfico de la plasticidad.

Los suelos CH y CL se representan por puntos situados encima de la línea A, mientras que a los suelos OH, OL y MH les corresponden puntos por debajo de ésta. En cuanto a los suelos ML, exceptuando algunas pocas arenas finas arcillosas, también viene representado por puntos situados debajo de la línea A.

Fuente: Pavimentación empleando geotextiles y su impacto ambiental en asentamiento humano La Victoria, distrito de Víctor Larco Herrera, provincia de Trujillo.

## 2.7 ENSAYOS GENERALES

### 2.7.1 Perfil estratigráfico

Se ha realizado a partir de datos de la excavación de cinco calicatas en puntos estratégicos, donde se muestra las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se pueden reconstruir la estratigrafía del subsuelo, acorde con la profundidad requerida.

CALICATA: C-1

PROFUNDIDAD: 2.00 m.

UBICACIÓN: El Porvenir - Trujillo - La Libertad

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA		
	SIMBOLOGÍA A (S.U.C.S.)	SÍMBOLO		W (%)	LL (%)	LP (%)
0.20		----- ----- -----	Material de suelo orgánico			
1.40	SP	●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●●	Arena pobremente graduada	13.14	NP	NP
2.00	SP	●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●● ●●●●●●●●	Arena pobremente graduada	17.78	NP	NP

CALICATA: C-2  
 UBICACIÓN: El Porvenir - Trujillo - La Libertad

PROFUNDIDAD: 2.00 m.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA		
	SIMBOLOGÍA (S.U.C.S.)	SÍMBOLO		W (%)	LL (%)	LP (%)
0.15		----- ----- ----- ---	Material de suelo orgánico			
1.5	SP	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	14.55	NP	NP
2	SP	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	17.65	NP	NP

CALICATA: C-3  
 UBICACIÓN: El Porvenir - Trujillo - La Libertad

PROFUNDIDAD: 2.00 m.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA		
	SIMBOLOGÍA (S.U.C.S.)	SÍMBOLO		W (%)	LL (%)	LP (%)
0.2		----- ----- -----	Material de suelo orgánico			
1.5	SP	..... ..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	12.36	NP	NP
2	SP	..... ..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	17.88	NP	NP

CALICATA: C-4  
 UBICACIÓN: El Porvenir - Trujillo - La Libertad

PROFUNDIDAD: 2.00 m.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA		
	SIMBOLOGÍA (S.U.C.S.)	SÍMBOLO		W (%)	LL (%)	LP (%)
0.2		----- ----- -----	Material de suelo orgánico			
1.5	SP	..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	11.82	NP	NP
2	SP	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	15.81	NP	NP

CALICATA: C-5  
 UBICACIÓN: El Porvenir - Trujillo - La Libertad

PROFUNDIDAD: 2.00 m.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA		
	SIMBOLOGÍA (S.U.C.S.)	SÍMBOLO		W (%)	LL (%)	LP (%)
0.2		----- ----- -----	Material de suelo orgánico			
1.5	SP	..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	14.25	NP	NP
2	SP	..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .....	Arena pobremente graduada	17.78	NP	NP

Fuente Propia

El subsuelo está conformado de la siguiente manera:

**Sector Los Laureles I etapa:**

**Calicata C-1 (Mz. “D”, calle 2)**

0.00 – 0.20m. Hasta los 0.20 m. de profundidad de exploración se presenta una capa de material de relleno natural en estado de suelto, conformado por material orgánico propia con basura.

0.20 – 2.00 m. luego sigue una secuencia de arenas pobremente graduadas no plástico de color beige pardo, de poca humedad, de estado de compacidad suelta, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas. No se presenta el nivel freático hasta la profundidad explorada.

**Calicata C-2 (Mz. “B”, pasaje 14 – pasaje 15)**

0.0 – 0.15m. Hasta los 0.15m. de profundidad de exploración se presenta una capa de suelo orgánico con arena.

0.15 – 2.00m.. Luego sigue una secuencia de arenas pobremente graduadas no plástico de color beige pardo, de poca humedad, de estado de compacidad suelta, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas. No se presenta el nivel freático hasta la profundidad explorada.

**Calicata C-3 (Mz. “K”, calle 03 – calle 10)**

0.0 – 0.20 m. Hasta los 0.20 m. de profundidad de exploración se presenta una capa de material de suelo orgánico suelto, de baja humedad.

0.20 – 2.00 m. Luego sigue una secuencia de arenas pobremente graduadas no plástico de color beige pardo, de poca humedad, de estado de compacidad suelta, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas. No se presenta el nivel freático hasta la profundidad explorada.

**Calicata C-4 (Mz. “P”, calle 07 – calle 10)**

0.0 – 0.20 m. Hasta los 0.20 m. de profundidad de exploración se presenta una capa de material de suelo orgánico suelto de baja humedad.

0.20 – 2.00 m. Luego sigue una secuencia de arenas pobremente graduadas no plástico de color beige pardo, de poca humedad, de estado de compacidad suelta, conteniendo además regular porcentaje de limos y gravas menudas. No se presenta el nivel freático hasta la profundidad explorada.

**Calicata C – 5 (Mz. “B”, calle 03 –Pasaje 18)**

0.00 – 0.20 m. Hasta los 0.20 m. de profundidad de exploración se presenta una capa de material de suelo orgánico suelto de baja humedad.

0.20 – 2.00 m. Luego sigue una secuencia de arenas pobremente graduadas no plástico de color beige pardo, de poca humedad, de estado de



compacidad suelta, conteniendo además regular porcentaje de limos y gravas menudas. No se presenta el nivel freático hasta la profundidad explorada.

## **2.7.2 Ensayos de laboratorio**

### **2.7.2.1 Proctor modificado**

Este ensayo es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

Se realizó el ensayo para tres de las muestras de las calicatas descritas anteriormente.

(Ver Anexos.)

Los resultados finales son:

Calicata 1:

Contenido de humedad optimo: 10.25%

Densidad máxima: 1.87 (gr/cm<sup>3</sup>)

Calicata 2:

Contenido de humedad optimo: 9.13%

Densidad máxima: 1.93 (gr/cm<sup>3</sup>)

Calicata 3:

Contenido de humedad optimo: 9.43%

Densidad máxima: 1.93 (gr/cm<sup>3</sup>)

### 2.7.2.2 Ensayo de CBR

Los ensayos de CBR se realizaron para las calicatas C1, C2 y C3.

(Ver anexos)

### 2.7.3 Conclusiones de estudio de mecánica de suelos

Se realizaron ensayos estándar de laboratorio y de campo con fines de identificación y clasificación así como ensayos de resistencia para fines de pavimentación. (C.B.R.)

Realiza la investigación de campo y laboratorio concluimos con lo siguiente:

CALICATA	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
C – 1	1.87	10.25
C – 2	1.93	9.13
C – 3	1.93	9.43

CALICATA	CBR (%)
C – 1	15.80
C – 2	14.30
C – 3	16.50

Fuente: Elaboración propia.

## 2.8 ESTRUCTURA DE GEOSINTÉTICOS

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

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geocompuestos y mantos para control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores.

En una de sus funciones los geosintéticos se utilizan en la estructura del pavimento como soporte estructural de las cargas de tráfico durante la vida útil del pavimento.

Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión. Tradicionalmente estos efectos se obtenían utilizando ramas trenzadas o colocando troncos de forma perpendicular.

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

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

La principal función de geomallas es el refuerzo; el uso del tipo de Geomalla está ligado a la dirección en que los refuerzos se transmiten en la estructura, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi axiales en las cuales la disipación de esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas direcciones.

Las geomallas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo. Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de

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

Las geomallas biaxiales son estructuras de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la Geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Fuente: Capítulo 1. “Manual y software de diseño Geosoft Pavco”.

## **2.9 VENTAJAS EN EL USO DE GEOSINTÉTICOS**

Las ventajas que se obtienen al comparar el uso de geosintéticos en la estructura de pavimentos flexibles, en este caso de geomallas biaxiales, con una pavimentación tradicional son las siguientes:

- Reducción de espesores
- Incrementa vida útil
- Disminuye costos de mantenimiento
- Incremento de capacidad de soporte
- Cobertura de vacíos
- Nivelación de sub rasantes débiles
- Control de asentamientos diferenciales

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO

##### 3.1.1 METODO DE AASHTO 93 PARA EL DISEÑO DE ESPESORES

El procedimiento de diseño es realizado mediante la suposición de un número estructural del pavimento, y según éste se realizan tanteos analíticamente hasta equilibrar la expresión de diseño del pavimento o a través de monogramas.

La ecuación básica de diseño propuesto por la AASTHO 93 es la siguiente:

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Dónde:

W18 = Tráfico

Zr = desviación estándar normal

So = error estándar combinado de la predicción del tráfico

$\Delta PSI$  = diferencia de serviciabilidad

Mr = módulo resiliente

SN = número estructural indicativo del espesor total del pavimento

SN = a1D1 + a2D2m2 + a3D3m3

Para realizar el diseño de la estructura del pavimento flexible se realizaron los siguientes pasos:

### 1. Determinación del EAL

El método también incorpora en su actualización el factor de distribución por carril, la dirección que adopte el tráfico en la carretera y el periodo de diseño, las cuales ya han sido calculados en el estudio de tráfico antes visto, en el cual obtuvimos un EAL de diseño igual a  $1,26 \times 10^6$

### 2. Módulo resiliente de la sub rasante

De acuerdo al valor obtenido del CBR en el estudio de suelos, se tiene una estructura de soporte apta para la estructura del pavimento, para la obtención del Mr se utilizó la fórmula sugerida por AASTHO.

$$\text{CBR} = 15.5 \%$$

$$\text{Mr} = 2555 * \text{CBR}^{0.64}, \text{ para } \text{CBR} > 10 \text{ sugerida por AASTHO}$$

$$\text{Mr} = 2555 (15.5)^{0.64} = 14763.97 \text{ psi}$$

### 3. Módulo resiliente de la sub base

Para el material de la sub base es necesario tomar un CBR de acuerdo a las especificaciones requeridas por el MTC, donde se establece como CBR mínimo de 30%

$$\text{Mr}_{\text{sub base}} = 22529.3 \text{ psi}$$

### 4. Módulo resiliente de la base

Para el material de la base, se debe cumplir con un CBR mínimo de 80%

$$\text{Mr}_{\text{base}} = 42205.4 \text{ psi}$$

### 5. Coeficientes estructurales

Se hallan los coeficientes a1, a2, a3 según el módulo elástico, empleando los ábacos de diseño.

(Ver gráficas en anexos)

$$E_c = 350000 \text{ psi} \quad a_1 = 0.40$$

$$E_B = 30\,000 \text{ psi} \quad a_2 = 0.14$$

$$E_{SB} = 14500 \text{ psi} \quad a_3 = 0.11$$

## 6. Variables de entrada

Estos valores han sido obtenidos según las recomendaciones dadas por el AASTHO para el diseño de pavimentos flexibles en sus diferentes tablas, según las condiciones y tipo de carretera.

$$\text{Confiabilidad:} \quad R = 80\%$$

$$\text{Desviación estándar normal:} \quad Z_R = 0.841$$

$$\text{Desviación normal error estándar:} \quad S_o = 0.45$$

$$\text{Índice de servicialidad: } P_o - P_t = 4.20 - 2.00 \quad \Delta\text{PSI} = 2.20$$

$$\text{Coeficiente de drenaje:} \quad m_i = 1.00$$

## 7. Cálculo del número estructural (SN)

El diseño está basado primordialmente en identificar el número estructural “SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado.

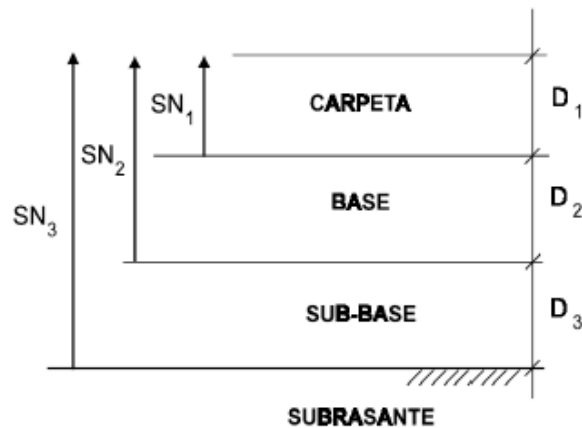
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Para el cálculo de espesores  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  (en pulgadas), el método sugiere respetar los siguientes valores mínimos, en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados:

Espesores mínimos (pulgadas).			
Tráfico ESAL	Concreto	Asfáltico	Base de agregados
menos de 50,000	1.0 (trat. superficial)		4
50,001 - 150,000	2.0		4
150,001 - 500,000	2.5		4
500,001 - 2' 000,000	3.0		6
2'000,001 - 7' 000,000	3.5		6
mayor a 7'000,000	4.0		6

Fuente: AASTHO 93

Como ya se describió al principio, el número estructural sobre la capa sub rasante es lo primero a calcularse. De la misma manera deberá obtenerse el número estructural requerido sobre las capas de la sub base y base, utilizando los valores de resistencia aplicables para cada uno.



Con los datos: coeficiente de confiabilidad, desviación estándar, estimación total de tráfico y módulo de resiliencia de la sub rasante, índice de serviciabilidad se ingresa a la ecuación AASTHO o al monograma y se obtiene el número estructural total del pavimento.

Entonces:

$$M_r = 14763.97 \text{ psi}$$

$$SN = 1.91$$

Y con la misma metodología del paso anterior calculamos el número estructural de cada capa de pavimento.



Estimación D1:

$$Mr_{\text{base}} = 42205.4 \quad SN_1 = 1.2$$

$$SN_1 = a_1 D_1 = D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.2}{0.40} = 3 \text{ plg.}$$

$$SN_1 = a_1 D_1 = 0.40 \times 3 = 1.2 \quad \rightarrow \quad D_1 = 3.00 \text{ plg} = 8 \text{ cm.}$$

Estimación D2:

$$Mr_{\text{subbase}} = 22529.3 \quad SN_2 = 1.62$$

$$SN_2 = a_2 D_2 m_2 = D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} = \frac{(1.62 - 1.2)}{0.14 * 1.00} = 3 \text{ plg.}$$

El espesor de la base calculado por el método AASTHO no cumple con el espesor mínimo permitido, por lo que se incrementa hasta 6 plg.

$$SN_2 = a_2 D_2 m_2 + SN_1 = (0.14 \times 6.00 \times 1.00) + 1.2 = 2.04$$

$$D_2 = 6 \text{ plg.} = 15 \text{ cm.}$$

Estimación D3:

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

$$1.91 = 0.40*(1.2) + 0.14*(6)(1) + 0.11D_3(1)$$

$$D_3 = 5.36 \text{ plg.}$$

Espesor mínimo requerido: 6 plg.

$$D_3 = 6 \text{ plg.} = 15 \text{ cm.}$$

### 3.1.2 METODO DE AASHTO 93 PARA EL DISEÑO DE ESPESORES ADICIONANDO GEOMALLAS BIAXIALES

El uso de la Geomalla aumenta la confiabilidad del pavimento, es decir, es más probable de que llegue a cumplir la vida útil para la cual fue diseñado.

1. Cálculo del número estructural de los espesores hallados sin refuerzo, según metodología AASTHO 93:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$
$$SN = (.40)*(3) + 0.14*(6)(1) + 0.11(6)(1) = 2.7$$

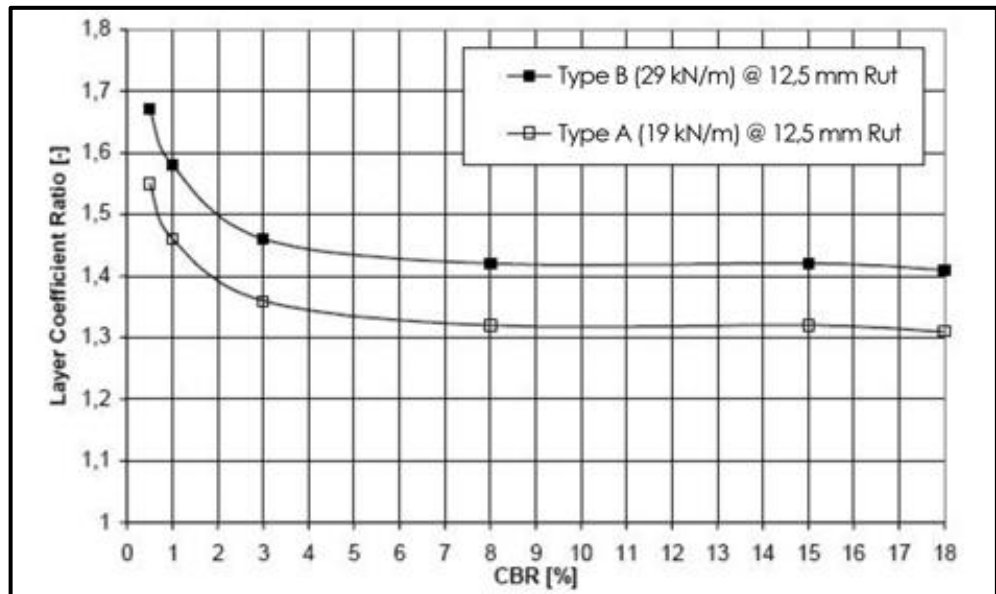
2. Cálculo de la estructura sustituyendo la base granular

Se realiza una sustitución de la base granular por la sub base granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial. Este nuevo espesor se denomina  $D_3'$

$$SN = 2.7$$
$$SN = a_1D_1 + a_3D_3'm_3$$
$$2.7 = 0.40*(3) + 0.11*(1)*D_3'$$
$$D_3 = 13.64 \text{ plg} = 35 \text{ cm.}$$

3. Cálculo del nuevo espesor de la capa de sub- base con refuerzo

En la gráfica LCR vs CBR, empleando la Geomalla tipo “B” P-BX12 (esfuerzo a la tensión de 29 KN/m), y con los datos de CBR de la sub rasante obtenemos el valor de LCR o coeficiente de aporte de la Geomalla a la capa granular de la estructura.



Incremento del factor de tráfico vs CBR para dos profundidades de ahuellamiento.

Con CBR= 15.5%,

$$LCR = 1.42$$

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

$$SN_r = SN$$

$$SN_r = 2.7$$

Calculamos el nuevo espesor de la capa granular con el refuerzo incluido como parte integral de la estructura

$$SN_r = a_1 D_1 + a_3 LCR D_3 m^3$$

$$D_{3r} = \frac{SN_r - a_1 D_1}{a_3 LCR m^3} = \frac{2.7 - 0.4*(3)}{0.11*(1.42)*(1)} = 10 \text{ plg.} \rightarrow 25.4 \text{ cm.}$$

#### 4. Cálculo del aporte estructural de la capa reforzada

Una vez hallado el nuevo espesor de la capa granular, por la utilización de la Geomalla, se calcula el número estructural de la misma.

$$SN_{GR} = a_3 D_{3r} m^3 = 0.11*(10)*(1.00) = 1.10$$

5. Cálculos de nuevos espesores de base y sub base granular

Calculamos nuevos espesores en función del número estructural de la capa de sub-base obtenida en el paso anterior y sus coeficientes de capa respectivos

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

$$1.10 = 0.14 * (1) D_{2r} + 0.11 * (1) D_{3r}$$

Debido a las dos incógnitas en la ecuación, se debe realizar un proceso de iteración para obtener espesores de capa razonables para la estructura. Para el espesor de la base granular no se recomienda que este valor se encuentre por debajo de las 6 plg. Se deberá dejar constante el espesor de la base granular, que para este caso se emplea el espesor mínimo recomendado de 6 plg. y se despeja de la ecuación el espesor de la sub base granular.

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

$$D_{2r} = 6 \text{ plg. (Mínimo)} \rightarrow 15 \text{ cm.}$$

$$D_{3r} = 2.36 \text{ plg} \rightarrow 6 \text{ cm.}$$

6. Verificación del aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular adicionándole Geomalla biaxial

Para asegurar la viabilidad del pavimento, los nuevos espesores calculados se deben verificar que la variación no altere el desempeño de la estructura, por lo que el número estructural de las capas granulares con respecto al paso 4, debe ser en lo posible iguales.

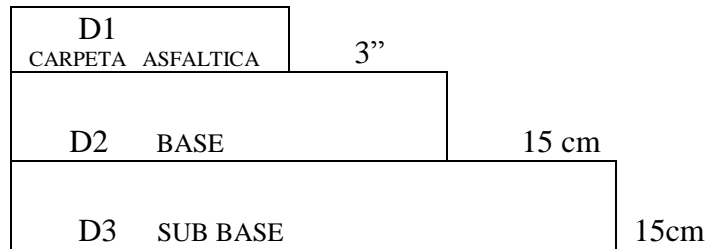
$$SN_{GR} = a_2 D_{2r} m_2 + a_3 D_{3r} m_3$$

$$0.14 \times 5.9 \times 1.00 + 0.11 \times 2.36 \times 1.00 = 1.08 \text{ y } 1.10 \text{ OK.}$$

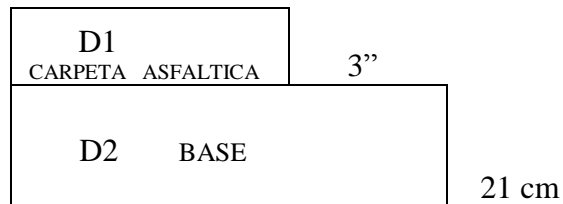
### 3.2 RESULTADO DE ESPESORES

Los resultados obtenidos en ambos diseños son:

Pavimento sin refuerzo según metodología de AASTHO 93



Pavimento reforzado con Geomalla biaxial P-Bx12 según metodología AASTHO 93



## **CAPÍTULO IV**

### **EVALUCIÓN DE RESULTADOS**

- Al emplear el método AASTHO 93 para diseño, nos brinda un diseño confiable debido a la mayor cantidad de parámetros que considera, obteniendo espesores de carpeta asfáltica, base y sub base adecuados a la situación en estudio.
- Los resultados obtenidos en ambos diseños, muestran la reducción de las capas de la estructura del pavimento, respetando los valores mínimos dados por AASTHO 93, y en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados.
- Al reducir el espesor de la estructura del pavimento, se reduce el volumen de excavación, disminuyendo el metrado de corte, en los 500 ml. de pavimento que hemos determinado para el análisis comparativo de costos.
- En los cuadros que se muestran a continuación, se puede determinar la variación del volumen de corte acumulado, visualizándose el corte que requiere, con y sin Geomalla, en cada una de las progresivas del pavimento flexible según el terreno natural.

PAVIMENTO SIN GEOMALLAS

Carpeta 3"  
 Base 0.15  
 Sub base 0.15

PROGRESIVA	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	VOLUMEN DE CORTE PARCIAL (M3)	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO (M3)
0+00					
0+10.21	10.21	7	0.65	46.46	46.46
0+020	9.79	7	0.592	40.57	87.03
0+040	20	7	0.596	83.44	170.47
0+041.35	1.35	7	0.572	5.41	175.87
0+060	18.65	7	0.65	84.86	260.73
0+080	20	7	0.776	108.64	369.37
0+096.15	16.15	7	0.722	81.62	450.99
0+100	3.85	7	0.773	20.83	471.82
0+120	20	7	0.352	49.28	521.10
0+138.40	18.4	7	0.412	53.07	574.17
0+160	41.6	7	0.467	135.99	710.16
0+178.85	18.85	7	0.264	34.83	744.99
0+180	1.15	7	0.489	3.94	748.93
0+200	20	7	0.44	61.60	810.53
0+213.40	13.4	7	0.371	34.80	845.33
0+220	6.6	7	0.454	20.97	866.30
0+240	20	7	0.575	80.50	946.80
0+252.9	12.9	7	0.39	35.22	982.02
0+260	7.1	7	0.516	25.65	1007.67
0+300	40	7	0.549	153.72	1161.39
0+306.7	6.7	7	0.35	16.42	1177.80
0+320	13.3	7	0.459	42.73	1220.53
0+340	20	7	0.449	62.86	1283.39
0+360	20	7	0.489	68.46	1351.85
0+362	2	7	0.429	6.01	1357.86
0+380	18	7	0.444	55.94	1413.80
0+400	20	7	0.375	52.50	1466.30
0+420	20	7	0.378	52.92	1519.22
0+440	20	7	0.316	44.24	1563.46
0+460	20	7	0.281	39.34	1602.80
0+480	20	7	0.368	51.52	1654.32
0+491	11	7	0.55	42.35	1696.67

PAVIMENTO CON GEOMALLAS BIAXIALES

Carpeta 3"

Base 0.21

PROGRESIVA	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	VOLUMEN DE CORTE PARCIAL (M3)	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO (M3)
0+00					
0+10.21	10.21	7	0.56	40.02	40.02
0+020	9.79	7	0.502	34.40	74.43
0+040	20	7	0.506	70.84	145.27
0+041.35	1.35	7	0.482	4.55	149.82
0+060	18.65	7	0.56	73.11	222.93
0+080	20	7	0.686	96.04	318.97
0+096.15	16.15	7	0.632	71.45	390.42
0+100	3.85	7	0.683	18.41	408.82
0+120	20	7	0.262	36.68	445.50
0+138.40	18.4	7	0.322	41.47	486.98
0+160	41.6	7	0.377	109.78	596.76
0+178.85	18.85	7	0.174	22.96	619.72
0+180	1.15	7	0.399	3.21	622.93
0+200	20	7	0.35	49.00	671.93
0+213.40	13.4	7	0.281	26.36	698.29
0+220	6.6	7	0.364	16.82	715.10
0+240	20	7	0.485	67.90	783.00
0+252.9	12.9	7	0.3	27.09	810.09
0+260	7.1	7	0.426	21.17	831.27
0+300	40	7	0.459	128.52	959.79
0+306.7	6.7	7	0.26	12.19	971.98
0+320	13.3	7	0.369	34.35	1006.33
0+340	20	7	0.359	50.26	1056.59
0+360	20	7	0.399	55.86	1112.45
0+362	2	7	0.339	4.75	1117.20
0+380	18	7	0.354	44.60	1161.80
0+400	20	7	0.285	39.90	1201.70
0+420	20	7	0.288	40.32	1242.02
0+440	20	7	0.226	31.64	1273.66
0+460	20	7	0.191	26.74	1300.40
0+480	20	7	0.278	38.92	1339.32
0+491	11	7	0.46	35.42	1374.74



- El volumen acumulado de corte total del pavimento reforzado se redujo en 322 m<sup>3</sup> al del pavimento sin refuerzo.
- El volumen de corte disminuido se refleja en el metrado del presupuesto disminuyendo el costo en la partida de movimiento de tierras.

**PRESUPUESTO DE PAVIMENTACIÓN TRADICIONAL**

item	DESCRIPCIÓN	Und	Metrado	Precio	Parcial	Total
01.00.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS					141546.00
01.01.00	Excavación hasta la sub rasante con equipo	m3	1696.67	7.19	12201.30	
01.02.00	Perfilado y compactado de sub rasante c/equipo	m2	3500	2.93	10259.22	
01.03.00	Conformacion y comp de capa sub base hormigon e=15cm c/ equipo	m2	3500	10.25	35885.02	
01.04.00	Conformacion y compac. de capa base e=15cm c/equipo	m2	3500	11.44	40043.85	
01.05.00	Eliminacion de material excedente c/ máquina e=30%	m3	2205.68	19.57	43156.61	
02.00.00	PAVIMENTOS					150767.46
02.01.00	Imprimacion Asfaltica	m2	3500	3.56	12465.64	
02.02.00	Carpeta Asfaltica en caliente e = 3"	m2	3500	39.51	138301.82	

S/. 292,313.45

**PRESUPUESTO DE PAVIMENTACIÓN ADICIONANDO GEOMALLAS BIAXIALES**

item	DESCRIPCIÓN	Und	Metrado	Precio	Parcial	Total
01.00.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS					102730.76
01.01.00	Excavación hasta la sub rasante con equipo	m3	1374.74	7.19	9886.20	
01.02.00	Perfilado y compactado de sub rasante c/equipo	m2	3500	2.93	10259.22	
01.03.00	Conformacion y compac. de capa base e=21cm c/equipo	m2	3500	13.60	47617.34	
01.04.00	Eliminacion de material excedente c/máquina e=30%	m3	1787.17	19.57	34968.00	
02.00.00	PAVIMENTOS					150767.4595
02.01.00	Imprimacion Asfaltica	m2	3500	3.56	12465.64	
02.03.00	Carpeta Asfaltica en caliente e = 3"	m2	3500	39.51	138301.82	
03.00.00	GEOSINTÉTICOS					
03.01.00	Suministro y colocación de geomalla biaxial	m2	3500	6.45	22574.37	22574.37

S/. 276,072.59

- En el segundo presupuesto, el del pavimento reforzado, se tiene que incluir la partida de geosintéticos, adicionando ese costo al precio total del presupuesto.
- Comparando el costo final de ambos presupuestos, teniendo en cuenta los precios unitarios de cada partida los cuales pueden variar con el tiempo, se puede calcular el ahorro que se obtiene al utilizar las geomallas biaxiales, el cual en este caso es de S/. 16 240.9 del costo directo del presupuesto final para 500 ml. de nuestro pavimento flexible.
- Y si se calcula el ahorro sólo en la partida de movimiento de tierras, la diferencia de costos entre el pavimento tradicional y el pavimento utilizando Geomalla biaxial es de S/. 38 815.2, para nuestros 500 ml. de pavimento proyectado.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

Se consideran las siguientes conclusiones:

- Se pudo confirmar mediante el estudio de suelos, que el suelo presenta buenas características cumpliendo con los requerimientos necesarios quedando factible la construcción del pavimento flexible en la zona de estudio.
- La excavación de las calicatas permitieron definir un tipo de suelo arenoso pobremente graduada (SP), según sistema de clasificación SUCS, hasta la profundidad de 2 m.
- Se determinaron los CBR de diseño, obteniendo para la sub rasante un CBR promedio de 15.5 %, para la base granular de 80% y para la sub base granular de 30%.
- Mediante el estudio de tráfico obtuvimos un EAL de diseño:  $1.26 \times 10^6$ .
- Se determinó un periodo de diseño de 20 años para nuestro proyecto, debido a que el tipo de carretera es pavimentada con bajos volúmenes de tránsito.
- Se obtuvieron los diseños de ambos pavimentos, el pavimento sin reforzar con un espesor de 38 cm. (carpeta asfáltica= 3 plg.; base granular= 15 cm.; y sub base granular= 15 cm.) y el reforzado con Geomallas Biaxiales de 29 cm. de espesor (carpeta asfáltica= 3 plg.; base granular 21 cm.).
- Al emplear la geomalla, se redujo el espesor en 9 cm. menos que el pavimento sin refuerzo. Obteniendo un volumen ahorrado total de 322 m<sup>3</sup> en los 500 metros de pavimento proyectado.
- Al utilizar el diseño reforzado con geomallas se reduce los costos en la partida de movimiento de tierras en S/. 38 815, lo que implica un ahorro del 27.4 % del costo de dicha partida del presupuesto del pavimento sin refuerzo.

- El monto total ahorrado del costo directo utilizando Geomalla Biaxial es de S/.16 240.9, un 5.6% del total de costo directo del presupuesto sin reforzar.
- Nuestro pavimento proyectado es de 500 ml. por 7 m. de calzada; y debido al precio de la Geomalla Biaxial en el mercado, probablemente no sea rentable en pavimentos de menores dimensiones que este.
- Al disminuir el tiempo de ejecución del proyecto, como se explicó en conclusiones anteriores, se está contribuyendo al cuidado del medio ambiente, debido a que la emisión de CO<sub>2</sub> por el uso de maquinarias será en un periodo menor de días, y el proceso de colocación de geomallas biaxiales no tiene ningún efecto contaminante al medio ambiente.

## **CAPÍTULO VI**

### **RECOMENDACIONES**

1. Es importante conocer los beneficios que se obtienen al emplear geosintéticos en diferentes áreas de la construcción.
2. En pavimentos, no sólo es beneficioso utilizar geomallas biaxiales en suelos complejos, o suelos “malos”, sino también en suelos con características favorables debido a que el mejoramiento de la sub rasante es sólo uno de varios beneficios que tienen las geomallas biaxiales al emplearse en pavimentos.
3. Conocer las especificaciones técnicas de cada geosintético a utilizarse, debido a que cada uno cumple con una función distinta, debiéndose seleccionar el geosintético ideal para cada proyecto a realizarse, y de esta manera poder cumplir con su función adecuada y sea lo más beneficioso para el proyecto.
4. En cada obra de construcción, hay que tener en cuenta el cuidado al medio ambiente, y al emplear geomallas biaxiales se ha comprobado que se reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>.
5. Los resultados obtenidos en este trabajo corresponden a un pavimento flexible de pequeña longitud, con la finalidad de comparar en ese pequeño tramo los beneficios al utilizar un geosintético determinado, por esta razón en un pavimento de mayor longitud, siendo más comunes este tipo de proyectos, el porcentaje de ahorro será mayor a los obtenidos capítulos arriba.
6. En el Perú, la falta de normativas en las entidades estatales impiden el uso de esta tecnología y se gastan recursos en movimiento de tierras innecesarios, que atentan contra los presupuestos de inversión pública encareciendo los costos directos e indirectos asociados, restando posibilidades de construir más kilómetros de carreteras en el interior del país. Si se le diera más importancia al uso de estos geosintéticos por parte del estado, seguramente habría más posibilidades de mejorar los caminos de muchas partes del país.

## CAPÍTULO VII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones- Dirección General de Caminos, “ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS – 20000
- Robert M. Koemer, Diseño de geosintéticos.
- Instituto de la Construcción y Gerencia – ICG – “Supervisión en obras de Infraestructura Vial” – 2da Edición.
- GUERRA A., MORI O – “Pavimentación empleando geotextiles y su impacto ambiental, en asentamiento humano La Victoria Distrito Victo Larco Herrera, provincia de Trujillo.
- Departamento de Ingeniería - Geosistemas Pavco S.A. (2009). “Manual de diseño con geosintéticos”. Octava edición. Diseño y diagramación Norte Gráfico.
- Dr. Vences, E. “Refuerzo de base para pavimentos flexibles utilizando geomallas”. Trujillo – Perú. UPAO.
- DIEZ M., NAVARRO J. (2007). “Estudio geotécnico con fines de cimentación y pavimentación”. Capítulo 5 – Pavimentos. Disponible en:  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4Booge4TfZ0J:cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/diez\\_m/pdf/diez\\_m-TH.5.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4Booge4TfZ0J:cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/diez_m/pdf/diez_m-TH.5.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe)
- MONSALVE L., GIRALDO L., MAYA J. (2012). “Diseño de pavimento flexible y rígido”. Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería. Universidad de Quindío. Armenia, Colombia.
- GIROUD, JP AND NOIREYL. (1981). “Geotextile – reinforced unpaved road design”. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 107, 1233 – 1254.
- CORREDOR, G. “Experimento vial de la Aasho y las guías de diseño Astho”. Maestría en vías terrestres. Módulo III. Diseño de Pavimentos I. UNI. Disponible en:  
<https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/aashto-931.pdf>

## CAPÍTULO VIII

### ANEXOS

#### 1. INFORMES DE ENSAYOS PRELIMINARES DE SUELO

A través de estos ensayos pudimos determinar datos que nos brindaron información relevante acerca del tipo de suelo que estamos empleando en la investigación.

- **Ensayos de Proctor modificado:**

#### CALICATA C1

PROCTOR MODIFICADO

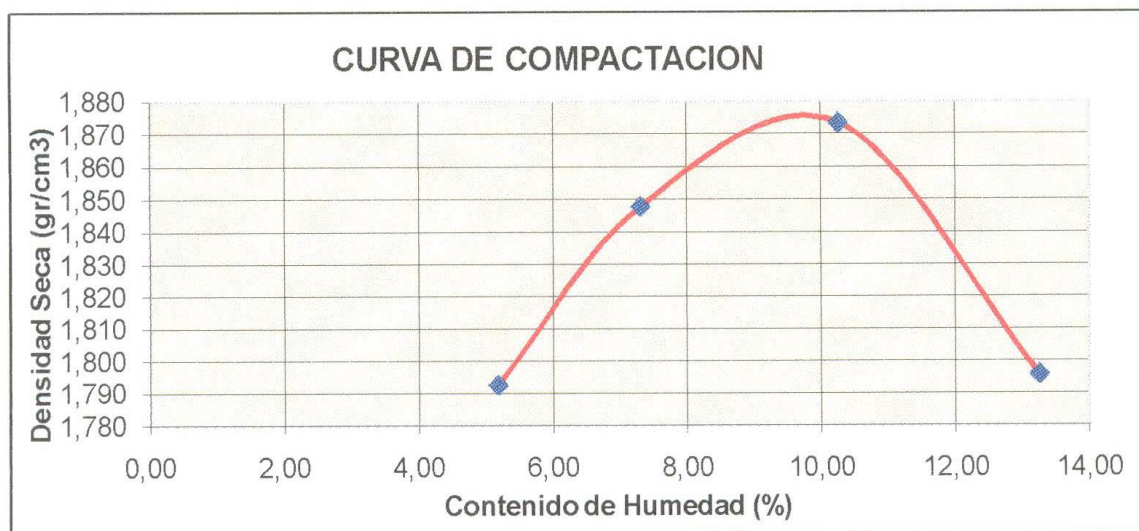
CALICATA: C1

DETERMINACIÓN	N°	1	2	3	4
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	3770	3862	3940	3910
PESO DE MOLDE	gr.	1990	1990	1990	1990
PESO DE LA MUESTRA	gr.	1780	1872	1950	1920
DENSIDAD HUMEDA	gr./cc	1.886	1.983	2.066	2.034
DENSIDAD SECA	gr./cc	1.793	1.848	1.874	1.796

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

TARA	N°	I	II	III	IV
PESO DE LA TARA	gr.	19.02	17.6	20.2	19.72
PESO TARA - SUELO HUMEDO	gr.	82	84.56	86.65	87.32
PESO TARA - SUELO SECO	gr.	78.9	80	80.47	79.41
PESO DEL AGUA	gr.	3.1	4.56	6.18	7.91
PESO DEL SUELO SECO	gr.	59.88	62.4	60.27	59.69
CONTENIDO DE HUMEDAD	gr.	5.18	7.31	10.25	13.25

- Curva de compactación de calicata C-1



### CALICATA C2

PROCTOR MODIFICADO

CALICATA: C2

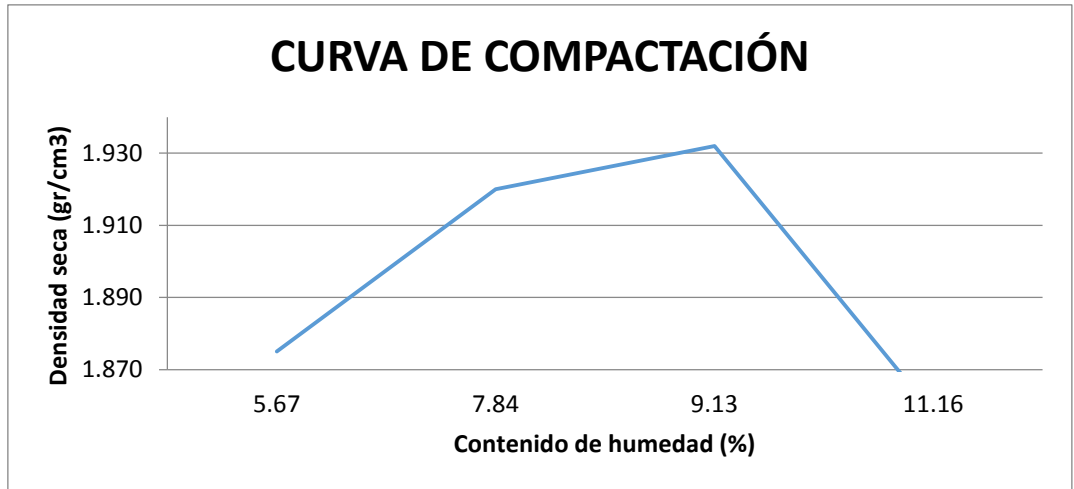
DETERMINACIÓN	N°	1	2	3	4
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	3860	3945	3980	3940
PESO DE MOLDE	gr.	1990	1990	1990	1990
PESO DE LA MUESTRA	gr.	1870	1955	1990	1950
DENSIDAD HUMEDA	gr.	1.981	2.071	2.106	2.066
DENSIDAD SECA	gr.	1.875	1.92	1.932	1.858

### CONTENIDO DE HUMEDAD

TARA	N°	I	II	III	IV
PESO DE LA TARA	gr.	19.02	19.02	19	19.05
PESO TARA - SUELO HUMEDO	gr.	89.44	92.33	87.26	92.38
PESO TARA - SUELO SECO	gr.	85.86	87	81.55	85
PESO DEL AGUA	gr.	3.78	5.33	5.71	7.36
PESO DEL SUELO SECO	gr.	66.64	67.98	62.55	65.95
CONTENIDO DE HUMEDAD	gr.	5.67	7.84	9.13	11.16



- Curva de compactación de calicata C-2



CALICATA C3

PROCTOR MODIFICADO

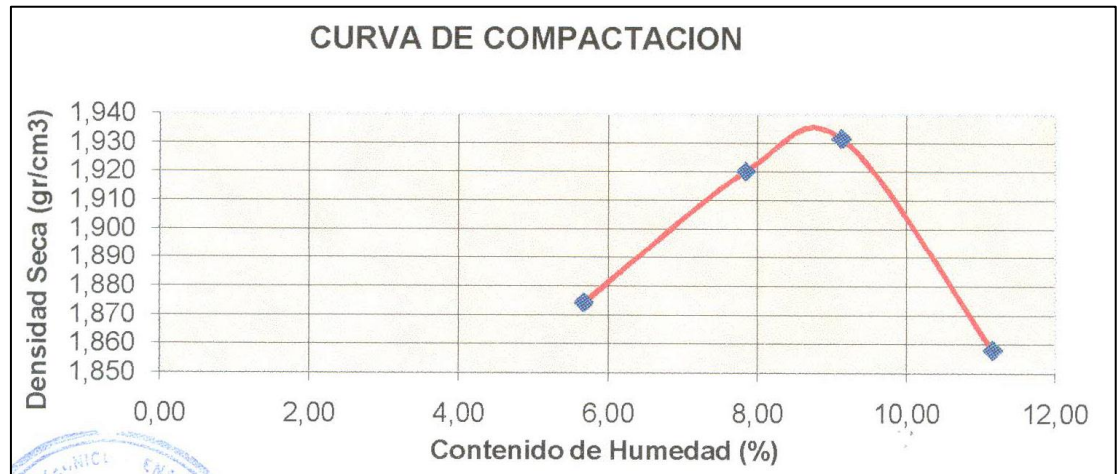
CALICATA: C3

DETERMINACIÓN	N°	1	2	3	4
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	3848	3950	3990	3939
PESO DE MOLDE	gr.	1990	1990	1990	1990
PESO DE LA MUESTRA	gr.	1858	1960	2000	1949
DENSIDAD HUMEDA	gr.	1.968	2.076	2.119	2.065
DENSIDAD SECA	gr.	1.86	1.934	1.936	1.851

CONTENIDO DE HUMEDAD

TARA	N°	I	II	III	IV
PESO DE LA TARA	gr.	19.02	19.04	19.03	19.02
PESO TARA - SUELO HUMEDO	gr.	80.61	79.15	89.03	98.19
PESO TARA - SUELO SECO	gr.	77.22	75.03	83	90
PESO DEL AGUA	gr.	3.39	4.12	6.03	8.19
PESO DEL SUELO SECO	gr.	58.2	55.99	63.97	70.98
CONTENIDO DE HUMEDAD	gr.	5.82	7.36	9.43	11.54

- Curva de compactación C-3



- Ensayos de CBR

## CALICATA C1 – profundidad 2.00 m.

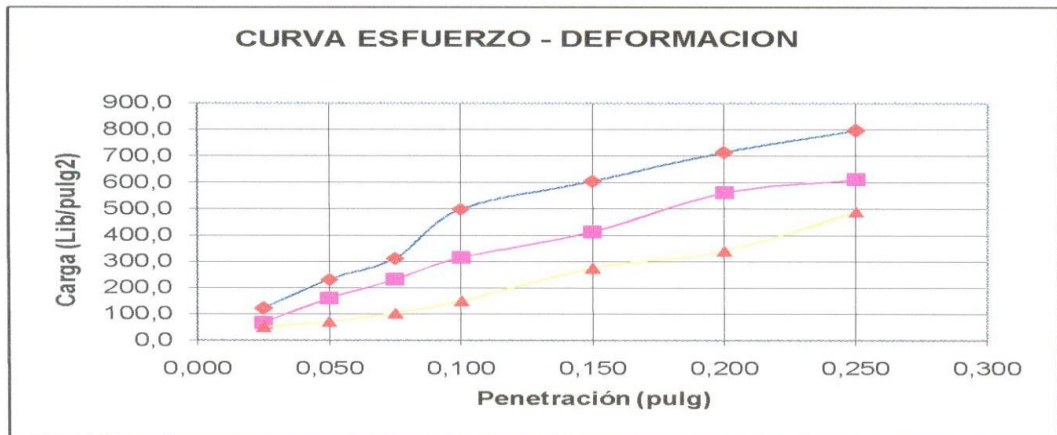
	DETERMINACION	COMP. 56 GOLPES		COMP. 25 GOLPES		COMP. 13 GOLPES	
		MOLDEO	SATURADO	MOLDEO	SATURADO	MOLDEO	SATURADO
1	PESO MOLDE + MUESTRA gr.	9120	12235	9010	12120	8875	11930
2	PESO DEL MOLDE gr.	4175	7165	4175	7165	4175	7165
3	PESO DE LA MUESTRA gr.	4945	5070	4835	4955	4700	4765
4	DENSIDAD HUMEDA gr./cc.	2,336	2,395	2,284	2,341	2,220	2,251
5	DENSIDAD SECA gr./cc.	2,206	2,255	2,157	2,139	2,097	2,059
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
6	PESO DE LA TARA gr.	40,00	36,80	40,00	37,97	40,00	38,50
7	TARA+SUELO HUMEDO gr.	399,40	423,00	399,40	448,30	399,40	434,60
8	TARA +SUELO SECO gr.	379,40	400,40	379,40	413,00	379,40	400,90
9	PESO DEL AGUA gr.	20,00	22,60	20,00	35,30	20,00	33,70
10	PESO DEL SUELO SECO gr.	339,40	363,60	339,40	375,03	339,40	362,40
11	CONT. DE HUMEDAD %	5,89	6,22	5,89	9,41	5,89	9,30

### PENETRACION

PENET. PUL- GADAS	COMP. 56 GOLPES				COMP. 25 GOLPES			COMP. 13 GOLPES		
	LECTURA DIAL	LIBRAS		Libs./Pulg.2	LECTURA DIAL	LIBRAS		LECTURA DIAL	LIBRAS	
		LIBRAS	Libs./Pulg.2			LIBRAS	Libs./Pulg.2		LIBRAS	Libs./Pulg.2
0,025	32	371,8	123,9	15	203,3	67,8	10	153,7	51,2	
0,050	65	698,9	233,0	43	480,8	160,3	16	213,2	71,1	
0,075	89	936,8	312,3	65	698,9	233,0	26	312,3	104,1	
0,100	146	1501,7	500,6	90	946,7	315,6	40	451,1	150,4	
0,150	178	1818,9	606,3	120	1244,0	414,7	78	827,7	275,9	
0,200	211	2146,0	715,3	165	1690,1	563,4	98	1026,0	342,0	
0,250	236	2393,8	797,9	180	1838,7	612,9	143	1472,0	490,7	

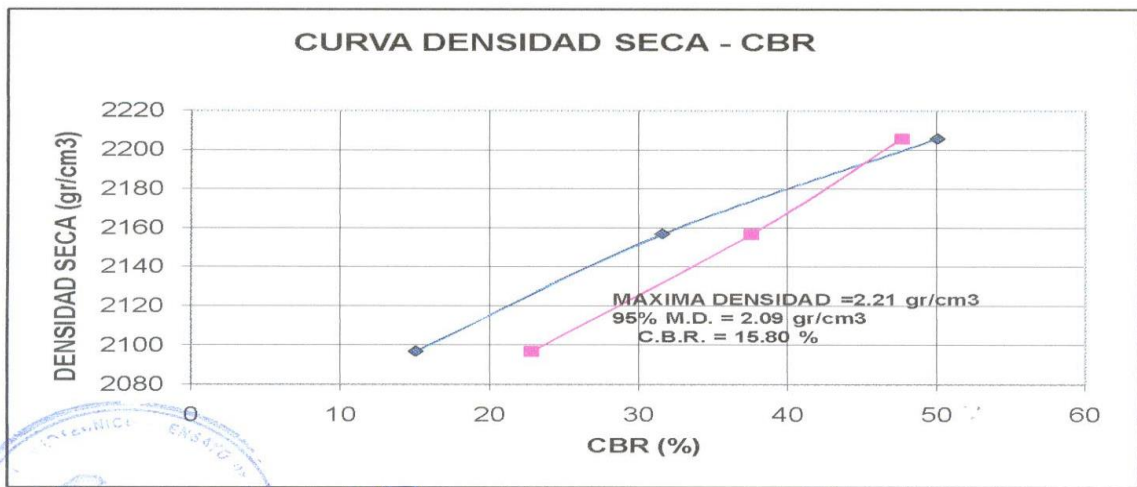
### EXPANSIÓN

HORAS	L. DIAL	mm.	%	L. DIAL	mm.	%	L. DIAL	mm.	%
0,00	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
96,00	0	0	0,00	0	0	0,0	0	0	0,0



Carga Unitaria	Lbs/plg <sup>2</sup>	C.B.R (%)
0.1"	500,6	50,06
0.2"	715,3	47,69
0.1"	315,6	31,56
0.2"	563,4	37,56
0.1"	150,4	15,04
0.2"	342,0	22,8

Densidad Seca(gr/cm3)	2097	2157	2206
Numero de Golpes	13	25	56
C.B.R	0.1"	15,04	31,56
	0.2"	22,8	37,56



CALICATA C2 – Profundidad: 2.00 m.

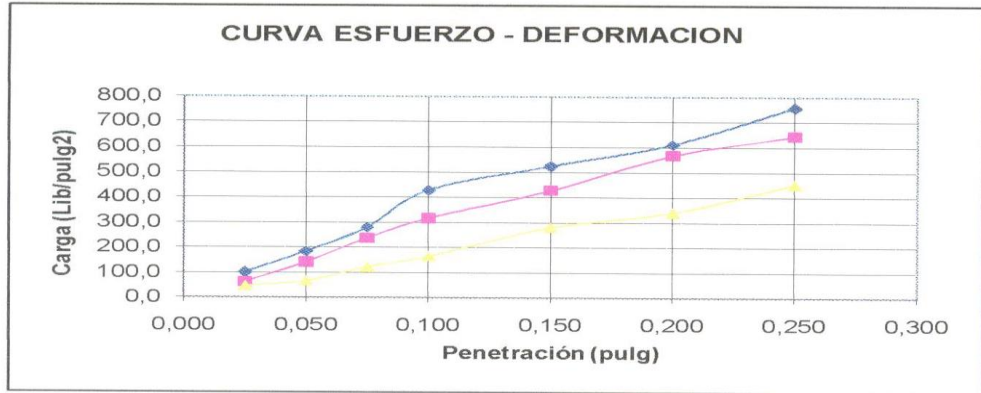
DETERMINACION	COMP. 56 GOLPES		COMP. 25 GOLPES		COMP. 13 GOLPES	
	MOLDEO	SATURADO	MOLDEO	SATURADO	MOLDEO	SATURADO
1 PESO MOLDE + MUESTRA gr.	9130	12100	9050	12130	8900	11930
2 PESO DEL MOLDE gr.	4175	7165	4175	7165	4172	7162
3 PESO DE LA MUESTRA gr.	4955	4935	4875	4965	4728	4768
4 DENSIDAD HUMEDA gr./cc.	2.341	2.331	2.303	2.345	2.233	2.252
5 DENSIDAD SECA gr./cc.	2.211	2.198	2.190	2.143	2.109	2.080
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
6 PESO DE LA TARA gr.	40	38,8	40	37,97	40	38,5
7 TARA + SUELO HUMEDO gr.	398,52	423,7	398,79	448,38	398,99	434,78
8 TARA + SUELO SECO gr.	378,62	401,32	381,2	413,02	379	400,95
9 PESO DEL AGUA gr.	19,90	22,38	17,59	35,36	19,99	33,83
10 PESO DEL SUELO SECO gr.	338,62	364,52	341,20	375,05	339,00	362,45
11 CONT. DE HUMEDAD %	5,88	6,14	5,16	9,43	5,90	9,33

**PENETRACION**

PENET. PUL- GADAS	COMP. 56 GOLPES			COMP. 25 GOLPES			COMP. 13 GOLPES		
	LECTURA DIAL	LECTURA		LECTURA DIAL	LECTURA		LECTURA DIAL	LECTURA	
		LIBRAS	Libs./Pulg.2		LIBRAS	Libs./Pulg.2		LIBRAS	Libs./Pulg.2
0,025	26	312,3	104,1	14	193,4	64,5	9	143,8	47,9
0,050	51	560,1	186,7	38	431,3	143,8	15	203,3	67,8
0,075	80	847,6	282,5	67	718,7	239,6	32	371,8	123,9
0,100	125	1293,6	431,2	91	956,6	318,9	45	500,7	166,9
0,150	154	1581,0	527,0	125	1293,6	431,2	80	847,6	282,5
0,200	180	1838,7	612,9	167	1709,9	570,0	98	1026,0	342,0
0,250	224	2274,8	758,3	190	1937,8	645,9	132	1363,0	454,3

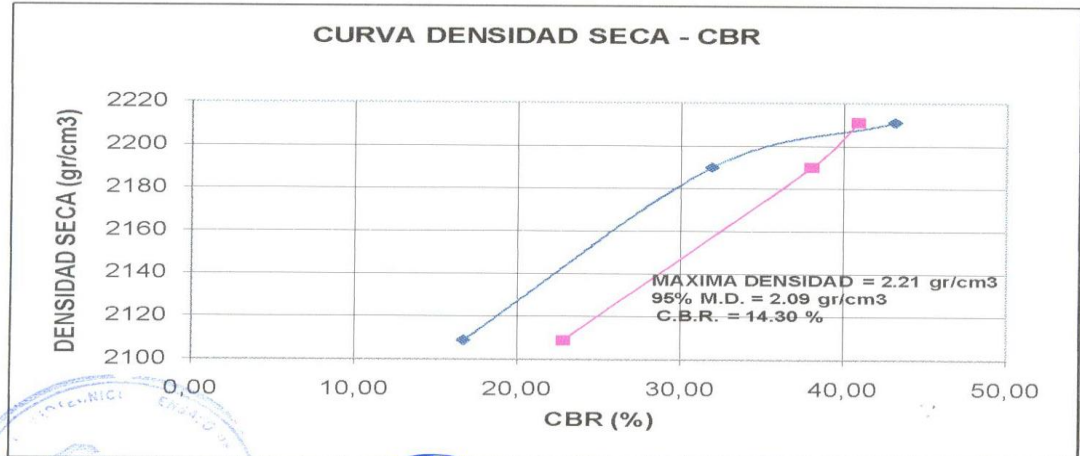
**EXPANSIÓN**

HORAS	L. DIAL	mm.	%	L. DIAL	mm.	%	L. DIAL	mm.	%
0,00	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
96,00	0	0	0,00	0	0	0,0	0	0	0,0



Carga Unitaria	Lbs/plg <sup>2</sup>	C.B.R (%)
0.1"	431,2	43,12
0.2"	612,9	40,86
0.1"	318,9	31,89
0.2"	570,0	38
0.1"	166,9	16,69
0.2"	342,0	22,8

Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2109	2190	2211	
Numero de Golpes	13	25	56	
C.B.R	0.1"	16,69	31,89	43,12
	0.2"	22,8	38	40,86





CALICATA C3 – Profundidad: 2.00 m.

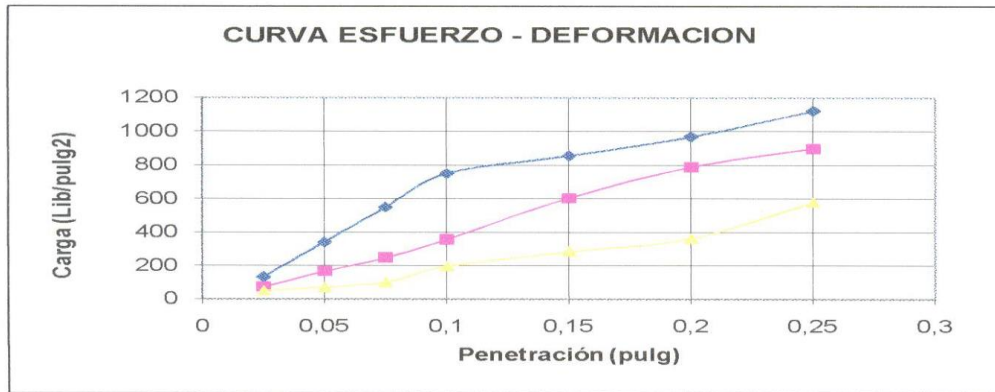
DETERMINACION	COMP. 56 GOLPES		COMP. 25 GOLPES		COMP. 13 GOLPES	
	MOLDEO	SATURADO	MOLDEO	SATURADO	MOLDEO	SATURADO
1 PESO MOLDE +MUESTRA gr.	9210	12240	9145	12123	8885	11920
2 PESO DEL MOLDE gr.	4170	7165	4170	7165	4170	7165
3 PESO DE LA MUESTRA gr.	5040	5075	4975	4958	4715	4755
4 DENSIDAD HUMEDA gr./cc.	2,381	2,397	2,350	2,342	2,227	2,246
5 DENSIDAD SECA gr./cc.	2,249	2,259	2,235	2,140	2,103	2,054
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
6 PESO DE LA TARA gr.	40	36,8	40	37,97	40	38,5
7 TARA+SUELO HUMEDO gr.	398,52	423,7	398,79	448,38	398,99	434,78
8 TARA +SUELO SECO gr.	378,62	401,32	381,2	413,02	379	400,95
9 PESO DEL AGUA gr.	19,90	22,38	17,59	35,36	19,99	33,83
10 PESO DEL SUELO SECO gr.	338,62	364,52	341,20	375,05	339,00	362,45
11 CONT. DE HUMEDAD %	5,88	6,14	5,16	9,43	5,90	9,33

**PENETRACION**

PENET. PUL- GADAS	COMP. 56 GOLPES			COMP. 25 GOLPES			COMP. 13 GOLPES		
	LECTURA DIAL	LIBRAS		LECTURA DIAL	LIBRAS		LECTURA DIAL	LIBRAS	
		Libs./Pulg.2			Libs./Pulg.2			Libs./Pulg.2	
0,025	29	342,1	114,0	16	213,2	71,1	8	133,9	44,6
0,050	65	698,9	233,0	38	431,3	143,8	15	203,3	67,8
0,075	105	1095,4	365,1	65	698,9	233,0	24	292,5	97,5
0,100	165	1690,1	563,4	102	1065,6	355,2	46	510,6	170,2
0,150	195	1987,4	662,5	152	1561,2	520,4	75	798,0	266,0
0,200	234	2374,0	791,3	190	1937,8	645,9	92	966,5	322,2
0,250	252	2552,4	850,8	234	2374,0	791,3	142	1462,1	487,4

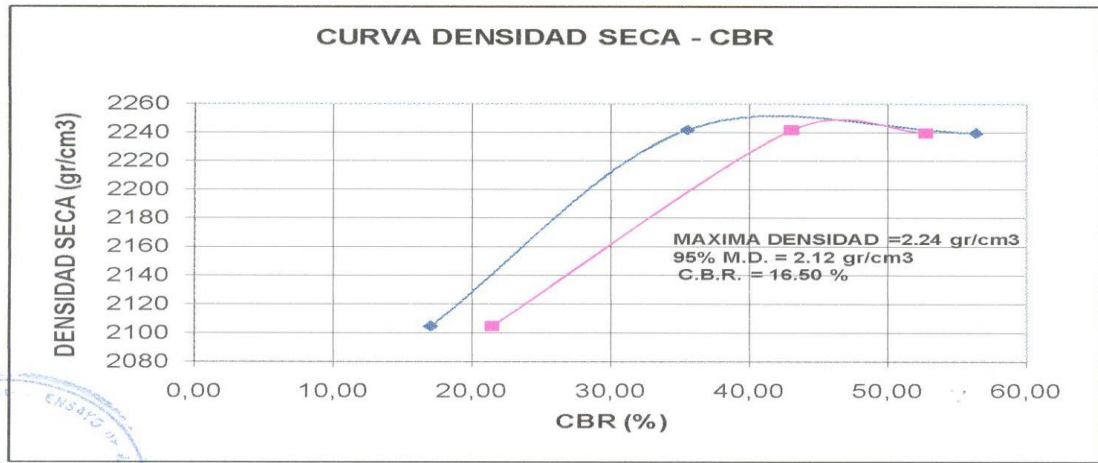
**EXPANSIÓN**

HORAS	COMP. 56 GOLPES			COMP. 25 GOLPES			COMP. 13 GOLPES		
	L. DIAL	mm.	%	L. DIAL	mm.	%	L. DIAL	mm.	%
0,00	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0



Carga Unitaria	Lbs/plg <sup>2</sup>	C.B.R (%)
0.1"	563,4	56,34
0.2"	791,3	52,75
0.1"	355,2	35,52
0.2"	645,9	43,06
0.1"	170,2	17,02
0.2"	322,2	21,48

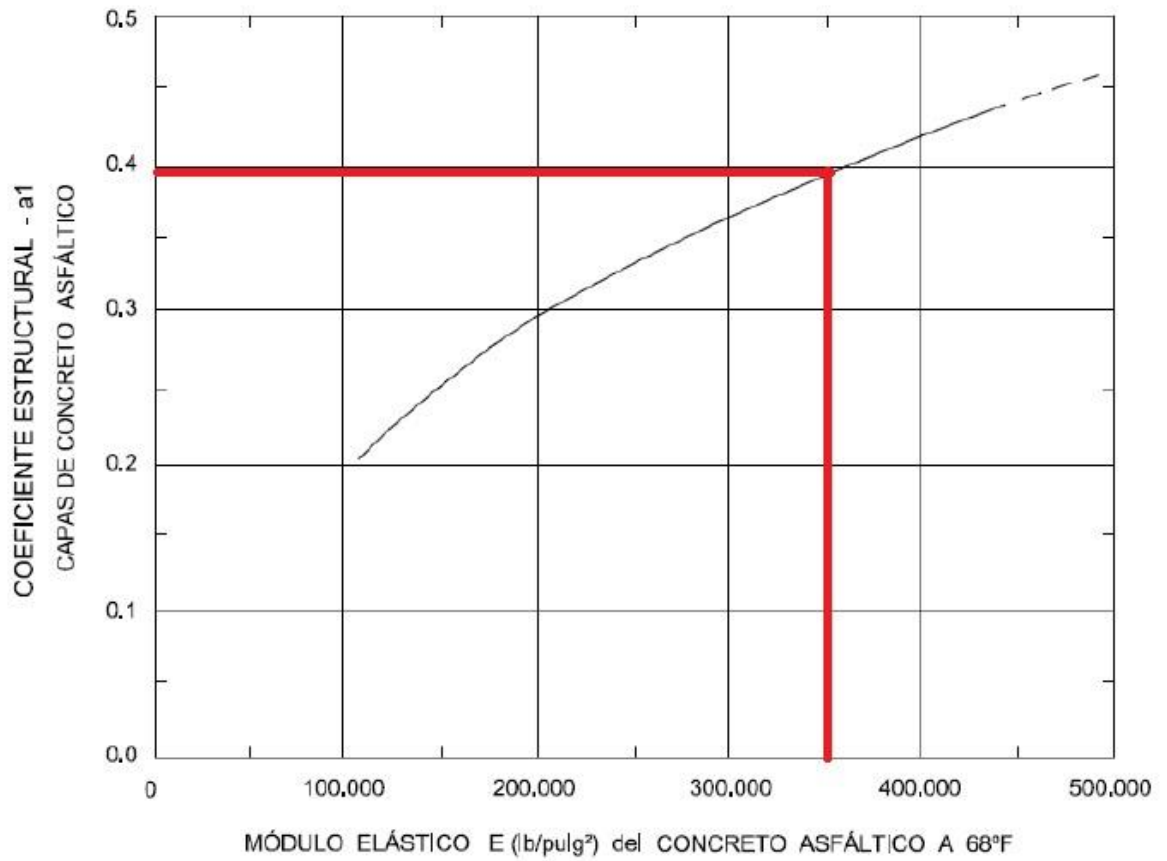
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2105	2242	2240	
Numero de Golpes	13	25	56	
C.B.R	0.1"	17,02	35,52	56,34
	0.2"	21,48	43,06	52,75



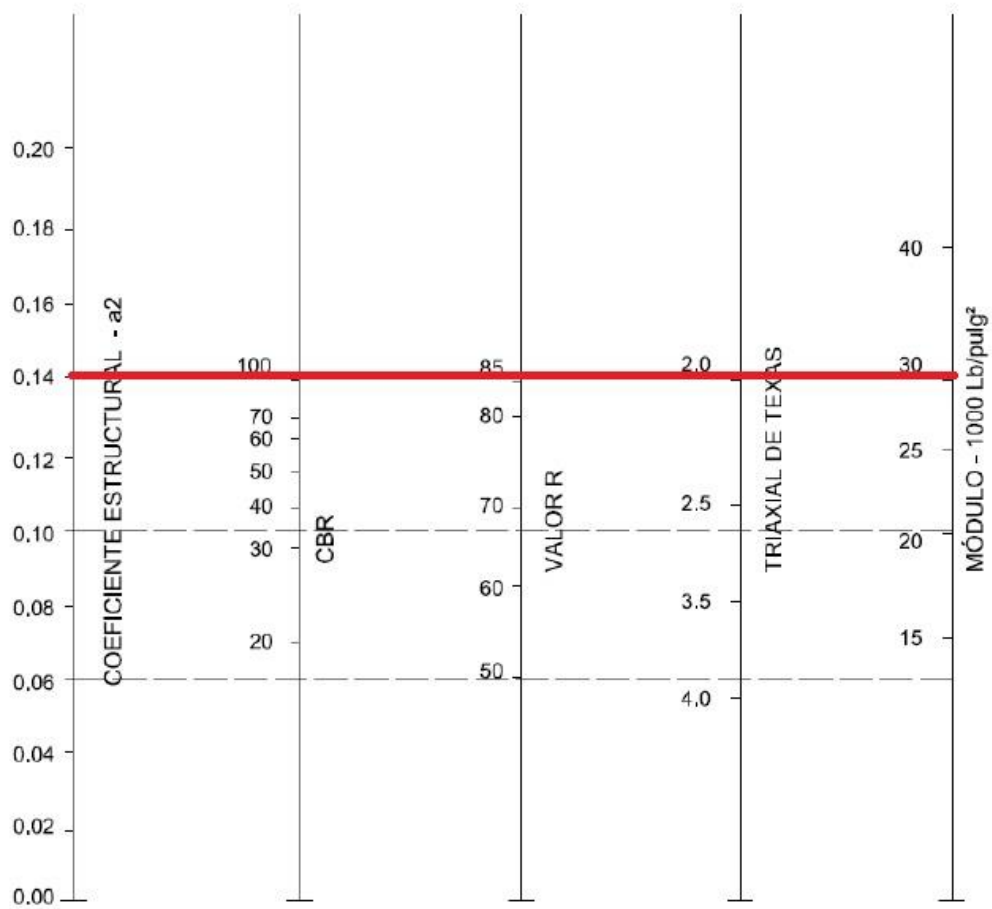


## 2. ABACOS DE DISEÑO

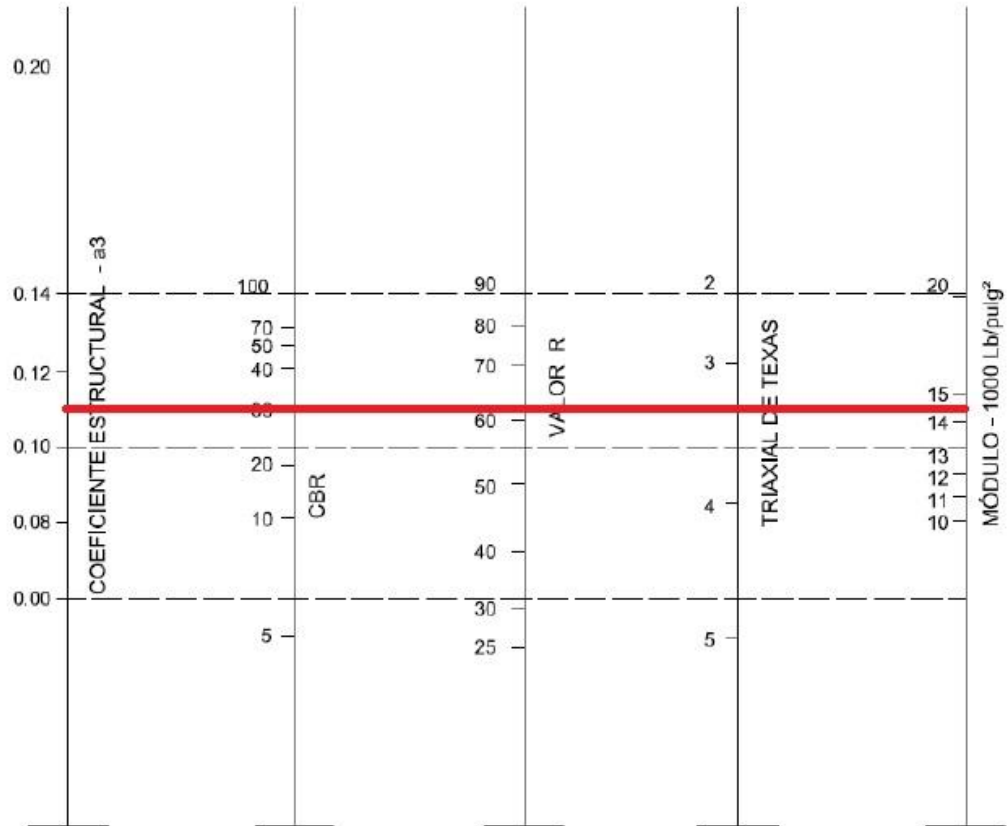
- a. Gráfica donde hallamos  $a_1$  en función en función del módulo resiliente del concreto asfáltico.



b. Gráfica de coeficiente a2, con parámetros de resistencia de la base.



c. Gráfica de coeficiente a3, parámetros de resistencia de la sub base.



### 3. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Se realizó el análisis de precios unitarios para los presupuestos mostrados en el capítulo IV, para poder realizar el análisis comparativo entre un pavimento flexible de forma tradicional y otro pavimento reforzado con geomallas biaxiales.

#### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Presupuesto: "Diseño de pavimento flexible mediante metodología de AASTHO 93 y otro con geomallas biaxiales en el sector Los Laureles I del distrito del Porvenir - Trujillo - Departamento de la Libertad"

Partida	01.01.00	EXCAVACIÓN HASTA LA SUBRASANTE CON EQUIPO			
Rendimiento	m3/Día	MO= 320	EQ= 320	Costo unitario directo por m3:	<b>7.19</b>

Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario	hh	1.000	0.025	18.36	0.46
Peón	hh	1.000	0.025	13.84	0.35
					<b>0.81</b>
Equipos					
Herr. Manuales	%MO		3.000	0.81	0.02
Tractor de Orugas de 140 -160 HP	hm	1.000	0.025	254.48	6.36
					<b>6.39</b>

Partida	01.02.00	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB RASANTE CON EQUIPO			
Rendimiento	m2/Día	MO= 1500	EQ= 1500	Costo unitario directo por m3:	<b>2.93</b>

Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario	hh	1.000	0.0053	18.36	0.10
Peón	hh	4.000	0.0213	13.84	0.29
					<b>0.39</b>
Equipos					
Herr. Manuales	%MO		3	0.39	0.01
RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135HP 10-12T	hm	1.000	0.0053	152.61	0.81

	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.000	0.0053	165.33	0.88
	CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2,000	hm	1.000	0.0053	159.25	0.84
						<b>2.54</b>

Partida	01.03.00	SUB BASE GRANULAR = 0.15				
Rendimiento	m2/Día	MO= 1020	EQ= 1020	Costo unitario directo por m3:		<b>10.25</b>

Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de obra</b>					
Operario	hh	1.000	0.0078	18.36	0.14
Peón	hh	4.000	0.0314	13.84	0.43
					<b>0.58</b>
<b>Materiales</b>					
Material clasificado para sub base	m3		0.2	29.66	5.93
					<b>5.93</b>
<b>Equipos</b>					
<i>RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135HP 10-12T</i>	hm	1.000	0.0078	152.61	1.20
<i>MOTONIVELADORA DE 125 HP</i>	hm	1.000	0.0078	165.33	1.30
<i>CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2,000</i>	hm	1.000	0.0078	159.25	1.25
					<b>3.74</b>

Partida	01.04.00	BASE GRANULAR = 0.15				
Rendimiento	m2/Día	MO= 800	EQ= 800	Costo unitario directo por m3:		<b>11.44</b>

Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de obra</b>					
Operario	hh	1.000	0.0100	18.36	0.18
Peón	hh	4.000	0.0400	13.84	0.55
					<b>0.74</b>
<b>Materiales</b>					
Material clasificado para base	m3		0.2	29.66	5.93
					<b>5.93</b>
<b>Equipos</b>					
<i>RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135HP 10-12T</i>	hm	1.000	0.0100	152.61	1.53
<i>MOTONIVELADORA DE 125 HP</i>	hm	1.000	0.0100	165.33	1.65
<i>CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2,000</i>	hm	1.000	0.0100	159.25	1.59
					<b>4.77</b>

Partida	01.03.00*	BASE GRANULAR = 0.21				
---------	-----------	----------------------	--	--	--	--

Rendimiento	m2/Día	MO= 750	EQ= 750	Costo unitario directo por m3:	<b>13.60</b>	
	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de obra					
	Operario	hh	1.000	0.0107	18.36	0.20
	Peón	hh	4.000	0.0427	13.84	0.59
						<b>0.79</b>
	Materiales					
	Material clasificado para base	m3		0.26	29.66	7.71
						<b>7.71</b>
	Equipos					
	<i>RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135HP 10-12T</i>	hm	1.000	0.0107	152.61	1.63
	<i>MOTONIVELADORA DE 125 HP</i>	hm	1.000	0.0107	165.33	1.77
	<i>CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2,000</i>	hm	1.000	0.0107	159.25	1.70
						<b>5.11</b>
Partida	01.05.00	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE CON MÁQUINA				
Rendimiento	m3/Día	MO= 320	EQ= 320	Costo unitario directo por m3:	<b>19.57</b>	
	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de obra					
	Operario	hh	0.100	0.0025	18.36	0.046
	Peón	hh	2.000	0.0500	13.84	0.692
						<b>0.74</b>
	Equipos					
	<i>CAMION VOLQUETE 4x2 210 HP 20m3</i>	hm	3.000	0.0750	200	15.00
	<i>CARGADOR SOBRE LLANTAS 100-125 HP</i>	hm	1.000	0.0250	153.13	3.83
						<b>18.83</b>
Partida	02.01.00	IMPRIMACIÓN ASFALTICA				
Rendimiento	m2/Día	MO= 1200	EQ= 1200	Costo unitario directo por m3:	<b>3.56</b>	
	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de obra					
	Operario	hh	1.000	0.0067	18.36	0.12
	Peón	hh	3.000	0.0200	13.84	0.28
						<b>0.40</b>
	Materiales					

	Asfalto MC - 30	gal		0.2350	10.15	2.39	
							<b>2.39</b>
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.40	0.01	
	COMPRESORA NEUMATICA125-175 PCM -76 HP	hm	1.000	0.0017	141.50	0.24	
	CAMION IMPRIMADOR 6X2 178-210 HP 1,800 gl	hm	1.000	0.0050	105.20	0.53	
							<b>0.78</b>
Partida	02.02.00	CARPETA ASFÁLTICA CALIENTE DE 3"					
Rendimiento	m2/Día	MO= 1200	EQ= 1200	Costo unitario directo por m3:			<b>39.51</b>
	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de obra						
	Operario	hh	1.000	0.0067	18.36	0.12	
	Peón	hh	10.000	0.0667	13.84	0.92	
							<b>1.05</b>
	Materiales						
	Asfalto MC - 30	gal		0.101	340	34.34	
							<b>34.34</b>
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	1.04	0.03	
	RODILLO TANDEM ESTATIC AUT 58-70HP 8-10T	hm	1	0.0067	118.39	0.79	
	RODILLO NEUMATICO AUTOP. 127 HP 8-23 TON	hm	1	0.0067	132.53	0.89	
	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'	hm	1	0.0067	134.03	0.90	
							<b>2.61</b>
	Subcontratos						
	SC TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA	m3		0.1013	15	1.52	
							<b>1.52</b>
Partida	03.01.00	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GOMALLA BIAxIAL					
Rendimiento	m2/Día	MO= 5000	Costo unitario directo por m3:			<b>6.45</b>	
	Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de obra						
	Oficial	hh	1.000	0.002	15.39	0.03	
	Peón	hh	4.000	0.006	13.84	0.08	
							<b>0.11</b>
	Materiales						
	Geomalla Biaxial BX 12	m2		1.1	5.76	6.34	

					<b>6.34</b>
Equipos					
<i>HERRAMIENTAS MANUALES</i>	%MO	1.000	5%	0.04	0.00
					<b>0.00</b>