

“OPTIMIZACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACIÓN DE GEO-SINTETICOS”

Bach. Anselmo Nuñez Condori.

Universidad Nacional del Altiplano , Puno, ansel.saul79@gmail.com

Ing. Emilio Castillo Aroni.

Asesor, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, castilloaroni@gmail.com

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

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

ABSTRACT: This work is the analysis of the use of geosynthetic (biaxial geogrid) granular subbase as reinforcement in a flexible pavement structure, this is a modern method. This method is being used worldwide for optimize pavement thickness, extending the life of the pavement, roads more economical, efficient and durable communication; in our case it was applied in theoretical form to record a route that is optimal materials construction layers. Keep in mind that the application of geogrid in our country, it is restricted by lack of regulation; but studies in different countries, which are shown full-scale models that serve as a point starting to develop designs suitable for our country.

KEYWORDS: Geosynthetic, biaxial geogrid, pavement thicknesses, Optimize.

1 INTRODUCCIÓN

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

referencial en la que, se demostrarán las bondades de la utilización de geomalla y así incentivar el uso de las mismas por la comunidad de ingenieros.

2 PROCESO METODOLOGICO.

2.1 Objetivo General.

Evaluar el espesor de la base y subbase de una carretera con la aplicación de geosintéticos, conociendo sus propiedades físico-mecánicas, y así optimizar el costo, el tiempo de construcción, analizando la

consecuencia positiva y negativa que generará a lo largo del tiempo.

2.1 Hipotesis General.

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

2.2 Metodología.

2.2.1 Diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas biaxiales.

El método AASHTO 93 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinada capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad.

Primero se procede a calcular el número estructural según metodología AASHTO 93 de la estructura.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Utilizando la ecuación del número estructural (SN) y con los valores de coeficientes ya obtenidos, se obtiene el número estructural de la estructura original o sin refuerzo. Los espesores de cada capa deben manejarse en pulgadas.

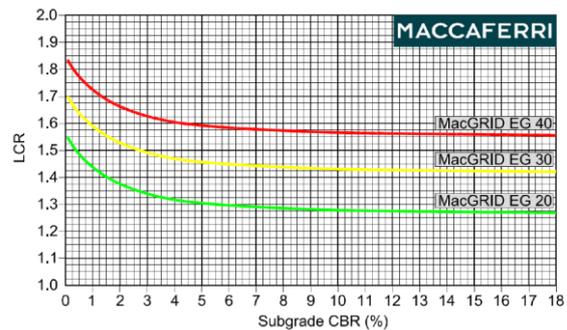
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Segundo, se calcula la estructura sustituyendo la base granular. Con el número estructural inicial, se realiza una sustitución de la base granular por subbase granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial. Este nuevo espesor se denomina D_3' .

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D_3' m_3$$

Tercero, se calcula de nuevo el espesor de la capa de subbase con refuerzo. Empleando una geomalla MacGRID EG de 40 KN/m, en este caso aportado por la geomalla biaxial para una subrasante con CBR = 10%, se obtiene de la figura 1, un valor de LCR o coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura de:

Figura 1. Coeficiente de relación de Maccaferri EG Geogrids: LCR vs. CBR de la Subrasante.



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

$$SN_r = SN$$

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

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

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

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

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

Sexto, Como la estructura seguirá manteniendo la misma conformación de

materiales de base y subbase, se deben calcular los nuevos espesores de dichas capas en función del número estructural de la capa de subbase obtenido en el paso anterior y con sus coeficientes de capa respectivos.

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

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

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

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

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

3 RESULTADO

3.1 Análisis teórico de las características los geosintéticos (geomalla biaxial).

El tipo de geosintético a estudiar y aplicar en la presente tesis es la Geomalla Mac Grid EGB 40, por que tiene las características idóneas para la aplicación en el diseño de pavimento de la subbase granular y mas no

de base granular por que esta tiene un espesor ya mínimo establecido (15cm) el cual la teoría y las experiencias de los investigadores nos indica que no deber ser menor de lo mencionado. Por ello se hace el ensayo únicamente en la subbase granular.

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

- **Material:** La mayoría de los geosintéticos se compone principalmente de polímeros (estas a su vez se componen de monómeros), en menor medida por aditivos. El aumento de peso molecular provoca un aumento en la resistencia a la tracción, al impacto y al calor, conduciendo a una reducción de la deformabilidad del material y de los efectos de fluidez.

- El polipropileno es muy resistente y puede ser utilizado en ambientes extremos, como los rellenos sanitarios. (lo que necesitamos un material que se aplicara en terreno granular.)

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

El análisis de las geomallas biaxiales se realiza mediante ensayos de laboratorio. Se hizo la aplicación de geomalla biaxiales a

diferentes alturas en la prueba de CBR (figura 2.).

Se logró estudiar el material de la subbase y se comprobó que este material está dentro de los parámetros que establece la normativa en nuestro país (ver tabla 1) con este resultado se puede decir que las características físico-mecánicas del material de subbase son buenas, luego se procede a hacer el CBR con geomalla biaxial, primero a una altura cero, después otro CBR a una altura de 2.5cm, otro a 5.0 cm, 7.5cm y 10cm (ver figura 3). Este ensayo se hace tres veces para tener certeza en lo realizado.

Figura 2. Sistema de prueba de CBR con geomalla.

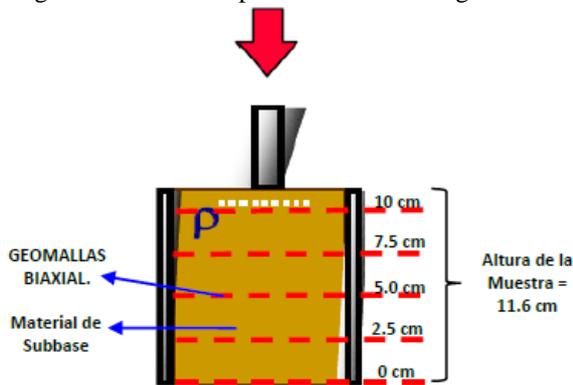
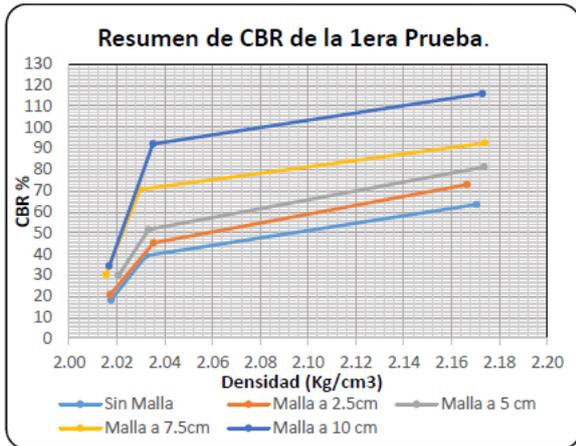


Figura 3. Resultado de la prueba CRB con geomalla.



3.3 Resumen de las propiedades física-mecánicas de material subbase.

Cuando se hizo el estudio del material de la Subbase y fueron sometido a diferentes ensayos en laboratorio de Mecánica de Suelos, este material cumplió con las

normativas de nuestro país, lo que indica la valides del material subbase y así cumpliendo las características física-mecánicas (ver tabla 1)

Tabla 1. Ensayos de laboratorio de material subbase.

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos de la norma peruana.	
		Resultado final	≥ 3000 m.s.n.m
Abrasión	MTC E 207	29.99%	50% máx.
CBR	MTC E 132	62.27%	40% min.
Limite Líquido.	MTC E 110	20.4%	25% máx.
Índice de plasticidad.	MTC E 111	3.64%	4% máx.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	19.15%	20% máx.

3.4 Analisis estructural de pavimento flexible con geomallas y sin geomallas.

Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla biaxial Espesor de la estructura reducido, Subbase: 15 cm lo que equivale a un 75% de ahorro en espesor (ver tabla 2).Según el ejemplo, las geomallas biaxiales funcionan como material de refuerzo, en este caso su aporte es a la estructura, que genera una reducción de espesor de material granular subbase.

Tabla 2. Resultado de diseno de pavimento con geomalla.

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

3.5 Análisis de diseños tradicionales y la propuesta en función de costos.

En la tabla 3 encontramos un cuadro resumen del análisis realizado de la capa

subbase granular, además de ello encontramos en el cuadro una fila de metrados. Estos metrados son referente a la subbase granular tradicional de e=20cm.” Sin geomalla biaxial”

Tabla 3. Analisis de diseno de pavimento con geomalla.en funcion de costos.

Capa	Subbase de espesor de 20cm “Sin geomalla”.		
CAPA DE SUBBASE	Vol. de material subbase granular (m3)	Trans. de material subbase para D<= 1km (m3k)	Trans. de material subbase para D>1km (m3k)
Metrado	60,955.98	76,194.98	1,747,962.30
Precio unitario (s/.)	26.13	3.78	0.66
Parcial (s/)	1,592,779.76	288,017.02	1,153,655.12
Total (s/)	3,034,451.90		
Capa	Subbase de espesor de 5cm “Con geomalla biaxial”.		
CAPA DE SUBBASE	Vol. de material subbase granular (m3)	Trans. de material subbase para D<= 1km (m3k)	Trans. de material subbase para D>1km (m3k)
Metrado	14,830.64	18,538.30	425,454.24
Precio unitario (s/.)	135.62	3.78	0.66
Parcial (s/)	2,011,331.40	70,074.78	280,799.79
Total (s/)	2,362,205.97		
Ahorro (s/)	672,245.93		
Ahorro (%)	22.15 %		

3.6 Análisis de diseños tradicionales y la propuesta en función de tiempo

De acuerdo al tiempo reducido es producto de la base-subbase, por ese motivo analizaremos solo es parida mediante la barra de tiempos (ver, tabla.4), en donde encontraremos que la subbase y base es influido por el tiempo de la subbase granular (120 días); ahora, cuando hace influencia la geomalla biaxial, el tiempo que influirá es de

la base granular (90 días), lo será este nuevo tiempo para la ruta crítica. Con este resultado se hace un ahorro de tiempo de 30 días (5.5%) respecto al proyecto.

Tabla 4. Analisis de diseno de pavimento con geomalla.en funcion de tiempo.

		ANALISIS DE PARTIDA INFLUYENTE	TIEMPO DE EJECUCION
¿INFLUENCIA DE LA GEOMALLA BIAxIAL?	NO	SUB BASE Y BASE	120 días
		Sub base granular	120 días
		Base granular	90 días
	SI	SUB BASE Y BASE	90 días
		Sub base granular	30 días
		Base granular	90 días
		Ahorro en días (diferencia de barras de color verde): 120 - 90 = 30 días	
		Ahorro (%) = 5.55 %	

3.7 Analisis del efecto que genera la geomalla biaxial en la construcción de pavimento en general.

Se debe tener en cuenta que todos los análisis que general la geomalla biaxial son respecto al costo directo del proyecto.

a. Menor impacto ambiental.

a.1. Menor explotación de canteras.

Uno de los puntos de análisis es la subpartida de “extracción de cantera y apilamiento de material para subbase” (tabla VI.15), donde se muestra claramente el costo por m3 es de 5.83 soles, dentro ellos se encuentra el costo de material de cantera que va ser explotada (con un costo de 0.6 soles por m3).

a.2. Menor consumo de agua para la subbase.

Cuando se hace la conformación de la capa subbase granular sin aplicación de geomallas biaxiales el uso de de material es el 100% y el uso del agua también es el 100%. Pero al aplicar la geomalla biaxial el material de construcción de la capa subbase granular se reduce a un 24.3%, es decir hay un ahorro de 75.7%, de igual manera el consumo de agua se reduce a un 24.3% para la coformacion de capa subbase granular ahorrando un 75.7%.

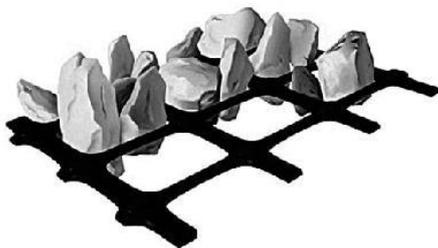
b. Genera el uso de mano de obra no calificada.

Para la aplicación de la geomalla biaxial puede hacer cualquier personal obrero de la zona, así generando indirectamente más empleo para los pobladores de la zona.

4 DISCUSION.

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

Figura 4.: Geomalla biaxial.

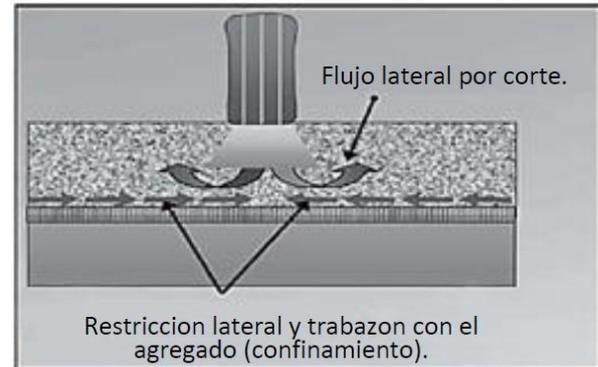


En las obras de ingeniería en cuya función principal del geosintético (geomalla biaxial) es la de refuerzo existen variaciones en los tipos de solicitaciones en cuanto a la intensidad, tiempo de duración, mecanismo de interacción suelo-refuerzo, niveles de deformación, etc. Exigiendo estudios diferenciados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

4.1 Confinamiento lateral de la base o subbase: Este confinamiento se logra a través de la fricción y trabazón de la

geomalla biaxial con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla biaxial. (

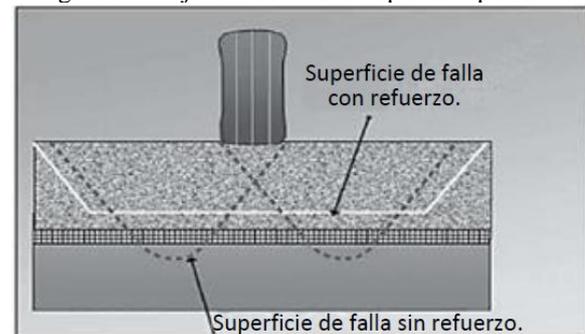
Figura 5.: Confinamiento lateral con geomalla biaxial.



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

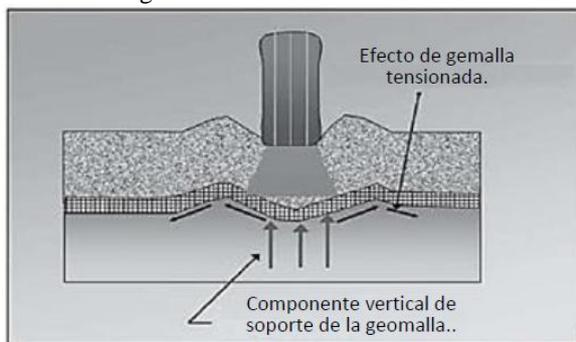
4.3 Mejoramiento de la capacidad portante: Este mejoramiento se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia, este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante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

Figura 6.: Mejoramiento de la capacidad portante.



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

Figura 7.: Membrana tensionada.



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

- Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase.
- Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo.
- Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante.
- Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante.

5 CONCLUSIONES.

- Teniendo en cuenta que se debe hacer una máxima reducción de espesores de capas de pavimentos sobre un terreno de subrasante de CBR del 10%. La teoría estudiada sobre los geosintéticos (clasificación y aplicación) hace que

optemos por el uso de la geomalla biaxial MacGrid EGB 40 (material de polipropileno), puesto que este geosintético tiene propiedades físico-mecánicas ideales para mejorar la función estructural de la subbase (trabajan en dos direcciones). Así lo demuestra los ensayos de CBR, a una altura de 2.5cm un CBR promedio = 71.47% y una altura de 10cm un CBR promedio = 114.87%, logrando así una capa de subbase de mejor calidad y funcionalidad estructuralmente.

- La capa base granular no se reduce en lo absoluto ($e = 15\text{cm}$) debido a su función estructural, es decir el no intervienen, no genera variación alguna la optimización (en costo y tiempo). Pero en la capa subbase granular, se realizó los cálculos con aplicación de geomalla biaxial MacGrid EGB 40, y por ello existe una reducción de espesor de 20cm a 5cm (ahorrando un 75% en material granular de subbase) lo que conlleva a la optimización de costo en 22.15% (ahorro de 672,245.93 soles) respecto al costo inicial y respecto al tiempo de aplicación, en la subbase el tiempo de aplicación es 30 días, lo que genera un tiempo de transporte material de subbase $D \leq 1\text{KM}$ (m3k) igual a 22 días y tiempo de transporte $D > 1\text{KM}$ (m3k) igual a 20 días, generando una optimización de tiempo (5.5% = 30 días) respecto a la programación en obra.
- La evaluación es positiva, pues lo que causa el uso de las geomallas en la construcción del pavimento (subbase) nos muestra un menor impacto ambiental, es decir, menor explotación de canteras (ahorro 75.7%), es decir un ahorro de 57,656.68 m³ de material subbase, equivalente a un ahorro de 34,594.00 soles y menor consumo de agua para la conformación de la subbase granular (ahorro de 75.7 %, equivalente a la conformación de la capa subbase), así mismo genera el uso de mano no

calificada (trabajando el personal propio de la zona). Respecto a la evaluación a lo largo del tiempo, se hace a través de experiencias de ingenieros, mencionando que las geomallas pueden durar más de 30 años en vías (una vía se diseña generalmente para 20 años)., otro ingeniero menciona que se puede ahorrar a lo largo del tiempo en mantenimiento un 37% de costo.

REFERENCIAS

- BORJA SUÁREZ, M. (2012). *Metodología De La Investigación Científica Para Ingenieros*. Chiclayo.
- CABALLEROS TORRES, E. A. (2006). *Utilización De La Geomalla Como Refuerzo De La Estructura Del Pavimento Flexible*. Universidad De San Carlos De Guatemala - Facultad De Ingeniería, Guatemala.
- CHACON JIMBO, J. T. (2012). *Uso De Geomateriales Para Reforzamiento*. Universidad De Cuenca - Escuela De Ingeniería Civil, Cuenca.
- M.Sc. Ing. MENENDEZ ACURIO, J. R. (2009). *Ingeniería De Pavimentos Materiales, Diseño Y Construcción*. Lima, Peru: Publicaciones ICG.
- MACCAFERRI. (2012). *Reference Manual - Macread 2.0 AASHTO*. E.E.U.U.: Maccaferri.
- GEOSISTEMAS PAVCO DE MEXICHEM. (2009). *Manual De Diseño Con Geosintéticos*. Bogotá D.C. - Colombia: Publicaciones ZETTA COMUNICADORES S.A.
- ORREGO CABANILLAS, D. A. (2014). *Análisis Técnico-Económico Del Uso De Geomallas Como Refuerzo De Bases Granulares En Pavimentos Flexibles*. Pontificia Universidad Católica Del Perú - Facultad De Ciencias E Ingeniería, Lima.
- ROBLES VIVES, D. (2016). *Aplicación De Geomallas En Vías*. *Revista Especializada De Peruvias*, 4.
- S. MINAYA & A. ORDOÑEZ. (2005). *Diseño, Construcción Y Supervisión De Proyectos En Pavimentos Asfálticos*. Lima: Publicaciones CENCA propen.
- TENSAR, E. (2009). *Sistema De Mejoramiento De Carreteras. Geomallas De Tensar*, 20.