**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DEL DISEÑO CON MÉTODO AASHTO Y EL DISEÑO CON USO DE GEOMALLA MULTIAXIAL EN EL PAVIMENTO RÍGIDO DE LA VIA DE EVITAMIENTO NORTE, ENTRE EL JR. CARLOS MALPICA Y LA AV. HOYOS RUBIO – SECTOR 10 SAN ANTONIO, PROVINCIA CAJAMARCA-CAJAMARCA.**

**TESIS**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Presentado por:**

**Bach. FLOR KARINA REBAZA CASTREJÓN**

**Asesor**

**ING. ALEJANDRO CUBAS BECERRA**

**Cajamarca, septiembre de 2018**

# AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por la vida y oportunidad de permitirme cumplir mis objetivos profesionales y personales.*

*A mi asesor Ing. Alejandro Cubas Becerra, por sus conocimientos, orientación, tiempo y apoyo constante en el desarrollo de la presente investigación.*

*A mis padres y hermanos que a lo largo de mi carrera siempre estuvieron presentes con sus consejos, ánimos, conocimiento y apoyo incondicional.*

*A los ingenieros, profesores de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad de Nacional de Cajamarca que contribuyeron en mi formación académica y por ende a la elaboración de la presente tesis.*

*Al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, instalaciones en las que se ha llevado a cabo los ensayos necesarios para el desarrollo de tesis.*

*Al Ing. Fernando Cortes de la empresa Tensar International Corporation por su apoyo en la elaboración de la tesis.*

*Finalmente agradecer por el apoyo y colaboración de mis familiares, amigos(as) y compañeros(as) de estudio, y a todas aquellas personas que me brindaron aliento y depositaron su confianza en mí.*

# DEDICATORIA

*A Dios y la Santísima Virgen María por las bendiciones recibidas*

*A mis padres Consuelo y José, por su incondicional apoyo, trabajo, valores, amor y sacrificios para mi crecimiento personal y profesional. Es una bendición ser su hija.*

*A mis hermanos Jorge y William por su apoyo, paciencia, conocimiento, por su ejemplo de superación y amistad.*

*A mi esposo Javier por su amor y comprensión, por su apoyo en la elaboración de la tesis y a Gabrielito.*

*Son mi motivación mis alajos.*

*A mi familia en general por hacer posible el cumplimiento de mis metas.*

ÍNDICE GENERAL

[AGRADECIMIENTOS i](#_Toc524189879)

[DEDICATORIA ii](#_Toc524189880)

[RESUMEN vii](#_Toc524189881)

[ABSTRACT viii](#_Toc524189882)

[CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 1](#_Toc524189883)

[**1.1.** **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA** 1](#_Toc524189884)

[**1.2.** **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA** 1](#_Toc524189885)

[**1.3.** **HIPÓTESIS** 2](#_Toc524189886)

[**1.4.** **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN** 2](#_Toc524189887)

[**1.5.** **DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN** 2](#_Toc524189888)

[**1.6.** **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN** 2](#_Toc524189889)

[**1.7.** **DEFINICIÓN DE VARIABLES** 3](#_Toc524189890)

[CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 4](#_Toc524189891)

[**2.1.** **ANTECEDENTES TEÓRICOS** 4](#_Toc524189892)

[**2.1.1.** **A nivel Internacional** 4](#_Toc524189893)

[**2.1.2.** **A nivel Nacional** 4](#_Toc524189894)

[**2.1.3.** **A nivel Local** 5](#_Toc524189895)

[**2.2.** **BASES TEÓRICAS** 7](#_Toc524189896)

[**2.2.1.** **PAVIMENTO** 7](#_Toc524189897)

[**2.2.1.1.** **DEFINICIÓN** 7](#_Toc524189898)

[**2.2.1.2.** **TIPOS DE PAVIMENTO** 7](#_Toc524189899)

[**2.2.1.3.** **ELEMENTOS QUE CONFORMAN PAVIMENTO RÍGIDO** 8](#_Toc524189900)

[**2.2.2.** **GEOSINTÉTICOS** 10](#_Toc524189901)

[**2.2.2.1.** **DEFINICIÓN** 10](#_Toc524189902)

[**2.2.2.2.** **COMPONENTES DE LOS GEOSINTÉTICOS** 10](#_Toc524189903)

[**2.2.2.3.** **CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS** 12](#_Toc524189904)

[**2.2.2.4.** **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GEOMALLA** 21](#_Toc524189905)

[**2.2.3.** **DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASHTO** 23](#_Toc524189906)

[**2.2.3.1.** **DETERMINACIÓN DE ESPESOR DE LOSA** 23](#_Toc524189907)

[**2.2.3.2.** **REQUERIMIENTO DE SUBBASE GRANULAR** 28](#_Toc524189908)

[**2.2.3.3.** **REPORTE DE USO DE GEOMALLAS TENSAR PARA EL MEJORAMIENTO DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE SUB-RASANTE:** 30](#_Toc524189909)

[**2.3.** **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS** 32](#_Toc524189910)

[CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS 33](#_Toc524189911)

[**3.1.** **UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO** 33](#_Toc524189912)

[**3.2.** **METODOLOGÍA** 34](#_Toc524189913)

[**3.3.** **PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS** 35](#_Toc524189914)

[**3.3.1.** **ESTUDIO TOPOGRÁFICO** 35](#_Toc524189915)

[**3.3.2.** **ESTUDIO DE TRÁFICO** 35](#_Toc524189916)

[**3.3.3.** **ESTUDIO DE SUELO** 35](#_Toc524189917)

[**3.3.3.1.** **OBTENCIÓN EN LABORATORIO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS (CUARTEO) - MTC E 105** 35](#_Toc524189918)

[**3.3.3.2.** **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - MTC E 107** 36](#_Toc524189919)

[**3.3.3.3.** **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO - MTC E 108** 37](#_Toc524189920)

[**3.3.3.4.** **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - MTC E 110** 38](#_Toc524189921)

[**3.3.3.5.** **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.) - MTC E 111** 39](#_Toc524189922)

[**3.3.3.6.** **COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) - MTC E 115** 39](#_Toc524189923)

[**3.3.3.7.** **CBR DE SUELOS (LABORATORIO) - MTC E 132** 40](#_Toc524189924)

[**3.3.3.8.** **ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.) - MTC E 207** 42](#_Toc524189925)

[**3.3.4.** **SELECCIÓN DE CANTERA** 44](#_Toc524189926)

[**3.3.5.** **CLASIFICACIÓN DE VÍA** 46](#_Toc524189927)

[CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 47](#_Toc524189928)

[**4.1.** **DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASTHO** 47](#_Toc524189929)

[**4.2.** **PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASTHO** 64](#_Toc524189930)

[**4.3.** **COMPARACIÓN TÉCNICA** 65](#_Toc524189931)

[**4.4.** **COMPARACIÓN ECONÓMICA** 65](#_Toc524189932)

[**4.5.** **CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS** 66](#_Toc524189933)

[CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67](#_Toc524189934)

[**5.1.** **CONCLUSIONES** 67](#_Toc524189935)

[**5.2.** **RECOMENDACIONES** 67](#_Toc524189936)

[REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 68](#_Toc524189937)

[ANEXOS 72](#_Toc524189938)

[ANEXO A: PUNTOS OBTENIDOS EN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 72](#_Toc524189939)

[ANEXO B: ESTUDIO DE TRÁFICO 72](#_Toc524189940)

[ANEXO B.1. CONTEO DE VEHÍCULOS 72](#_Toc524189941)

[ANEXO B.2. DETERMINACIÓN DE ESAL´S 72](#_Toc524189942)

[ANEXO C: LONGITUDINAL DE LA SIERRA NORTE. PE-3N 72](#_Toc524189943)

[ANEXO D: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE MATERIAL DE CALICATAS 72](#_Toc524189944)

[ANEXO E: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE MATERIAL DE CANTERA RUMICUCHO PARA SUBBASE GRANULAR 72](#_Toc524189945)

[ANEXO F: ÁREAS DE INUNDACIÓN DE CAJAMARCA 72](#_Toc524189946)

[ANEXO G: METRADO Y PRESUPUESTO - PAVIMENTO RÍGIDO 72](#_Toc524189947)

[ANEXO G.1: METRADO PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASTHO SIN REFORZAMIENTO 72](#_Toc524189948)

[ANEXO G.2: PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASTHO SIN REFORZAMIENTO 72](#_Toc524189949)

[ANEXO G.3: METRADO PAVIMENTO RÍGIDO –MÉTODO AASHTO CON USO DE GEOMALLA 72](#_Toc524189950)

[ANEXO G.4: PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASHTO CON USO DE GEOMALLA 72](#_Toc524189951)

[ANEXO H: PANEL FOTOGRÁFICO 72](#_Toc524189952)

[ANEXO J: REPORTE DE USO DE GEOMALLA TENSAR 72](#_Toc524189953)

**ÍNDICE DE FIGURAS**

[**Figura N° 1:** Comportamiento de pavimentos. 8](#_Toc524284088)

[**Figura N° 2:** Geomalla uniaxial. 13](#_Toc524284089)

[**Figura N° 3:** Geomalla biaxial. 13](#_Toc524284090)

[**Figura N° 4:** Geomalla multiaxial. 14](#_Toc524284091)

[**Figura N° 5:** Forma de las juntas en las geomallas biaxiales (izquierda) y multiaxiales (derecha). 16](#_Toc524284092)

[**Figura N° 6:** Distribución radial de esfuerzos lograda con la geomalla multiaxial. 16](#_Toc524284093)

[**Figura N° 7:** Mecanismo de Confinamiento Lateral. 18](#_Toc524284094)

[**Figura N° 8:** Distribución de zonas de confinamiento. 19](#_Toc524284095)

[**Figura N°** **9:** Mecanismo de mejoramiento de capacidad de soporte. 19](#_Toc524284096)

[**Figura N° 10:** Efecto de membrana tensionada. 20](#_Toc524284097)

[**Figura N° 11:** Transferencia de carga 27](#_Toc524284098)

[**Figura N° 12:** Mapa departamental, provincial y distrital de Cajamarca. 33](#_Toc524284099)

[**Figura N° 13:** Ubicación: Vía de Evitamiento Norte, entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio. 34](#_Toc524284100)

[**Figura N° 14:** Ubicación de cantera Rumicucho. 45](#_Toc524284101)

[**Figura N° 15:** Cantera Rumicucho. 45](#_Toc524284102)

[**Figura N° 16:** Detalle - diseño de juntas. 59](#_Toc524284103)

[**Figura N° 17:** Detalle de junta transversal de contracción. 61](#_Toc524284104)

[**Figura N° 18:** Detalle de junta transversal de dilatación 61](#_Toc524284105)

**ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla N° 1:** Características de geomalla estructural TX-160. 22

**Tabla N° 2:** Requerimientos granulométricos para subbase granular. 28

**Tabla N° 3:** Requerimientos de ensayos especiales – subbase granular. 29

**Tabla N° 4:** Tabla: Módulo de reacción de subrasante. 31

**Tabla N° 5:** Ubicación geográfica. 34

**Tabla N° 6:** Tipificación de la investigación. 35

**Tabla N° 7:** Cantidad mínima de material húmedo representativo. 37

**Tabla N° 8:** Lectura de carga para las siguientes penetraciones. 42

**Tabla N° 9:** Gradación y carga. 43

**Tabla N° 10:** Gradación de las muestras de ensayo. 43

**Tabla N° 11:** Vías de acceso a la cantera Rumicucho. 46

**Tabla N° 12:** Periodo de análisis. 47

**Tabla N° 13:** Factor de distribución por carril. 47

**Tabla N° 14:** Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño. 49

**Tabla N° 15:** Índice de Serviciabilidad inicial. 50

**Tabla N° 16:** Índice de Serviciabilidad final. 51

**Tabla N° 17:** Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal. 52

**Tabla N° 18:** Valores de coeficiente de transmisión de carga J. 54

**Tabla N° 19:** Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad. 55

**Tabla N° 20:** Coeficiente de drenaje Cd. 55

**Tabla N° 21:** Gradación del material para subbase granular de la cantera Rumicucho. 58

**Tabla N° 22:** Espesores mínimos recomendados para la subbase de un pavimento rígido. 58

**Tabla N° 23:** Valores de Bombeo 59

**Tabla N° 24:** Comparación técnica de pavimento rígido. 65

**Tabla N° 25:** Comparación económica de pavimento rígido 66

# RESUMEN

La presente tesis de investigación: “Análisis técnico – económico del diseño con método Aashto y el diseño con uso de geomalla multiaxial en el pavimento rígido de la vía de Evitamiento Norte, entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio – sector 10 San Antonio, provincia Cajamarca - Cajamarca” consistió en investigar el uso de geomalla multiaxial como refuerzo dentro de pavimentos rígidos, con este propósito se realizó dos alternativas de diseño con el método Aashto, en la primera se usó el método no reforzado mientras que la otra consistió en reforzar la estructura con geomalla multiaxial TX-160. Se realizó el levantamiento topográfico; en el estudio de tránsito se obtuvo 4485744.31 ESALS en el carril derecho y 3973256.88 en el carril izquierdo; en el estudio de mecánica de suelos se obtuvo de la primera calicata: tipo de suelo según clasificación Aashto: A-2-6, límite líquido: 26.98, límite plástico: 15.41, contenido de humedad: 21.11%, contenido óptimo de humedad: 12.75%, máxima densidad seca: 1.905 gr/cm3 y C.B.R: 18.00% y en la segunda calicata: tipo de suelo según clasificación Aashto: A-2-6, límite líquido: 32.48, límite plástico: 20.45, contenido de humedad: 24.12%, contenido óptimo de humedad: 14.05%, máxima densidad seca: 1.883 gr/cm3 y C.B.R: 9.50%; también se realizó el estudio de suelo del material para subbase granular de la Cantera Rumicucho en el que la granulometría cumple con la gradación B, la Abrasión es 32.11% y C.B.R. es 34%. Posteriormente se diseñó el pavimento rígido no reforzado con la fórmula general del método Aashto y se obtuvo el espesor de losa: 21cm y de subbase granular: 20cm, y con uso de geomalla multiaxial TX-160 se obtuvo los espesores de losa: 19cm y de subbase granular: 20cm; se elaboró los metrados y presupuesto de ambos diseños y se obtuvo el costo por metro cuadrado igual a s/.142.25 y s/.137.95 para pavimento rígido convencional y con uso de geomalla respectivamente.

**Palabras clave:** Pavimento rígido, geomalla, refuerzo, tipo de suelo, cantera, tráfico, análisis técnico – económico.

# ABSTRACT

This research thesis: "Technical - economic analysis of the design with Aashto method and the design using multiaxial geogrid in the rigid pavement of the Evitamiento Norte road, between Jr. Carlos Malpica and Av. Hoyos Rubio - sector 10 San Antonio, Cajamarca province - Cajamarca "consisted of investigating the use of multi-axial geogrid as reinforcement within rigid pavements, with this purpose two design alternatives were made with the Aashto method, in the first the non-reinforced method was used while the other It consisted of reinforcing the structure with multi-axial geogrid TX-160. The topographic survey was carried out; In the traffic study, 4485744.31 ESALS was obtained in the right lane and 3973256.88 in the left lane; in the study of soil mechanics, the first pit was obtained: soil type according to Aashto classification: A-2-6, liquid limit: 26.98, plastic limit: 15.41, moisture content: 21.11%, optimum moisture content: 12.75 %, maximum dry density: 1,905 gr / cm3 and CBR: 18.00% and in the second pit: soil type according to Aashto classification: A-2-6, liquid limit: 32.48, plastic limit: 20.45, moisture content: 24.12% , optimum moisture content: 14.05%, maximum dry density: 1.883 gr / cm3 and CBR: 9.50%; The soil study of the granular subbase material of the Cantera Rumicucho was also carried out, in which the granulometry complies with Gradation B, Abrasion is 32.11% and C.B.R. It is 34%. Subsequently, the rigid non-reinforced pavement was designed with the general formula of the Aashto method and the thickness of the slab was obtained: 21cm and granular subbase: 20cm, and with the use of multi-axial geogrid TX-160 the slab thickness was obtained: 19cm and granular subbase: 20cm; The metrics and budget of both designs were elaborated and the cost per square meter was obtained equal to s / .142.25 and s / .137.95 for conventional rigid flooring and with geogrid use respectively.

**Key words:** Rigid pavement, geogrid, reinforcement, type of soil, quarry, traffic, technical – economic analysis.

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El flujo vehicular en marzo del 2018 (33 971 vehículos) para el departamento de Cajamarca ha aumentado en un 33% respecto a marzo del 2017 (25 559 vehículos), esto se explica debido al aumento del 30% del flujo de vehículos pesados y al aumento del 38% del flujo de vehículos livianos. (INEI 2018)

El aumento del volumen vehicular genera problemas en infraestructura de transporte diseñados inicialmente para volúmenes vehiculares menores a los actuales. Considerando esta realidad, se ha elegido como punto de estudio el tramo de la Vía de Evitamiento Norte ubicado entre la Avenida Hoyos Rubio y el Jirón Carlos Malpica, lugar donde actualmente la concurrencia vehicular ha aumentado, debido a que la Vía de Evitamiento Norte es una vía de acceso a empresas de transporte interprovincial, a tiendas comerciales y centros de educación superior originando mayores tiempos de viaje, congestiones, accidentes y sobre todo el deterioro prematuro del pavimento rígido.

Muchas de las fallas que actualmente se observan en los pavimentos deteriorados son fundamentalmente por un mal comportamiento de la capa subrasante debido a que los esfuerzos que le son transmitidos son superiores a la capacidad de soporte de dichos suelos, esto se ve agudizado aún más por la presencia de humedad o el cálculo inadecuado de espesor del pavimento; frente a esta problemática, una de las alternativas probablemente será la utilización de las geomallas multiaxiales cuyas características lo hacen ideal para refuerzo de estructuras como el pavimento rígido.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el efecto técnico – económico del uso de geomalla multiaxial frente al diseño con método Aashto en la Vía de Evitamiento Norte, entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio – sector 10 San Antonio, provincia Cajamarca-Cajamarca”?

## **HIPÓTESIS**

El uso de geomalla multiaxial en el diseño de un pavimento rígido reduce el espesor de las capas del mismo y costo de construcción de la Vía de Evitamiento Norte, entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Reducir el espesor de las capas del pavimento implica mejorarlo para obtener una estructura tal, que satisfaga los requerimientos a los que va a estar expuesta y a la vez que dicha estructura contemple los menores costos de inversión, tratando además de alterar lo menor posible el medio ambiente. Dentro de este contexto se tiene que, al mejorar la subrasante con las geomallas multiaxiales, se van a tener menores movimientos de tierras y los costos de construcción van a disminuir ostensiblemente. La presente tesis será de importancia para los alumnos de la carrera de Ingeniera Civil y para aquellos que necesiten un material de consulta para absolver dudas acerca del diseño y construcción de pavimento rígido utilizando geomallas multiaxiales.

## **DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente se ha realizado en la Vía de Evitamiento Norte, en el tramo ubicado entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio. Los cálculos se han realizado teniendo en cuenta los aforos diarios por 7 días. (desde el 21 de mayo del 2018 hasta el 27 de mayo del 2018).

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

**Objetivo general**

* Realizar el análisis técnico - económico del diseño mediante el método Aashto y el diseño Aashto usando geomalla multiaxial, del pavimento rígido de la Vía de Evitamiento Norte entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio.

**Objetivos específicos**

* Obtener el ESAL´s de la vía.
* Determinar el valor de CBR de la subrasante y del material granular.
* Hallar el módulo de reacción de la subrasante “K” con y sin geomalla multiaxial.
* Obtener el espesor del pavimento con el método Aashto sin reforzamiento y con uso de geomalla.
* Realizar el análisis comparativo de costo entre el diseño mediante el método Aashto sin reforzamiento y el con uso de geomalla.

## **DEFINICIÓN DE VARIABLES**

**Variables Independientes**

* Módulo de reacción de la subrasante “K”.

**Variable Dependiente**

* Espesor de pavimento.
* Costo de pavimento

# CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

## **ANTECEDENTES TEÓRICOS**

## **A nivel Internacional**

* **Cruz Vargas E. (2013).** Realizó una tesis con la finalidad de presentar de manera clara, explicita y experimental la teoría básica que le da sustento al uso de geomallas y sobre el impacto en el comportamiento mecánico de los suelos. En su investigación describe el método de diseño para carreteras no pavimentadas reforzadas con geomallas Tensar, desarrollado por el Dr. J.P. Giroud y el Dr. Jie Han., de la misma manera describe el método para carreteras reforzadas con geomallas de US Army Corps of Engineers. ETL- 1110- 1- 189. Concluyendo que, entre los dos métodos planteados, el de mayor utilidad práctica es el procedimiento de diseño de pavimento flexible con ETL- 1110- 1- 189.
* **Gavilanes, N. (2012).** Muestra el análisis sobre el diseño de la estructura del pavimento tradicional y la estructura del pavimento reforzada con geomalla biaxial aplicada a un tramo de la carretera Latacunga – Zumbahua – La Maná. Para realizar el diseño de la estructura del pavimento no reforzada y reforzada se realizó el estudio, análisis y recopilación de una serie de parámetros para poder calcular el espesor de las capas que van a conformar estas estructuras, finalmente se obtuvo que los espesores de la estructura del pavimento reforzado con geomalla biaxial son menores a los de la estructura tradicional, garantizando ahorro en material, mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en la excavación, transporte e instalación de la geomalla y de los materiales.

## **A nivel Nacional**

* **Orrego, D. (2014).** De acuerdo al análisis realizado de las diferentes secciones estudiadas en su investigación del proyecto denominado “Nuevas Vías de Lima” establece que:
  + Los espesores de las secciones no reforzadas son mayores en todos los casos a los espesores obtenidos en las secciones reforzadas. Esta diferencia es, en promedio, de alrededor de un 35% para el caso de las secciones reforzadas con geomallas biaxiales; mientras que llega a ser casi un 45% en promedio, para el caso del refuerzo con geomallas multiaxiales.
  + La reducción de los espesores de las secciones reforzadas con geomallas biaxiales varía entre 21.05% y 40.74%. Cuando utilizamos geomallas multiaxiales, esta variación está entre 21.05% y 50%.
  + Finalmente concluye en que el uso de geomallas como refuerzo de pavimentos es una buena alternativa para disminuir los costos de construcción y tiempos de instalación.
* **Velásquez Lujerio EP. (2009).** Elaboró una investigación con el fin de ilustrar acerca de las ventajas ocasionadas por la utilización de geomallas como refuerzo de bases, subbases y subrasantes en caminos pavimentados o sin pavimentar, mediante la utilización del Software SpectraPave2TM , el cual permite diseñar un pavimento flexible sin reforzar, así como reforzado con geomalla biaxial, además el programa incluye un desglose de los ahorros en agregado, en sobre- excavaciones y generales para el proyecto. El estudio concluye que el uso de las geomallas contribuye al mejoramiento de la sección estructural de los caminos y su colocación generalmente posibilita la utilización de suelos naturalmente malos para conformar la subrasante del camino.

## **A nivel Local**

* **Meléndez A. (2010).** Muestra el proceso constructivo que se realizó en la construcción de una vía de acceso utilizando geomallas y geotextiles, la cual atravesaba zonas donde el suelo era de muy mala calidad. Como resultado se obtuvo que la utilización de geomallas y geotextiles en la construcción de vías en terrenos de mala calidad los proyectos se podrían desarrollar con mayor facilidad y frecuencia a nivel nacional ya que su proceso constructivo es menos tedioso y menos complicado de desarrollar, además de reducir el tiempo de ejecución y recursos utilizados (menos material de relleno, afirmado, menos horas hombre y horas máquina), lo que beneficia directamente al ente ejecutor de las mismas.
* **Mera J. (2017).** Evalúa la repercusión técnico- económica del uso de la geomalla multiaxial como refuerzo de la subrasante en la carretera Santa Cruz- Bellavista, provincia de Jaén, región Cajamarca y el procedimiento de construcción. Concluye que la reducción de los espesores en los tramos de diseño reforzados con geomalla multiaxial varía entre 5.4% y 39.2 %, con respecto al tramo no reforzado, lo cual implica que hay un menor uso de material granular, todo esto sin afectar su capacidad de soporte de tránsito de la vía. Además, que el uso de la geomalla multiaxial como refuerzo es económicamente viable, para los tramos en donde el suelo tiene un CBR menor a 2.5 %, variando el ahorro entre 10.09% y 24.48%, con respecto a costo de ejecución del diseño convencional. Por lo que recomienda evaluar su uso en suelos de fundación con un CBR > 6%, ya que económicamente no es favorable.
* No se ha podido identificar más antecedentes locales solamente algunos proyectos en Cajamarca en los que se mejoró la subrasante del pavimento rígido al usar la geomalla multiaxial:
  + Expediente Técnico: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad en la Av. Argentina, entre Jr. Alfonso Ugarte y la Av. San Martin de Porres - sector 18 La Florida, provincia de Cajamarca - Cajamarca”.

Código SNIP Nº 316027

Fecha: mayo 2015

* + Expediente Técnico: “Mejoramiento de la pavimentación del Jirón Chanchamayo, provincia de Cajamarca - Cajamarca”

Código SNIP Nº 316169

Fecha: mayo del 2015

* + Expediente Técnico: “Construcción de la pavimentación del Jr. San Luis entre la Av. San Martín y la Av. La Paz – barrio de Mollepampa, provincia de Cajamarca - Cajamarca”

Código SNIP Nº 162511

Fecha: diciembre del 2010

## **BASES TEÓRICAS**

## **PAVIMENTO**

## **DEFINICIÓN**

El ítem 2.2.1.1. ha sido tomado del Manual completo diseño de pavimentos. s. f.

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática.

## **TIPOS DE PAVIMENTO**

El ítem 2.2.1.2. ha sido tomado del Diseño y construcción de pavimentos. s. f.

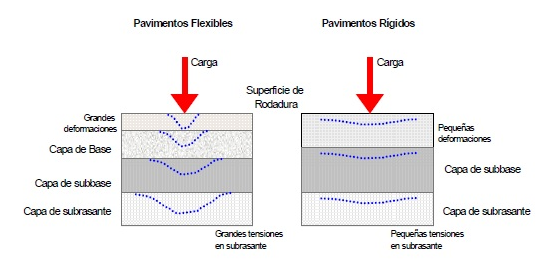
1. **PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Los pavimentos flexibles están conformados estructuralmente por capas de materiales granulares compactados y una superficie de rodadura (construida normalmente a base de concreto asfáltico) la cual forma parte de la estructura del pavimento. La superficie de rodadura al tener menos rigidez se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

1. **PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción debajo la losa produce su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga. La capa inmediatamente inferior a las losas de C.C.P. denominada subbase, por esta razón, puede ser constituida por materiales cuya capacidad de soporte sea inferior a la requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles.

**Figura N° 1:** Comportamiento de pavimentos.



**Fuente:** Tomado del Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.2002.

1. **PAVIMENTOS SEMIRÍGIDOS**

Un pavimento semirrígido o compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico.

La estabilidad de suelos por medio de ligantes hidráulicos (cemento Portland) permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas como ser camiones o aeronaves.

## **ELEMENTOS QUE CONFORMAN PAVIMENTO RÍGIDO**

El ítem 2.2.1.3. ha sido tomado del Diseño y conservación de pavimentos rígidos. s. f.

1. **SUBRASANTE**

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

1. **SUBBASE**

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

• Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.

• Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.

• Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.

• Proveer drenaje cuando sea necesario.

• Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

1. **LOSA**

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

## **GEOSINTÉTICOS**

## **DEFINICIÓN**

El ítem 2.2.2.1. ha sido tomado del Análisis técnico – económico del uso de geomalla como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles. 2014.

Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos usados en suelos, roca, tierra y otros materiales geotécnicos similares, como una parte integral de proyectos de ingeniería civil, estructuras u otras construcciones elaboradas por el hombre.

## **COMPONENTES DE LOS GEOSINTÉTICOS**

El ítem 2.2.2.2. ha sido tomado de Tensar International Corporation. Structural Geogrid. 2014

Los geosintéticos poseen dentro de su estructura diferentes elementos dentro de los cuales se encuentran los polímeros y algunas fibras naturales como el algodón, el yute y juncos. Los polímeros más utilizados son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PS), el poliuretano (PU) y el policloruro de vinilo (PVC).

1. **POLIETILENO (PE):**

El polietileno es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para su utilización en los geosintéticos entre otras podemos mencionar, poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

1. **POLIPROPILENO (PP):**

El polipropileno es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 ºC. Es muy resistente a los golpes, aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos. Es un material inerte, compatible con todo tipo de cementos y aditivos, por lo que se utiliza para armar morteros de cemento y en la construcción de materiales geosintéticos.

Tiene muy buenas propiedades mecánicas, algunas de las propiedades más importantes que podemos mencionar de este material son: que es de muy baja densidad, es más rígido que la mayoría de los termoplásticos, posee una gran capacidad de recuperación elástica, tiene una excelente compatibilidad con el medio, es un material fácil de reciclar, alta resistencia al impacto, buena resistencia superficial, tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

1. **POLIESTER (PS):**

El poliéster es uno de los materiales más empleados en el campo de los geotextiles, son las fibras que, junto a las de vidrio, más se utilizan en la arquitectura textil combinadas con una matriz termoplástica, normalmente policloruro de vinilo (PVC).

Las propiedades del poliéster son elevada estabilidad dimensional, insignificante contracción posterior al moldeo, alta resistencia al calor y cambios bruscos de temperatura, elevada resistencia a la fisuración.

1. **POLICLORURO DE VINILO (PVC):**

Es una resina termoplástica obtenida a partir de la polimerización de dos materias primas naturales, el cloruro de sodio o sal común (NaCl) y gas natural.

Las propiedades del PVC son: una elevada resistencia a la abrasión, baja densidad (1,4 g/cm3), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción. Es dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia a la mayoría de agentes químicos.

1. **POLIURETANO (PU):**

Es una resina sintética que se presenta la mayoría de las veces como una espuma rígida y se utiliza mayormente en la fabricación de georedes debido que presenta una alta resistencia a la deformación por compresión mecánica.

## **CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS**

El ítem 2.2.2.3. ha sido tomado de Aplicación de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de drenaje para carreteras. 2009.

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la Ingeniería son: geotextiles, geomallas, geomembranas y georedes. Para la presente investigación se desarrollará solamente geomallas.

1. **GEOMALLAS**
2. **DEFINICIÓN**

Las geomallas son mallas de material polimérico con espacios abiertos (dimensionados para ser compatibles con la granulometría del relleno) llamados “aperturas”, los cuales están delimitados por “costillas”.

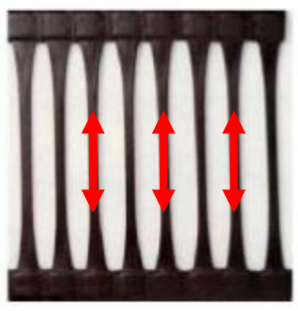
Las funciones principales que cumple son de refuerzo y estabilización, se puede usar para trabajos de refuerzo de terraplenes pudiendo así diseñarse taludes más verticales, y para incremento de la capacidad de soporte de bases y subbases de carreteras. También se utilizan en fundaciones, en diques, gaviones, obras marinas y otros.

Las características de las geomallas varían mucho según su composición química, tecnología de fabricación y según las diferentes patentes existentes en el mercado. Así, se pueden encontrar geomallas de diferentes materiales y formas, con diferentes tecnologías de unión en las juntas, con distintas aperturas de malla, con distintos espesores. Todas estas variaciones, obviamente, dan como resultado diferentes propiedades mecánicas y diferentes comportamientos, lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la malla más adecuada para una aplicación determinada.

1. **CLASIFICACIÓN DE LAS GEOMALLAS**
   1. **Por el sentido del desarrollo del refuerzo**

* **Geomallas uniaxiales:** Son aquellas en las que se desarrolla una alta resistencia a la tensión en una sola dirección y de acuerdo a la geometría que presenten se desarrollará un mayor coeficiente de interacción. Son las más usadas en estructuras de suelo reforzado ya que en este caso las solicitaciones solo se desarrollan en el sentido paralelo a la colocación del refuerzo.

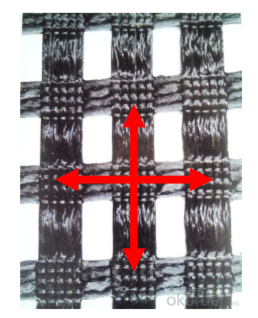
**Figura N° 2:** Geomalla uniaxial.



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

* **Geomallas biaxiales:** Son geomallas que presentan aberturas uniformes y resistencia a la tensión en dos sentidos: longitudinal y transversalmente. Se utilizan en aplicaciones de pavimentos o caminos y también como refuerzo secundario en taludes de suelo reforzado.

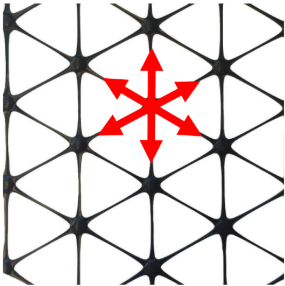
**Figura N° 3:** Geomalla biaxial.



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

* **Geomallas multiaxiales:** Son geomallas rígidas que presentan una resistencia a la tensión “radial”; es decir, en todas las direcciones. Este material fue desarrollado como una “evolución” de la geomalla biaxial y se optó por utilizar aberturas con forma triangular ya que es la forma geométrica más estable. Además, presenta un alto desempeño debido a características únicas que serán presentadas más adelante.

**Figura N° 4:** Geomalla multiaxial.



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

1. **CARACTERÍSTICAS DE LAS GEOMALLAS MULTIAXIALES**

Según la investigación desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – USACOE en el año 1992, ensayo a escala real, se compararon secciones reforzadas con diversos tipos de geomallas biaxiales con el fin de determinar su aporte dentro de la sección de pavimento ensayada y así poder obtener mayor información acerca de las características que afectaban su comportamiento estructural. Por lo tanto, las características más importantes al momento de elegir una geomalla para utilizarla como refuerzo de base serian:

* **Tamaño de la abertura:** Las aberturas de las geomallas deben tener el tamaño suficiente para permitir que los agregados y el suelo de relleno puedan penetrar a través de estas. Sin embargo, también deben ser suficientemente pequeñas para que las partículas puedan generar una trabazón eficaz y asegurar el confinamiento del material dentro de estas.
* **Grosor de las costillas:** Al momento de confinar las partículas de agregado, el grosor de las costillas juega un papel importante ya que mientras mayor sea este, la interacción entre la geomalla y el suelo será mayor. Además, las costillas cuadradas, o rectangulares, tienen un mejor comportamiento para lograr este mecanismo en comparación con las de forma redondeada.
* **Resistencia a la torsión:** Se refiere a la resistencia ante el movimiento de rotación que presenta la unión central de una muestra en el mismo plano de la carga aplicada.
* **Resistencia a la tensión:** En las aplicaciones en pavimentos no es una propiedad determinante ya que se busca que los elementos de refuerzo no soporten altos esfuerzos de tensión, sino que puedan soportar las solicitaciones a partir de otros mecanismos de refuerzo ya mencionados.
* **Resistencia de las juntas:** Se busca la mayor eficiencia posible, es decir, que las juntas sean lo suficientemente resistentes para transmitir las cargas hacia las costillas. Es así que si existiese alguna falla por resistencia, esta debería producirse en las costillas y no en las uniones.

Con la creación de la geomalla MULTIAXIAL se logró una estructura más rígida. Esto se debe al uso de una nueva disposición de las costillas, en comparación con la usada en las geomallas biaxiales, buscando optimizar el confinamiento de las partículas.

La altura de la costilla asegura la trabazón del agregado granular con la geomalla y permite una mejor transferencia de esfuerzos y una menor deflexión de las capas del agregado; evitando la contaminación o migración de partículas finas hacia las capas de refuerzo. Además, se buscó que las juntas ya no sean el punto “más débil” de la estructura como se observa en la siguiente figura:

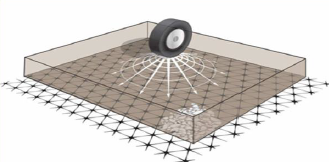
**Figura N° 5:** Forma de las juntas en las geomallas biaxiales (izquierda) y multiaxiales (derecha).



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

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

**Figura N° 6:** Distribución radial de esfuerzos lograda con la geomalla multiaxial.



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

Además de las funciones principales de los geosintéticos mencionadas anteriormente las geomallas cumplen las siguientes funciones:

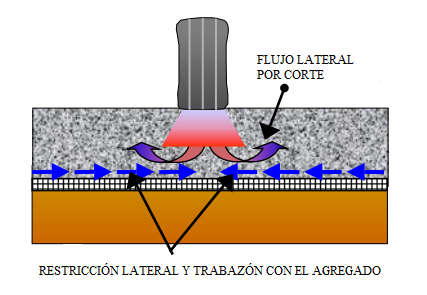
* **Reducción de espesores:** A través del aumento de la capacidad de soporte de una capa de agregado, se pueden reducir espesores de material a reemplazar en el caso de que se trate de un mejoramiento de subrasantes. Asimismo, dado que el uso de geomallas permite la construcción de capas más rígidas, se pueden reducir los espesores necesarios para el caso de bases o subbases granulares. Esto conlleva un ahorro en el costo final de transporte de material, en el caso en el que exista una escasez de material granular cerca de la zona (por ejemplo, durante la construcción de una vía en la selva), o la reducción de los tiempos de instalación y entrega de la obra.
* **Incremento de vida útil de la vía:** Si mantenemos el espesor inicial de diseño, podemos lograr un aumento significativo en el número de ejes equivalentes (ESAL’s) que soportará el pavimento antes de presentar fallas o necesitar de mantenimiento. Esto se puede traducir en un ahorro considerable en los costos de mantenimiento de la vía proyectada y un ahorro a largo plazo.
* **Incremento de capacidad de soporte:** Las capas de suelo reforzadas con geomallas admiten una mayor carga sobre estas. Esto se puede ver reflejado en su uso en haulroads o caminos mineros, vías sobre suelos muy blandos o suelos que soportarán cargas de tráfico muy altas.
* **Cobertura de vacíos:** Tal vez esta sea una aplicación no muy usada, pero con el uso de geomallas es posible cruzar vacíos que se puedan producir por el colapso debido a la erosión o falla de algunas zonas de la subrasante. Esta solución solo es temporal, y se recomienda utilizarla hasta que se produzca la reparación de la falla. En este caso, el mecanismo de membrana tensionada será el más relevante ya que la geomalla tendrá que desarrollar fuerzas de tensión.
* **Nivelación de subrasantes débiles:** A través de los mecanismos ya descritos, se logra una “APARENTE” capacidad de soporte mayor. Esta característica permite que se puedan crear plataformas constructivas o vías de acceso sobre suelos muy blandos (esto es útil en la construcción de diques flotantes o vías de acceso sobre suelos pantanosos).

1. **MECANISMOS DE REFUERZO DE LAS GEOMALLAS**

Los tres principales mecanismos de refuerzo que son proporcionados por una geomalla biaxial o por una geomalla multiaxial son:

* **Confinamiento lateral:** Este mecanismo se obtiene por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo. Al aumentar el confinamiento lateral e impedir el desplazamiento lateral de las partículas, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla. Además, se reducen las deformaciones verticales y los ahuellamientos en la superficie de rodadura. A lo largo de los años se ha demostrado que este es el mecanismo más importante al momento de determinar el aporte de la geomalla (USACOE, 2003).

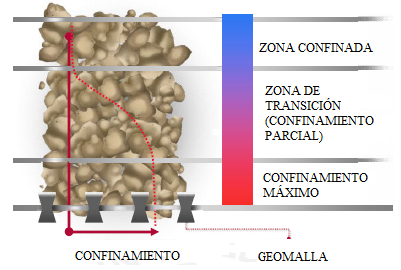
**Figura N° 7:** Mecanismo de Confinamiento Lateral.



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

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

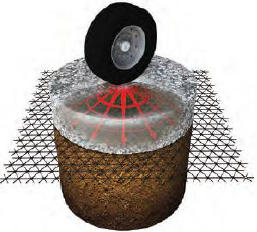
**Figura N° 8:** Distribución de zonas de confinamiento.



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

* **Mejoramiento de la capacidad portante:** Este mecanismo logra desplazar la superficie de falla, ubicada en un principio en la subrasante blanda, hacia una de mayor resistencia, en este caso la capa granular. Esto es posible ya que la rigidez de la geomalla permite la redistribución de las cargas en un área mayor disminuyendo los esfuerzos que el material no competente (suelo blando) debe soportar.

**Figura N°** **9:** Mecanismo de mejoramiento de capacidad de soporte.

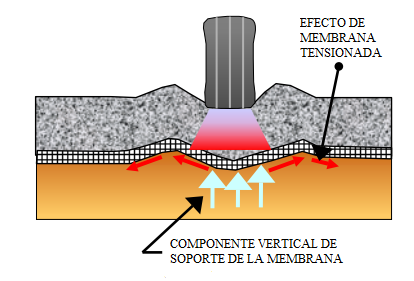


**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

Este es un mecanismo considerado al momento de trabajar en vias no pavimentadas o cuando la capacidad portante de la subrasante es muy baja.

* **Membrana tensionada:** Este mecanismo se origina cuando se presenta una deformación considerable en el terreno natural debido a cargas vehiculares presentes sobre la vía; en este se desarrollan esfuerzos importantes que son soportados por la resistencia a la tensión que tiene el refuerzo.

**Figura N° 10:** Efecto de membrana tensionada.



**Fuente:** Tomado de Tensar, 2013.

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

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

Por esta razón, podemos considerar que, en aplicaciones de la geomalla como MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES, se deberá considerar el mejoramiento de la capacidad portante y, en menor grado, el efecto de membrana tensionada. No obstante, para aplicaciones de REFUERZO DE BASE del pavimento, el confinamiento lateral es el mecanismo de refuerzo más importante y el que deberíamos asegurar.

## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GEOMALLA**

El ítem 2.2.2.4. ha sido tomado del Sistema de mejoramiento de carreteras. Tensar. s. f.

Las geomallas TX-160 son elementos elaborados a partir de láminas de resinas selectas de polipropileno, perforadas y estiradas uniformemente en tres direcciones formando costillas con un alto grado de orientación molecular y uniones integrales de alta rigidez.

La geomalla presenta una apertura triangular, un peso y características moleculares que imparten alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra los esfuerzos mecánicos desarrollados durante la instalación, alta resistencia a la deformación provocada por fuerzas aplicadas durante su uso y alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra las solicitancias ambientales de largo plazo.

La geomalla TX-160 genera una transmisión radial (360°) de esfuerzos al suelo de fundación, mediante trabazón mecánica con suelo compactado o materiales de relleno.

La geomalla posee suficiente rigidez a la flexión para lograr una instalación eficiente sobre suelos pobres o húmedos y suficiente rigidez tensional, con un mínimo de 6 costillas por unión, para resistir movimientos de rotación en el plano provocados por los suelos compactados o los materiales de relleno, cuando están sujetos a fuerzas de desplazamiento laterales tales como las causadas por un vehículo en movimiento.

La geomalla posee completa continuidad de todas las propiedades a través de su estructura y es apropiada para el refuerzo interno del suelo compactado o materiales de relleno a fin de mejorar su capacidad de soporte en aplicaciones estructurales.

La geomalla estructural TX-160 presenta las características indicadas en la tabla siguiente:

**Tabla N° 1:** Características de geomalla estructural TX-160.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| PROPIEDADES | LONGITU-DINAL | DIAGO-NAL | TRANS-VERSAL | GENE-RAL |
| Longitud de la costilla, mm (pulg)(2) | 40 (1.60) | 40 (1.60) | - |  |
| Profundidad media de la costilla, mm (pulg)(2) | - | 1.6 (0.06) | 1.4 (0.06) |  |
| Ancho medio de la costilla, mm (pulg)(2) | - | 1.0 (0.04) | 1.2 (0.05) |  |
| Geometría de la costilla | rectangular | | | |
| Geometría de la abertura |  |  | triangular | |
| INTEGRIDAD ESTRUCTURAL | | | | |
| Eficiencia de la junta (3) % |  |  |  | 93 |
| Rigidez radial a bajas deformaciones, (4) kN/m @ 0.5% de deformación |  |  |  | 300 |
| Rigidez radial a bajas deformaciones, (4) lb/pie @ 0.5% de deformación |  |  |  | 20,580 |
| DURABILIDAD | | | | |
| Resistencia a la degradación química (5) |  |  |  | 100% |
| Resistencia a la degradación por luz ultravioleta y desgaste (6) |  |  |  | 70% |

**Fuente:** Tomado de Tensar International Corporation. 2014.

NOTAS:

1.- Los valores indicados son los valores mínimos promedio de rollo determinados por el método de ASTM D4759-02 salvo que se especifique lo contrario.

2.- Dimensiones nominales.

3.- La capacidad de transferencia de carga se mide vía ASTM D6637-10 y ASTM D7737-11 y es expresada como un porcentaje de la resistencia a la tensión última.

4.- El esfuerzo radial se determina a partir de los esfuerzos de tensión medidos en cualquier eje del plano para pruebas en concordancia con la ASTM D6637-10.

5.- La resistencia a la pérdida de capacidad de carga cuando la geomalla es sometida a ambientes agresivos químicamente se obtiene mediante el ensayo de inmersión de acuerdo con la EPA 9090.

6.- La resistencia a la pérdida de capacidad de carga usando la geomalla es sometida a 500 horas de luz ultravioleta y ambientes agresivos, se obtiene de acuerdo a las pruebas ASTM D4355-05.

## **DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASHTO**

## **DETERMINACIÓN DE ESPESOR DE LOSA**

El ítem 2.2.3.1. ha sido tomado de la Guía de diseño de pavimentos. 1993.

Se describen a continuación las variables a tener en cuenta en el diseño de un pavimento rígido por el método Aashto.

1. **VARIABLES DE TIEMPO**

Hay dos variables a tener en cuenta: periodo de análisis y vida útil del pavimento. La vida útil es el periodo que media entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que éste alcanza un grado de serviciabilidad mínima. El periodo de análisis es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cumplir. Puede ser igual que la vida útil, pero en casos donde se prevén construcciones a largo tiempo, el periodo de análisis comprende varios periodos de vida útil, el del pavimento original y el de los distintos refuerzos.

1. **ANÁLISIS DE TRÁFICO**

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

1. **FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN**

En general es 0.5, es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del censo de tránsito. Según la dirección que adopte el tráfico en la carretera (1.0 para un sentido, 0.5 para dos sentidos).

1. **FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL**

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril. En este caso LD = 1. Para caminos multicarril, el carril de diseño es el más externo, dado que los camiones y, por lo tanto, la mayor parte de los ESALs, usan ese carril. En este caso LD puede variar entre 1 y 0.5 de acuerdo a esta tabla:

1. **FACTOR DE CRECIMIENTO**

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%.

El factor de crecimiento del tráfico se calculó con la siguiente fórmula:

(2.1)

Donde:

r: tasa de crecimiento anual, %

n: periodo de diseño en años

**CAMINOS PAVIMENTADOS**

Los caminos pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, están clasificados en quince (15) rangos de Número de nepeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75,000 EE hasta 30’000,000 EE.

1. **SERVICIABILIDAD**

Es el cambio o pérdida en la calidad de servicio que la vía proporciona al usuario, se estima por la pérdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal

1. **SERVICIABILIDAD INICIAL (PO):**

Se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación.

1. **SERVICIABILIDAD FINAL (Pt):**

Se establece como la condición de la superficie del pavimento que no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario y corresponde al valor más bajo antes de que sea necesario rehabilitar o reconstruir un pavimento.

1. **FACTOR DE CONFIABILIDAD (R) Y LA DESVIACIÓN ESTANDAR (So)**

El concepto de confiabilidad ha sido incorporado con el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que pavimentos construidos presenten comportamientos de deterioro diferentes. La confiabilidad es en cierta manera un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas.

El rango típico sugerido por Aashto está comprendido entre 0.30 < So < 0.40, en

el Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos recomienda So = 0.35.

1. **MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (Psi)**

Se denomina Módulo de elasticidad del concreto a la tracción, a la capacidad que obedece la ley de Hooke, es decir, la relación de la tensión unitaria a la deformación unitaria. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas.

Aashto indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación, precisando la correlación recomendada por el ACI:

(2.2)

1. **MÓDULO DE ROTURA (S´c)**

Es una propiedad del concreto que influye notablemente en el diseño de pavimentos rígidos de concreto. Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S´c) o módulo de ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

(2.3)

1. **MÓDULO DE REACCIÓN EFECTIVO DE LA SUBRASANTE (K)**

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante (K). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (Kc). Las unidades de K son Mpa /m o Psi; para el efecto se presenta las siguientes fórmulas:

Si CBR <= 10%, entonces: K = 2.55+52.5 LOG (CBR)

Si CBR > 10, entonces: K = 46+9.08 (LOG (CBR))^4.34

Módulo de reacción compuesto de la subrasante:

(2.4)

Donde:

Kc = Módulo de reacción combinado o equivalente (Kg/cm3).

h = Espesor de la capa granular en cm.

K1 = Módulo de reacción del relleno estructural - capa granular (Kg/cm3).

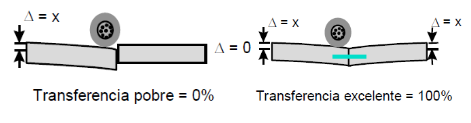
K0 = Módulo de reacción del terreno natural (Kg/cm3).

fm = Factor de mejoramiento.

1. **TRANSFERENCIA DE CARGA (J)**

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde según se muestra en la figura:

**Figura N° 11:** Transferencia de carga



**Fuente:** Tomado de Diseño de pavimentos rígidos. 2008.

1. **COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)**

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas. Una vez caracterizado el material y su calidad de drenaje, se calcula el Cd correlacionándolo con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad próximos a la saturación.

1. **BOMBEO**

Pendiente transversal para permitir la caída de la lluvia de la calzada directamente hacia las cunetas a fin de reducir el peligro en la circulación vehicular y las posibilidades de infiltración.

## **REQUERIMIENTO DE SUBBASE GRANULAR**

El ítem 2.2.3.2. ha sido tomado del Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.

Consiste en la construcción de una o más capas de materiales granulares, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, que se colocan sobre una superficie preparada. Los materiales aprobados son provenientes de canteras u otras fuentes. Incluye el suministro, transporte, colocación y compactación del material, de conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos y teniendo en cuenta lo establecido en el plan de manejo ambiental.

Los materiales para la construcción de la subbase granular deberán ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla N° 2:** Requerimientos granulométricos para subbase granular.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| TAMIZ | PORCENTAJE QUE PASA EN PESO | | | |
| **GRADACIÓN A** | **GRADACIÓN B** | **GRADACIÓN C** | **GRADACIÓN D** |
| 50 mm (2") | 100 | 100 | - | - |
| 25 mm (1") | - | 75-95 | 100 | 100 |
| 9,5 mm (3/8") | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 |
| 4,75 mm (N°4) | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| 2,0 mm (N°10) | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 |
| 425 um (N°40) | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| 75 um (N°200) | 2-8 | 5-15 | 5-15 | 8-15 |

Nota. - La curva de Gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

**Fuente:** Tomado de Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 – Manual de carreteras. 2013.

Además, el material también deberá cumplir con los requisitos de calidad, indicados en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3:** Requerimientos de ensayos especiales – subbase granular.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ENSAYO | NORMA MTC | NORMA ASTM | NORMA AASHTO | REQUERIMIENTO | |
| < 3000 msnm | ≥ 3000 msnm |
| Abrasión los Ángeles | MTC E 207 | C 131 | T 96 | 50% max | 50 % máx. |
| CBR (1) | MTC E 132 | D 1883 | T 193 | 30-40 % mín.\* | 30-40 % mín.\* |
| Límite líquido | MTC E 110 | D 4318 | T 89 | 25% máx. | 25% máx. |
| Índice de plasticidad | MTC E 111 | D 4318 | T 90 | 6% máx. | 4% máx. |
| Equivalente de arena | MTC E 114 | D 2419 | T 176 | 25% mín. | 35% mín. |
| Sales solubles | MTC E 219 | - | - | 1% máx. | 1% máx. |
| Partículas chatas y alargadas | - | D 4791 | - | 20% máx. | 20% máx. |

Nota. - \*30% para pavimentos rígidos y de adoquines. 40% para pavimentos flexibles.

**Fuente:** Tomado de Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 – Manual de carreteras. 2013.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

## **REPORTE DE USO DE GEOMALLAS TENSAR PARA EL MEJORAMIENTO DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE SUB-RASANTE:**

El ítem 2.2.3.3. ha sido tomado del módulo resiliente, deformación permanente de carga repetida y prueba de carga de placa de material triturado mecánicamente estabilizado. 2010.

El reporte: “Módulo resiliente, deformación permanente de carga repetida y prueba de carga de placa de material triturado mecánicamente estabilizado” presentado por Mark H. Wayne, Gerente de tecnología de aplicaciones Tensar International Corporation, Jayhyun Kwon y Rick Boudreau publicado el 31 de julio de 2010 en la 90° reunión anual en Washington fue utilizado como parte de un proyecto de repavimentación para el puerto de embarque de China ubicado en el paradero 102 del puerto Los Ángeles (POLA).

En las pruebas de laboratorio el material de la subrasante ensayado de acuerdo con las normas ASTM tuvo las siguientes propiedades: según clasificación SUCS el suelo fue areno limoso mal graduado (SM), máxima densidad de 110.3 lb/ft3 (1.767 gr/cm3), óptimo contenido de humedad de 12.5%, límite líquido igual a 16, límite plástico: no plástico, índice de plasticidad: no plástico y CBR: 72%; el material para subbase fue arena con grava bien gradada (SW), máxima densidad de 127.4 lb/ft3 (2.041 gr/cm3), óptimo contenido de humedad de 9.3%, límite líquido igual a 16, límite plástico: no plástico, índice de plasticidad: no , CBR: 79% y la geomalla multiaxial usada para caracterizar el comportamiento futuro de ésta en pavimentos tuvo las siguientes propiedades: longitud de costilla: 40mm, profundidad media de la costilla: 1.6mm, ancho medio de la costilla: 1.0mm, apertura triangular, costilla rectangular, eficiencia de unión de 93% y rigidez radial de 20580 lb/ft.

Las pruebas de carga de la placa de campo se realizaron en 03 elevaciones: elevación final de material subbase y elevación ubicada aproximadamente a 6 pulgadas sobre la subrasante y elevación de la subrasante.

La superficie expuesta en cada lugar de prueba fue nivelada antes de ejecutar las pruebas, los calibradores de cuadrante con una precisión de 0.001 pulgada se ubicaron cerca de cada extremidad del rodamiento placa para medir la deformación del terreno. Se aplicó una carga de asiento de 200 libras (liberado y recargado), los indicadores de cuadrante se establecieron en su marca cero, las cargas fueron entonces aplicadas a una velocidad moderadamente rápida a la placa con un pistón hidráulico de 10 toneladas a incrementos uniformes de 1.100 libras, después de aplicar cada incremento de carga se permitió que su acción continuara hasta que se mantenga una tasa de deflexión de no más de 0.001 pulgadas/minuto durante 3 minutos consecutivos.

El módulo (k) se calculó en conformidad con la "Nota de asesoramiento provisional 73/06. Revisión 1 (2009), Orientación sobre el diseño para el camino fundamentos del pavimento (Proyecto de resolución HD25), Agencia de carreteras, Reino Unido, 2009.” y muestra que incluso para una subrasante firme **la inclusión de la geomalla Tensar en pavimento rígido incrementa el módulo de reacción de subrasante (“k”) aproximadamente del 40 al 85% (fm=40-85%)** como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla N° 4:** Tabla: Módulo de reacción de subrasante.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Módulo compuesto de reacción de subrasante** | **0.05 pulgadas de deformación** | | **0.1 pulgadas de deformación** | | **0.2 pulgadas de deformación** | |
| **K ∞ (pci)** | **Porcentaje de incremento** | **K ∞ (pci)** | **Porcentaje de incremento** | **K∞ (pci)** | **Porcentaje de incremento** |
| **Elevación de la subbase terminada a 12 pulgadas de la subrasante** | 1664 | 84% | 1117 | 57% | 832 | 40% |
| **Elevación de la subbase medida a 6 pulgadas de la subrasante** | 903 | 12% | 713 | 0% | 594 | 0% |
| **Elevación de la subrasante** | 808 | - | 713 | - | 594 | - |

**Fuente:** Tomado del reporte: “Módulo resiliente, deformación permanente de carga repetida y prueba de carga de placa de material triturado mecánicamente estabilizado”. 2010.

## **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

**Aforo:** Consiste en el conteo de vehículos, que transitan por una vía, en un periodo de tiempo determinado.

**ASTM:** American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

**Calicata (Perforación):** Que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

**Carril:** Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos. Para Construcción de Carreteras.

**CBR (California Bearing Ratio):** Valor soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

**Compactación:** Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica.

**Cuarteo:** Procedimiento de reducción del tamaño de una muestra.

**Granulometría:** Gradación o distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados.

**Subrasante:** El suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento. Es la fundación de la estructura del pavimento. El suelo de subrasante es llamado a veces suelo de fundación.

**Suelo:** Es la superficie de material suelto de la corteza terrestre.

**Volumen de Tránsito:** Es el número de vehículos que pasan por un tramo de carretera en un intervalo de tiempo dado; los intervalos más usuales son el día y la noche, teniéndose tránsito diario y el tránsito horario.

# CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

## **UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

1. **UBICACIÓN POLÍTICA:**

País : Perú

Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Cajamarca

Zona de Estudio : Vía de Evitamiento Norte, entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio – sector 10 San Antonio. (Ver Plano de Ubicación en Anexo I)

**Figura N° 12:** Mapa departamental, provincial y distrital de Cajamarca.

* + - * 1. (b)

**Fuente:** Tomado (a) y (b) de Perutouristguide Mapa de la provincia y departamento de Cajamarca. Gualberto Valderrama 2005.

**Figura N° 13:** Ubicación: Vía de Evitamiento Norte, entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio.



**Fuente:** Tomado de Google Earth Pro 2018.

1. **UBICACIÓN GEOGRÁFICA:**

ZONA: 17S.

DATUM: UTM – WGS84.

En la siguiente tabla se muestran las coordenadas:

**Tabla N° 5:** Ubicación geográfica.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| PUNTO | COORDENADAS GEOGRÁFICAS | | | COORDENADAS UTM | | |
| Latitud (ϕ) | Longitud (λ) | Altitud | Este | Norte | Altitud |
| Inicial | 7°9´25.76" | 78°30´24.45" | 2614.84 | 775379.95 | 9208122.53 | 2614.84 |
| Final | 7°8´59.13" | 78°30´38.24" | 2615.85 | 774961.06 | 9208943.37 | 2615.85 |

Elaboración propia.

## **METODOLOGÍA**

La Investigación fue aplicada en su primera parte con un nivel descriptivo, luego explicativo y finalmente comparativo.

**Tabla N° 6:** Tipificación de la investigación.

|  |  |
| --- | --- |
| CRITERIO | TIPO |
| Finalidad | Aplicada |
| Estrategia o enfoque metodólogo | Cuantitativa |
| Objetivos | Descriptivo-explicativo-comparativo |
| Fuente de datos | Primaria |
| Diseño de prueba de hipótesis | Experimental |
| Temporalidad | Transversal |
| Contexto donde se desarrolla | Laboratorio y gabinete |
| Intervención disciplinaria | Unidisciplinaria |

Elaboración propia.

## **PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

## **ESTUDIO TOPOGRÁFICO**

Se realizó el Levantamiento Topográfico en la Vía. de Evitamiento Norte, entre Av. Hoyos Rubio y Jr. Carlos Malpica los puntos obtenidos se muestra en el Anexo A.

## **ESTUDIO DE TRÁFICO**

Después de realizar el conteo de vehículos y análisis de tráfico se tiene (Ver Anexo B):

Carril derecho: 4485744.31 ESAL´S

Carril izquierdo: 3973256.88 ESAL´S

## **ESTUDIO DE SUELO**

## **OBTENCIÓN EN LABORATORIO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS (CUARTEO) - MTC E 105**

1. **PROCEDIMIENTO MÉTODO B. CUARTEO MANUAL**

Se colocó la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas para mezclar bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se depositó en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.

Cuidadosamente se aplanó y extiendió la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.

Se dividió diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separó dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclaron sucesivamente y se repitió la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida

REFERENCIA NORMATIVA: NTP 339.089: SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)

## **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - MTC E 107**

Se preparó una muestra para el ensayo constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaron por separado.

1. **PROCEDIMIENTO**

En la operación de tamizado manual se movió el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantuvo en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunirlas con lo retenido en el tamiz.

Se determinó el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

REFERENCIA NORMATIVA: ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

## **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO - MTC E 108**

1. **ESPÉCIMEN DEL ENSAYO**

* La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total se tomó de acuerdo a lo siguiente:

**Tabla N° 7:** Cantidad mínima de material húmedo representativo.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%) | Tamaño de malla estándar | Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados | |
| a ± 0,1% | a ± 1% |
| 2 mm o menos | 2,00 mm (Nº 10) | 20 g | 20 g \* |
| 4,75 mm | 4,760 mm (Nº 4) | 100 g | 20 g \* |
| 9,50 mm | 9,525 mm (3/8”) | 500 g | 50 g |
| 19,00 mm | 19,050 mm (3/4”) | 2,5 kg | 250 g |
| 37,50 mm | 38,1 mm (1 .”) | 10 kg | 1 kg |
| 75,00 mm | 76,200 mm (3”) | 50 kg | 5 kg |

Nota. - \* Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

**Fuente:** Tomado del Manual de ensayo de materiales. MTC. 2016.

1. **PROCEDIMIENTO**

* Se determinó y registró la masa de un contenedor limpio y seco.
* Se seleccionó especímenes de ensayo húmedo representativo y se colocó en el contenedor.
* Se determinó y registró el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza con sensibilidad de 0.1 gramos.
* Se colocó el contenedor con material húmedo en el horno a 110 ± 5 ºC por 24 horas, luego se puso el contenedor a temperatura ambiente hasta enfriarse y se anotó el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza.

REFERENCIA NORMATIVA: ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.

## **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - MTC E 110**

1. **PROCEDIMIENTO**

* Se colocó una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo y formando una superficie aproximadamente horizontal.
* Utilizando el acanalador se dividió la muestra contenida en la copa haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que une el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se cortó la ranura se mantuvo el acanalador contra la superficie de la copa y se trazó un arco manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento.
* Se verificó que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Se levantó y soltó la copa girando el manubrio hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).
* Se registró el número de golpes (N) necesario para cerrar la ranura. Se tomó una tajada de suelo de aproximadamente el ancho de la espátula extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto y se colocó en un recipiente de peso conocido.
* Se regresó el suelo remanente de la copa al plato de mezclado. Se lavó y secó la copa y el acanalador y se fijó la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.
* Se mezcló nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura y se repitieron los pasos anteriores. Una de estas pruebas se realizó para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
* Se determinó el contenido de humedad (Wn), del espécimen de suelo de cada prueba.

REFERENCIA NORMATIVA: NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

## **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.) - MTC E 111**

1. **PROCEDIMIENTO**

* Se moldeó la mitad de la muestra en forma de elipsoide y se rodó con los dedos de la mano sobre una superficie lisa con la presión necesaria para formar cilindros, se determinó el contenido de humedad y se repitió con la otra mitad de la masa el proceso indicado en el proceso anterior.

Nota: Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

REFERENCIA NORMATIVA: NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

## **COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) - MTC E 115**

1. **MUESTRA**

Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.

Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm (¾ pulg).

Número de Capas: 5

Golpes por Capa: 56

1. **PROCEDIMIENTO**

Se redujo el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable ya que estuvo demasiado húmedo, se disgregó por completo los grumos para evitar que las partículas individuales se quiebren y se pasó el tamiz 9,5 mm (⅜ pulg). Se usó aproximadamente 5.9 kg del suelo tamizado para cada espécimen compactado y se añadió las cantidades requeridas de agua.

Se determinó y anotó la masa del molde y el plato de base con aproximación al gramo.

Se ensambló y aseguró el molde y el collar al plato base, se colocó el suelo suelto dentro del molde y se extendió en una capa de espesor uniforme, suavemente se apisonó el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación se compactó cada capa con 56 golpes. La cantidad total de suelo compactado no debe exceder 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde, sino éste será descartado.

Después de la compactación de la última capa se removió el collar y plato base del molde, cuidadosamente se enrasó el espécimen compactado por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana. Se rellenó cualquier hoyo de la superficie con suelo no usado o cortado del espécimen, se presionó con los dedos y se volvió a raspar con la regla recta.

Se determinó la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

Se cortó axialmente por el centro del espécimen compactado utilizando una porción representativa para determinar el contenido de agua y se removió el material del molde.

REFERENCIA NORMATIVA: ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m3 (56 000 pie-lbf/pie3)).

## **CBR DE SUELOS (LABORATORIO) - MTC E 132**

1. **PROCEDIMIENTO**

Preparación de la Muestra: Se utilizó la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR del material que pasa por el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se determinó la humedad natural, conocida ésta se añadió la cantidad de agua que faltó para alcanzar la humedad óptima determinada según el ensayo de compactación y se mezcló con la muestra.

Elaboración de especímenes: Se pesó el molde con su base, se colocó el collar y el disco espaciador y sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Se compactó el espécimen, para suelos granulares la prueba se efectuó dando 56, 25 y 10 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente al óptimo, necesarios para que el suelo quede con la humedad y densidad deseados.

Se tomó una porción de material antes de la compactación y otra al final, se mezclaron y se determinó la humedad del suelo. Terminada la compactación, se quitó el collar y se enrasó el espécimen. Cualquier depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenaron con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Se desmontó el molde y se volvió a montar invertido, sin disco espaciador colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesó con aproximación al gramo.

Inmersión: Se colocó sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago y sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga de 2.27 kg correspondientes a una pesa. Se tomó la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anotó su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumergió el molde en el tanque con la sobrecarga, se mantuvo la probeta en estas condiciones durante 4 días y se anotó las lecturas cada 24 horas.

Después del periodo de inmersión se sacó el molde del tanque, se dejó escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retiró la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesó y se procedió a realizar el ensayo de penetración.

Penetración: Se aplicó una sobrecarga de 2.27 Kg, se llevó el conjunto a la prensa, se colocó en el orificio central de la sobrecarga anular el pistón de penetración y se añadió el resto de la sobrecarga hasta completar la que se utilizó en la inmersión. Se montó el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplicó una carga de 5 kg para que el pistón asiente, se situaron en cero las agujas de los diales medidores y se aplicó la carga sobre el pistón de penetración controlando la velocidad mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro

**Tabla N° 8:** Lectura de carga para las siguientes penetraciones.

|  |  |
| --- | --- |
| Milímetros | Pulgadas |
| 0.63 | 0.025 |
| 1.27 | 0.050 |
| 1.90 | 0.075 |
| 2.54 | 0.100 |
| 3.17 | 0.125 |
| 3.81 | 0.150 |
| 5.08 | 0.200 |
| 7.62 | 0.300 |
| 10.16 | 0.400 |
| 12.70 | 0.500 |

**Fuente:** Tomado del Manual de ensayo de materiales. MTC. 2016.

Se desmontó el molde y se tomó de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

REFERENCIA NORMATIVA: ASTM D 1883: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

## **ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.) - MTC E 207**

1. **MUESTRA**

Carga: La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo es como sigue:

**Tabla N° 9:** Gradación y carga.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| GRADACIÓN | NÚMERO DE  ESFERAS | MASA DE  LA CARGA (g) |
| A | 12 | 5 000 ± 25 |
| B | 11 | 4 584 ± 25 |
| C | 8 | 3 330 ± 25 |
| D | 6 | 2 500 ± 25 |

**Fuente:** Tomado del Manual de ensayo de materiales. MTC. 2016.

**Nota:** Para obtener la resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19mm (3/4”) la carga consistirá en 12 esferas de acero de aproximadamente 47,0 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g; y con una masa total de 5 000 ± 25 g.

Se lavó y secó al horno la muestra a 110 ± 5 ºC, se recombinó lo más cercano a la gradación de la tabla siguiente y se registró la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación al gramo.

**Tabla N° 10:** Gradación de las muestras de ensayo.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| MEDIDA DEL TAMIZ (ABERTURA CUADRADA) | | MASA DE TAMAÑO INDICADO, g | | | |
| **GRADACIÓN** | | | |
| QUE PASA | **RETENIDO SOBRE** | A | B | C | D |
| 37,5 mm (1 ½”) | 25,0 mm (1”) | 1 250 ± 25 | - | - | - |
| 25,0 mm (1”) | 19,0 mm (3/4”) | 1 250 ± 25 | - | - | - |
| 19,0 mm (3/4”) | 12,5 mm (1/2”) | 1 250 ±10 | 2 500 ±10 | - | - |
| 12,5 mm (1/2”) | 9,5 mm (3/8”) | 1 250 ±10 | 2 500 ±10 | - | - |
| 9,5 mm (3/8”) | 6,3 mm (1/4”) | - | - | 2 500 ±10 | - |
| 6,3 mm (1/4”) | 4,75 mm (Nº 4) | - | - | 2 500 ±10 | - |
| 4,75 mm (Nº 4) | 2,36 mm (Nº 8) | - | - |  | 5 000 |
| TOTAL | | 5 000 ±10 | 5 000 ±10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ±10 |

**Fuente:** Tomado del Manual de ensayo de materiales. MTC. 2016.

1. **PROCEDIMIENTO**

Se colocó la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles rotando a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego se descargó el material de la máquina y se realizó una separación preliminar de la muestra sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Se secó al horno a 110 ± 5 ºC, hasta peso constante y se determinó la masa con una aproximación al gramo.

REFERENCIA NORMATIVA: NTP 400.019: Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.

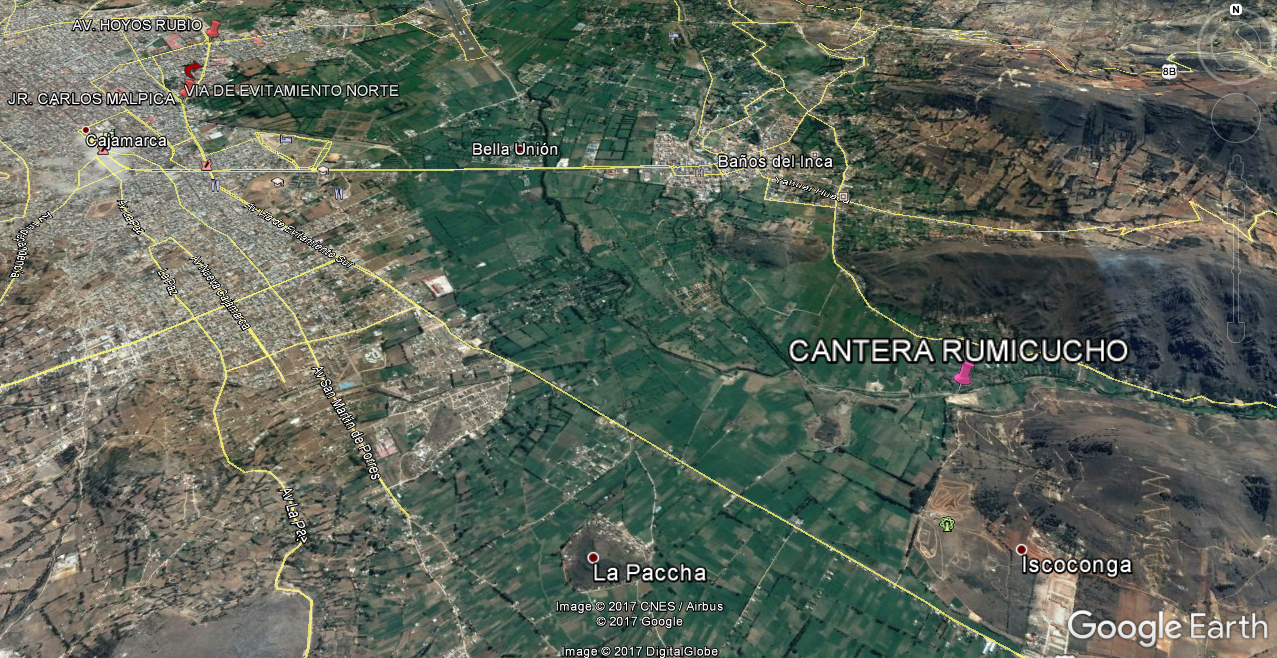
## **SELECCIÓN DE CANTERA**

Se tuvo en cuenta los requerimientos de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 del Manual de Carreteras para seleccionar el material para subbase granular de la cantera Rumicucho.

1. **LOCALIZACIÓN**

La cantera Rumicucho se encuentra ubicada carretera a Jesús en el centro poblado Iscoconga, distrito Llacanora, provincia Cajamarca y departamento de Cajamarca, con coordenadas UTM-WGS 1984 datum, zona 17 Sur: Este: 781400.12 m, Norte: 9204884.09 m, Cota: 2636.21 msnm. Actualmente se encuentra administrada por el Sr. Julio Ordoñez Pérez.

**Figura N° 14:** Ubicación de cantera Rumicucho.



**Carretera a Jesús**

**Fuente:** Tomado de Google Earth Pro 2018.

**Figura N° 15:** Cantera Rumicucho.



**CANTERA RUMICUCHO**

**Rio Cajamarquino**

**Fuente:** Tomado de Google Earth Pro 2018.

1. **ACCESIBILIDAD**

Para acceder a la cantera Rumicucho contamos con dos vías de acceso:

**Tabla N° 11:** Vías de acceso a la cantera Rumicucho.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PRIMER ACCESO | | | |
| TRAMO | **TIPO DE CARRETERA** | **DISTANCIA**  **(km)** | **TIEMPO**  **(minutos)** |
| Cajamarca – Baños del Inca | Asfaltada | 7 | 20 |
| Baños del Inca – Huairapongo Chico | Asfaltada | 3 | 8 |
| Huairapongo Chico – C. Rumicucho | Trocha | 0.5 | 10 |
| SEGUNDO ACCESO | | | |
| TRAMO | **TIPO DE CARRETERA** | **DISTANCIA**  **(km)** | **TIEMPO**  **(minutos)** |
| Cajamarca – fundo la Victoria | Asfaltada | 10 | 30 |
| fundo la Victoria – cantera Rumicucho | Trocha | 1 | 15 |

Elaboración propia.

## **CLASIFICACIÓN DE VÍA**

1. **SEGÚN LA LEY DE JERARQUIZACIÓN VIAL**

La vía de Evitamiento Norte pertenece a la Red vial Nacional por formar parte del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) de la ruta longitudinal de la Sierra Norte o PE-3N. (D.S. N° 011-2016)-Ver Anexo C.

1. **POR DEMANDA**

La vía de Evitamiento Norte pertenece a Autopistas de Primera Clase porque el IMDA es mayor a 6.000 veh/día. Se tiene 6 168 veh/día en carril derecho y 6687 veh/día en el carril izquierdo, además tiene un separador central que divide las calzadas de dos carriles cada una.

1. **POR SU OROGRAFÍA**

La vía de Evitamiento Norte pertenece a terreno plano (Tipo I)

# CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## **DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASTHO**

1. **VARIABLE DE TIEMPO**

**Tabla N° 12:** Periodo de análisis.

|  |  |
| --- | --- |
| TIPO DE CAMINO | PERIODO DE ANALISIS |
|
| Gran volumen de tránsito urbano | 30 - 50 años |
| Gran volumen de tránsito rural | 20 - 50 años |
| Bajo volumen pavimentado | **15 - 25 años** |
| Bajo volumen revestido | 10 - 20 años |

**Fuente:** Tomado de la Guía de diseño de pavimentos. 1993.

|  |  |
| --- | --- |
| Periodo de diseño: | **Pd = 20 años** |

1. **ANÁLISIS DE TRÁFICO**
2. **FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN**

Según la dirección que adoptó el tráfico = 1.0

1. **FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL**

**Tabla N° 13:** Factor de distribución por carril.

|  |  |
| --- | --- |
| Número de carriles en una dirección | % ejes simples equivalentes de 82kN en carril de diseño |
|
| 1 | 1.00 |
| 2 | **0.80 - 1.00** |
| 3 | 0.60 - 0.80 |
| 4 | 0.50 - 0.75 |

**Fuente:** Tomado la Guía de diseño de pavimentos. 1993.

Según número de carriles en una dirección = 0.80

1. **FACTOR DE CRECIMIENTO**

Tasa de crecimiento (2017) = 2.5

Valor obtenido de data del Banco Central de Reserva del Perú

Se usó la fórmula (2.1):

Donde:

r = 0.025

n = 20 años

Factor de crecimiento =

Factor de crecimiento = 25.54

Por lo tanto, del análisis de tráfico (Ver Anexo B2) se obtiene:

Carril derecho =  **4485744** **ESAL´s**

Carril izquierdo = **3973257 ESAL´s**

**Tabla N° 14:** Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño.

|  |  |
| --- | --- |
| Tipos tráfico pesado  expresado en EE | Rangos de tráfico pesado  expresado en EE |
| TP0 | > 75,000 EE ≤ 150,000 EE |
| TP1 | > 150,000 EE ≤ 300,000 EE |
| TP2 | > 300,000 EE ≤ 500,000 EE |
| TP3 | > 500,000 EE ≤ 750,000 EE |
| TP4 | > 750,000 EE ≤ 1’000,000 EE |
| TP5 | > 1’000,000 EE ≤ 1’500,000 EE |
| TP6 | > 1’500,000 EE ≤ 3’000,000 EE |
| TP7 | **> 3’000,000 EE ≤ 5’000,000 EE** |
| TP8 | > 5’000,000 EE ≤ 7’500,000 EE |
| TP9 | > 7’500,000 EE ≤ 10’000,000 EE |
| TP10 | > 10’000,000 EE ≤ 12’500,000 EE |
| TP11 | > 12’500,000 EE ≤ 15’000,000 EE |
| TP12 | > 15’000,000 EE ≤ 20’000,000 EE |
| TP13 | > 20’000,000 EE ≤ 25’000,000 EE |
| TP14 | > 25’000,000 EE ≤ 30’000,000 EE |
| TP15 | > 30’000,000 EE |

**Fuente:** Tomado del Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

Para caminos pavimentados se obtuvo un tráfico pesado Tp7 para ambos carriles porque el valor ESAL´s está entre el rango 3´000,000 EE y 5´000,00.

Para el siguiente diseño se trabajó con el mayor valor correspondiente a:

|  |
| --- |
| **Tráfico Tp7** |

1. **SERVICIABILIDAD**
2. **SERVICIABILIDAD INICIAL (Po)**

**Tabla N° 15:** Índice de Serviciabilidad inicial.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| TIPO DE CAMINO | TRÁFICO | (Po) |
| Caminos de bajo volumen de tránsito | Tp1 | 4.1 |
| Tp2 | 4.1 |
| Tp3 | 4.1 |
| Tp4 | 4.1 |
| Resto de caminos | Tp5 | 4.3 |
| Tp6 | 4.3 |
| **Tp7** | **4.3** |
| Tp8 | 4.3 |
| Tp9 | 4.3 |
| Tp10 | 4.3 |
| Tp11 | 4.3 |
| Tp12 | 4.5 |
| Tp13 | 4.5 |
| Tp14 | 4.5 |
| Tp15 | 4.5 |

**Fuente:** Tomado del Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Serviciabilidad inicial | **Po =** | **4.30** |

1. **SERVICIABILIDAD FINAL (Pf)**

**Tabla N° 16:** Índice de Serviciabilidad final.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| TIPO DE CAMINO | TRÁFICO | (Pf) |
| Caminos de bajo volumen de tránsito | Tp1 | 2 |
| Tp2 | 2 |
| Tp3 | 2 |
| Tp4 | 2 |
| Resto de caminos | Tp5 | 2.5 |
| Tp6 | 2.5 |
| **Tp7** | **2.5** |
| Tp8 | 2.5 |
| Tp9 | 2.5 |
| Tp10 | 2.5 |
| Tp11 | 2.5 |
| Tp12 | 3 |
| Tp13 | 3 |
| Tp14 | 3 |
| Tp15 | 3 |

**Fuente:** Tomado del Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

|  |  |
| --- | --- |
| Serviciabilidad final: | **Pf = 2.50** |

1. **DIFERENCIA DE SERVICIABILIDAD (∆PSI)**

∆PSI = Po - Pt (3.1)

|  |
| --- |
| **∆PSI = 1.80** |

1. **FACTOR DE CONFIABILIDAD (R) Y LA DESVIACIÓN ESTANDAR (So)**

**Tabla N° 17:** Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| TIPO DE CAMINO | TRAFICO | NIVEL DE CONFIABILIDAD (R) | DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr) |
| Caminos de bajo volumen de tránsito | Tp0 | 65% | - 0.385 |
| Tp1 | 70% | - 0.524 |
| Tp2 | 75% | - 0.674 |
| Tp3 | 80% | - 0.842 |
| Tp4 | 80% | - 0.842 |
| Resto de caminos | Tp5 | 85% | - 1.036 |
| Tp6 | 85% | - 1.036 |
| **Tp7** | **85%** | **- 1.036** |
| Tp8 | 90% | - 1.282 |
| Tp9 | 90% | - 1.282 |
| Tp10 | 90% | - 1.282 |
| Tp11 | 90% | - 1.282 |
| Tp12 | 90% | - 1.282 |
| Tp13 | 90% | - 1.282 |
| Tp14 | 90% | - 1.282 |
| Tp15 | 95% | - 1.645 |

**Fuente:** Tomado del Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

|  |  |
| --- | --- |
| Desviación estándar | **So = 0.35** |
| Nivel de confiabilidad | **R = 85%** |
| Desviación estándar normal | **Zr = -1.036** |

1. **MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (Psi)**

Se usó la fórmula 2.2:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **f´c (Kg/cm2) =** | 210 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **f´c (Psi) =** | 2986.06 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | **Ec (Psi) =** | **3114755.88** | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. **MÓDULO DE ROTURA (S´c)**

Se usó la fórmula 2.3:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | **S´c (Psi) =** | **623.99** |  |

1. **MÓDULO DE REACCIÓN EFECTIVO DE LA SUBRASANTE (K)**

Del estudio de Mecánica de Suelos del material obtenido de las calicatas ubicadas en la Vía de Evitamiento Norte se obtuvo (Ver Anexo D) C.B.R= 9.50% y del material de cantera Rumicucho para subbase granular (Ver Anexo E) se obtuvo C.B.R= 34.00%

Datos de la sub base:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CBR = | 34 | % | Espesor: | 20 | cm |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Si CBR <= 10% | |  |  |  |  |
| K = 2.55+52.5 LOG (CBR) | | | | |  |
| Si CBR > 10% | |  |  |  |  |
| K = 46+9.08 (LOG (CBR))^4.34 | | | | | |
| K = | 103.74 | Mpa/m | |  |  |

Datos del suelo de fundación:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| CBR = | 9.50 | | | % |
| Si CBR <= 10 | | | |  | | |  |  |  |
| K = 2.55+52.5 LOG (CBR) | | | | | | | | |  |
| Si CBR > 10 | | | |  | | |  |  |  |
| K = 46+9.08 (LOG (CBR))^4.34 | | | | | | | | | |
| K = | | | 53.88 | Mpa/m | | | |  |  |

Fórmula 2.4, el módulo de reacción compuesto de la subrasante (K):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| K= | 64.40 | Mpa/m |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K) = |  | **64** | **Mpa/m** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (K) = | **238** | **Psi** |

1. **TRANSFERENCIA DE CARGAS (J)**

**Tabla N° 18:** Valores de coeficiente de transmisión de carga J.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| TIPO DE BERMA | GRANULAR O ASFÁLTICA | | CONCRETO HIDRÁULICO | |
| VALORES  J | SI (con pasadores) | NO (con pasadores) | **SI (con pasadores)** | NO (con pasadores) |
| 3.2 | 3.8 - 4.4 | **2.8** | 3.8 |
|

**Fuente:** Tomado del Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

La necesidad del uso de dowels y/o pasadores en las juntas transversales de contracción depende del servicio al que estará sometido el pavimento. Para el proyecto en estudio se usará:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **J** | **=** | **2.8** |

1. **COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)**

**Tabla N° 19:** Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad.

|  |  |
| --- | --- |
| PSI | CALIFICACIÓN |
|
| 0,0 | Intransitable |
| 0,1 - 1,0 | Muy malo |
| 1,1 - 2,0 | **Malo** |
| 2,1 - 3,0 | Regular |
| 3,1 - 4,0 | Bueno |
| 4,1 - 4,9 | Muy bueno |
| 5,0 | Excelente |

**Fuente:** Tomado de la Norma CE 010. 2010.

**Tabla N° 20:** Coeficiente de drenaje Cd.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cd | Tiempo Transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre | Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación | | | |
| Calificación | **<1%** | **1 - 5%** | **5 - 25%** | **>25%** |
| Excelente | 2 horas | 1.25 - 1.20 | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 |
| Bueno | 1 día | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 |
| Regular | **1 semana** | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | **0.90** |
| Pobre | 1 mes | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 |
| Muy pobre | El agua no drena | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 - 0.70 | 0.70 |

**Fuente:** Tomado del Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

Se considera el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación > 25% ya que la Vía de Evitamiento Norte se encuentra incluida en las áreas de inundación de Cajamarca. Ver Anexo F.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Por lo que el coeficiente de drenaje: |  |  |  |  | **Cd (elegido)** | **=** | **0.90** |

1. **CÁLCULO DEL ESPESOR DE LOSA MEDIANTE FÓRMULA GENERAL**

La fórmula general para el diseño de pavimentos rígidos está basada en los resultados obtenidos de la prueba Aashto. La fórmula es la siguiente:

Donde:

W18 = número de cargas de 18 kips (80 KN) – Número ESAL’s

Zr = Desviación Estándar Normal

So = Error estándar combinado de la predicción del tráfico

D = Espesor de la losa del pavimento, en pulg.

PSI = Diferencia de serviciabilidad prevista en el diseño (Po-Pt)

Po = serviciabilidad inicial

Pt = serviciabilidad final

Sc' = módulo de rotura de concreto, en psi

Cd = coeficiente de drenaje

J = coeficiente de transferencia de cargas

Ec = módulo de elasticidad de concreto, en psi

K = módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balasto), en psi

**DATOS**

|  |  |
| --- | --- |
| EALS = 4485744.31(EALS)  Zr = - 1.036  So = 0.35  Pt = 2.50  ΔPSI = 1.80  S'c = 623.99 Psi | Ec = 3,114,755.88 Psi  **K = 238 Psi**  J = 2.8  Cd = 0.90  D(pulg) = **8.16 in** (Asumido) |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  | |  |  | = | -0.363+7.068-0.006+-0.20+3.42x-0.04407 | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |
| 6.652 | | | = | 6.652 | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
| Variar Drequerido hasta que N18 nominal = N18 calculado | | | | | | | | |  |  |  |  | |  |  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6.65 | | = | 6.65 | |  |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
| De la fórmula se obtiene un espesor de la losa de: | | | | | | | | |  |  |  | 8.16 | | pul |  | ≈ | 8.16 | | pulg | | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ≈ | **20.76** | | **cm** |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
| Espesor de la losa de concreto adoptado | | | | | | |  |  |  |  | **D =** | **21.00** | | **cm** |  |  |  |  |  |  | |  | |

1. **CÁLCULO ESPESOR DE SUB – BASE**

Se observa que el material para subbase granular cumple con la gradación B de la tabla N° 2.2. Ver ensayo de mecánica de suelos del material de cantera Rumicucho en el Anexo E.

**Tabla N° 21:** Gradación del material para subbase granular de la cantera Rumicucho.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TAMIZ N° | ABERT (mm) | PESO RETEN. (gr) | RET. PARCIAL % | RETEN. ACUMULAD. % | QUE PASA % | GRADAC. B |
|
| 3" | 76.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |  |
| 2" | 50.80 | 276.90 | 2.45 | 2.45 | 97.55 | **100 - 100** |
| 1 1/2" | 38.10 | 1128.70 | 9.99 | 12.44 | 87.56 |  |
| 1" | 25.40 | 1936.10 | 17.13 | 29.57 | 70.43 | **75 - 95** |
| 3/4" | 19.00 | 1115.20 | 9.87 | 39.44 | 60.56 |  |
| 1/2" | 12.70 | 1137.00 | 10.06 | 49.50 | 50.50 |  |
| 3/8" | 9.50 | 574.30 | 5.08 | 54.58 | 45.42 | **40 - 75** |
| Nº 4 | 4.75 | 853.10 | 7.55 | 62.13 | 37.87 | **30 - 60** |
| Nº 10 | 2.00 | 508.52 | 4.50 | 66.63 | 33.37 | **20 - 45** |
| Nº 20 | 0.85 | 474.62 | 4.20 | 70.83 | 29.17 |  |
| Nº 30 | 0.60 | 282.51 | 2.50 | 73.33 | 26.67 |  |
| Nº 40 | 0.425 | 384.217 | 3.40 | 76.73 | 23.27 | **15 - 30** |
| Nº 60 | 0.250 | 779.73 | 6.90 | 83.63 | 16.37 |  |
| Nº 100 | 0.150 | 565.03 | 5.00 | 88.63 | 11.37 |  |
| Nº 200 | 0.075 | 339.02 | 3.00 | 91.63 | 8.37 | 5 - 15 |
| Cazoleta | 0.000 | 937.94 | 8.30 | 99.93 | 0.07 |  |

Elaboración propia.

Se verificó los siguientes requerimientos mínimos de la Tabla N° 22: Abrasión los Ángeles, CBR, Límite líquido e Índice de plasticidad (Ver ensayo de mecánica de suelos del material de cantera Rumicucho en el Anexo E), se procede a elegir el espesor recomendado:

**Tabla N° 22:** Espesores mínimos recomendados para la subbase de un pavimento rígido.

|  |  |
| --- | --- |
| SUBBASE | ESPESOR (cm) |
| Granular | **10 a 20** |
| Estabilización con cemento | 10 a 15 |

**Fuente:** Tomado del (PCA) para diseño de pavimentos. 1984.

|  |  |
| --- | --- |
| De la tabla se obtiene que el espesor de la subbase es: | **20 cm** |

1. **BOMBEO**

**Tabla N° 23:** Valores de Bombeo

|  |  |
| --- | --- |
| TIPO DE CALZADA | BOMBEO (%) |
| Concreto Hidráulico | **1-1.5** |
| Mezcla Asfáltica | 2 |
| Tratamiento superficial | 2.5 |
| Natural o mejorada | 4 |

**Fuente:** Tomado de Los pavimentos en las vías terrestres, calles, carreteras y aeropistas. 2002.

De acuerdo a la tabla el bombeo es: 1.5% sin embargo para la ciudad de Cajamarca por ser una zona lluviosa se diseñó la pavimentación con un bombeo de 2.0%.

Del diseño de pavimento rígido – Método Aastho sin reforzamiento se obtuvo entonces:

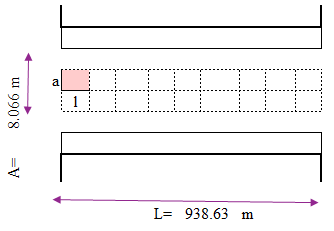
Espesor de la losa de concreto: 21 cm

Espesor de subbase: 20 cm

Ver plano de detalles de pavimento sin reforzamiento (PD-01)

1. **DISEÑO DE JUNTAS**

**Figura N° 16:** Detalle - diseño de juntas.



Elaboración propia.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Según AASHTO 93**, el tamaño de las losas determina en cierta forma la disposición de las juntas transversales y las juntas longitudinales. La longitud de la losa no debe ser mayor a 1.25 veces el ancho y que no sea mayor a 4.50 m. En zonas de altura mayores a 3000 msnm se recomienda que las losas sean cuadradas o en todo caso, losas cortas conservando el espesor definido. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|
|
|
|
| **Formula sin Dowels:** | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | 0.80 | | < | l | < | 1.25 | |  | ; l ≤ 4.50 (Condición) | | | | | | | | |  |
|  |  |  |  |  | a |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Condición: | | |  |  |  | **0.80** | | **<** | **l** | **<** | **1.25** | |  | ; |  |  |  | |  | | |  |
|  |  |  |  |  |  | **a** |  |  |
|  |  |  |  |  |  | **0.8x a** | | **<** | **l** | **<** | **1.25xa** | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Datos: | |  |  |  | A | = | 8.066 | | m | → | a | = | A/2 | = | 4.033 | | m |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | L | = | 938.55 | | m |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | l | = | ? | | m |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Reemplazando en | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | 0.8 x 4.033 | | | < | l | < | 1.25 x 4.033 | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 3.226 | | < | l | < | 5.04 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| De acuerdo a las condiciones establecidas, se asignó una longitud para el paño: | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **l** | = | **4.00** | | **m** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | # paños = | | = | 234.64 | | paños | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **M.1. JUNTA TRANSVERSAL DE CONTRACCIÓN**: Son las que se construyen para controlar las fisuras por liberación de tensiones debidas a temperatura, humedad y fricción. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Dimensiones: | | |  |  | Espesor de Losa (e) | | | | |  | = | **21.00** | | cm |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | Altura de sello (e/3) | | | | |  | = | 7.00 | | cm |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | Anchura de sello (3/8'') | | | | |  | = | 0.95 | | cm |  |  |  |  |  |  |  |

**Figura N° 17:** Detalle de junta transversal de contracción.



Elaboración propia.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **M.2. JUNTA TRANSVERSAL DE DILATACIÓN:** Son las que permiten el movimiento del pavimento sin dañar las estructuras adyacentes (puentes, alcantarillas u otro pavimento) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Dimensiones: | | |  |  | Espesor de losa (e) | | | | |  | = | **21.00** | | cm |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | Ancho de junta (1") | | | | |  | = | 2.54 | | cm |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Figura N° 18:** Detalle de junta transversal de dilatación



Elaboración propia.

|  |
| --- |
| **M.3. JUNTA LONGITUDINAL:** Es aquella que ocurre en forma continua a lo largo del pavimento. Se ubican coincidiendo con el eje de la calzada y/o paralelas al mismo, espaciadas a no más de 4m. El propósito de las juntas longitudinales es simplemente el de controlar los esfuerzos de alabeo por temperatura en forma tal, que no se presente un agrietamiento longitudinal en el pavimento. Por lo tanto, se diseñará la junta longitudinal en el eje de la calzada. |
|
|
|
|

En el Anexo I se presenta las secciones transversales de ambos ejes de la Vía de Evitamiento Norte y el detalle de las secciones típicas teniendo en cuenta el espesor de pavimento rígido obtenido.

1. **DISEÑO CON USO DE GEOMALLA**

Periodo de diseño: 20 años

Tráfico tipo: Tp7

Serviciabilidad inicial (Po): 4.30

Serviciabilidad final (Pf): 2.50

Diferencia de Serviciabilidad (∆PSI): 1.80

Desviación estándar (So): 0.35

Nivel de confiabilidad (R): 90%

Desviación estándar normal (Zr): -1.282

Módulo de elasticidad del concreto (Ec): 3114755.88 Psi

Módulo de rotura (S´c): 623.99 Psi

Transferencia de cargas (J): 2.8

Coeficiente de drenaje (Cd): 0.90

Módulo de reacción compuesto de la subrasante con uso de geomalla (k):

Datos de la sub base:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CBR = | 34 | % | Espesor: | 20 | cm |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Si CBR <= 10% | |  |  |  |  |
| K = 2.55+52.5 LOG (CBR) | | | | |  |
| Si CBR > 10 | |  |  |  |  |
| K = 46+9.08 (LOG (CBR))^4.34 | | | | | |
| K = | 103.74 | Mpa/m | |  |  |

Datos del suelo de fundación:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| CBR = | 9.50 |  | % |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Si CBR <= 10 | |  |  |  |  |
| K = 2.55+52.5 LOG (CBR) | | | | |  |
| Si CBR > 10 | |  |  |  |  |
| K = 46+9.08 (LOG (CBR))^4.34 | | | | | |
| K = | 53.88 | Mpa/m | |  |  |

(3.2)

Donde factor de mejoramiento (fm) = 1.85\*

\*Reporte: “Módulo resiliente, deformación permanente de carga repetida y prueba de carga de placa de material triturado mecánicamente estabilizado”

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| K= | 119.14 | Mpa/m |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K) = |  | **119** | **Mpa/m** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (K) = | **440** | **Psi** |

* 1. **Calculo del espesor de losa mediante formula general**

**DATOS**

|  |  |
| --- | --- |
| EALS = 4485744.31(EALS)  Zr = - 1.036  So = 0.35  Pt = 2.50  ΔPSI = 1.80  S'c = 623.99 Psi | Ec = 3,114,755.88 Psi  **K = 440 Psi**  J = 2.8  Cd = 0.90  D(pulg) = **7.63 in** (Asumido) |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  | |  |  | = | -0.363+6.88-0.006+-0.19+3.42x-0.095345 | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |
| 6.652 | | | = | 6.652 | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
| Variar Drequerido hasta que N18 nominal = N18 calculado | | | | | | | | |  |  |  |  | |  |  |  |  | |  |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6.65 | | = | 6.65 | |  |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
| De la fórmula se obtuvo un espesor de la losa de: | | | | | | | | |  |  |  | 7.63 | | pul |  | ≈ | 7.63 | | pulg | | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ≈ | **19.38** | | **cm** |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |
| Espesor de la losa de concreto adoptado | | | | | | |  |  |  |  | **D =** | **19.00** | | **cm** |  |  |  |  |  |  | |  | |

Del diseño de pavimento rígido – Método Aastho con reforzamiento se obtuvo entonces:

Espesor de la losa de concreto: 19 cm

Espesor de subbase: 20 cm

Ver plano de detalles de pavimento con reforzamiento (PD-02)

Ver en Anexo I las secciones transversales de ambos ejes de la Vía de Evitamiento Norte.

## **PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASTHO**

Se realizó el metrado de las partidas correspondientes al diseño de pavimento rígido – Método Aastho sin reforzamiento; es decir, sin reforzamiento (Ver Anexo G.1.) y su presupuesto (Ver Anexo G.2.) y el de las con uso de geomalla (Ver Anexo G.3.) y su respectivo presupuesto (Ver Anexo G.4.).

## **COMPARACIÓN TÉCNICA**

Se realizó una comparación técnica de los diseños llevados a cabo y se apreció el espesor final para cada caso. Se puede ver en la siguiente tabla que hay una reducción en los espesores de las secciones con uso de geomalla respecto a la sección no reforzada.

**Tabla N° 24:** Comparación técnica de pavimento rígido.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | ESPESORES | |
| **PAVIMENTO RIGIDO SIN REFORZAMIENTO** | **PAVIMENTO RIGIDO CON USO DE GEOMALLA** |
| LOSA DE CONCRETO | 21 cm | 19 cm |
| SUBBASE GRANULAR | 20 cm | 20 cm |

Elaboración propia.

## **COMPARACIÓN ECONÓMICA**

Se realizó una comparación económica (obtención de valores de Anexo G) se obtuvo el área total del pavimento y costo directo del pavimento rígido con y sin reforzamiento, y de éstos el costo por m2 como se indica:

Costo directo de pavimento rígido sin reforzamiento = S/.2141431.47

Costo directo de pavimento rígido con uso de geomalla = S/.2076689.43

Área de pavimento= 15053.80 M2

Costo (m2) de pavimento rígido sin reforzamiento= 2141431.47/15053.80 = S/.142.25

Costo (m2) de pavimento rígido con uso de geomalla = 2076689.43/15053.80= S/.137.95

**Tabla N° 25:** Comparación económica de pavimento rígido

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | PAVIMENTO RIGIDO SIN REFORZAMIENTO | PAVIMENTO RIGIDO CON USO DE GEOMALLA |
| COSTO POR M2 | S/. 142.25 | S/. 137.95 |

Elaboración propia.

## **CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

Mediante los resultados obtenidos luego del procesamiento de datos se pudo determinar que sí se reduce el espesor del pavimento (Tabla N° 24) y por ende el costo de construcción (Tabla N° 25) al usar la geomalla multiaxial TX 160 en el pavimento rígido según el diseño con el método Aashto en la Vía de Evitamiento Norte, entre el Jr. Carlos Malpica y la Av. Hoyos Rubio confirmando de esta manera la hipótesis planteada.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## **CONCLUSIONES**

* Del estudio de tráfico se obtuvo en el carril derecho 4485744 ESAL´s y en el carril izquierdo 3973257 ESAL´s.
* Mediante la ejecución del ensayo California Bearing Ratio (CBR) realizado en laboratorio se obtuvo de la subrasante el valor de 9.50% y del material granular para subbase de pavimento rígido 34%.
* El módulo de reacción de la subrasante sin refuerzo es de 64.40 Mpa/m y empleando la geomalla multiaxial tipo TX160 es de 119.14 Mpa/m.
* Se obtuvo del diseño del pavimento no reforzado 21cm de espesor losa de concreto premezclado y 20cm de subbase granular mientras que del pavimento reforzado con geomalla multiaxial TX-160 se tiene 19cm de losa de concreto premezclado y 20cm de subbase granular, se concluye que al reforzar el pavimento disminuye el espesor de losa de concreto premezclado en 2cm.
* El costo del pavimento no reforzado por m2 es s/.142.25 y el del pavimento con uso de geomalla TX- 160 es s/.137.95, se concluye que al reforzar el pavimento rígido el costo por m2 es menor en s/.4.30.
* De acuerdo a la investigación realizada se concluye que haciendo uso de la geomalla multiaxial TX160 en el tramo de la Vía de Evitamiento Norte ubicado entre el Jr. Carlos Malpica y Av. Hoyos Rubio se redujo 2cm de espesor de losa y que en 15 053.80 m2 de construcción se ahorró s/.64 731.34.

## **RECOMENDACIONES**

* Evaluar el material de canteras más cercanas al proyecto que cumplan con los requerimientos técnicos para disminuir el costo por flete de los agregados.
* Para considerar en el diseño de pavimentos rígido el uso de reforzamiento con geosintéticos es necesario hacer un estudio de suelo y análisis técnico - económico del proyecto.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO-93. American Association of State Highway and Transportation Officials. 3era edición sept. 1998. Guía de Diseño de Pavimentos. San Juan. Washington, D.C. 237 p. Consultado 20 feb. 2018. Disponible en: https://ishareslide.net/view-doc.html?utm\_ source =diseno-de-pavimento-metodo-aashto-93-espanol

BCRPData (BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ  
Gerencia Central de Estudios Económicos). 2017. Producto bruto interno Lima. Perú. p. irreg. Consultado 5 jul. 2018. Disponible en: https://estadisticas.bcrp.gob.pe/ estadisticas/series/anuales/resultados/PM04983AA/html

Calo, DH. 2008. Diseño de pavimentos rígidos. Córdoba. Argentina. 68 p. Consultado 6 ago. 2018. Disponible en: https://es.slideshare.net/henryj20/diseo-pavimento-rigido

Céspedes Abanto, JM. 2002. Los pavimentos en las vías terrestres, calles, carreteras y aeropistas. Editorial Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú. 320 p.

Cruz Vargas, E. 2013. Influencia de geomallas en los parámetros mecánicos de materiales para vías terrestres. Tesis. Mg. Ing. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 148p. Consultado 4 ago. 2018. Disponible en: http://www.ptolomeo.unam.mx :8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6239/TESIS.pdf?sequence=1

Díaz, J. Escobar, O. Olivo, E. 2009. Aplicación de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de drenaje para carreteras. Tesis. Ing. El Salvador. Universidad de El Salvador. 459 p. Consultado 6 abr. 2017. Disponible en: http://ri.ues.edu.sv/2100/1/Aplicacion\_de\_los\_geosint%C3%A9ticos\_en\_la\_estructura\_de\_los\_pavimentos\_y\_en\_obras\_de\_drenaje\_para\_carreteras.pdf

Gavilanes, N. 2012. Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua – La Maná. Tesis. Ing. Quito. Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 224 p. Consultado 22 mar. 2017. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6427>

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2018. Informe técnico N° 05 – mayo 2018: Flujo vehicular por unidades de peaje. Lima. Perú. 17 p. Consultado 5 jun. 2018. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/infor me-tecnico-n05\_flujo-vehicular-mar2018.pdf

Meléndez, A. 2010. Construcción de vías de acceso utilizando geomallas y geotextiles en terrenos de mala calidad en el proyecto minero Gold Fields La Cima S.A. Hualgayoc. Cajamarca. Perú. 56 p.

Mera Heredia, JM. 2017. Evaluación técnico- económico del uso de geomalla multiaxial como refuerzo en la subrasante de la carretera Santa Cruz-Bellavista, distrito Bellavista-Jaén-Cajamarca. Tesis. Ing. Cajamarca. Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 97 p. Consultado 04 ago. 2018. Disponible en: http://repositorio.unc.edu. pe/bitstream/handle/UNC/1060/T016\_47369691\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). 2013. Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Tomo I. D.S. N° 034-2008-MTC. Lima. Perú. 1274 p. Consultado 13 feb. 2018. Disponible en: http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2013/Febrero/16/RD-03-2013-MTC-14.pdf

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). 2013. Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. D.S. N° 034-2008-MTC. Lima. Perú. 346 p. Consultado 17 nov. 2017. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\_docs /P\_recientes/4515.pdf

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). 2014. Manual de Carreteras. Diseño Geométrico DG-2014. R.D. N° 031 - 2013 - MTC/14. Lima. Perú. 328 p. Consultado 3 dic. 2017. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\_docs/nor mas\_legales/1\_0\_3580.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/nor%20mas_legales/1_0_3580.pdf)

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). 2016. Manual de Ensayo de Materiales. D.S. N° 034-2008-MTC. Lima. Perú. 1268 p. Consultado 21 nov. 2017. Disponible en: ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/harenas/docs/INVESTIGATIVA% 20II%20GEOTECNOLOGIA/MEMORIAS%20DE%20CLASE%20Y%20LECTURAS/Manual%20Ensayo%20de%20MaterialesPERU%202016.pdf

Orrego Cabanillas, DA. 2014. Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles. Tesis Ing. Lima. Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 81 p. Consultado 2 feb. 2017. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5419/ORREGO_DANIEL_ANALISIS_GEOMALLAS_BASES_GRANULARES_PAVIMENTOS_FLEXIBLES.pdf?sequence=1>

SENCICO (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción). 2010. Norma Técnica de Edificación CE. 010 Pavimentos Urbanos. D.S. N° 001-2010-VIVIENDA. Lima. Perú. 79 p. Consultado 29 nov. 2017. Disponible en: https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=182

Tensar International Corporation, Structural Geogrid. 2014. Especificación de Producto – Geomalla TriAx® TX160. Atlanta. Georgia. Estados Unidos. p. irreg. Consultado 19 abr. 2017. Disponible en: https://www.tensarcorp.com/Downloads?subPath= &typeFilter=&searchKeywords=tx%20160&languageFilter=Spanish%20%28Latin-America%29&fieldFilter\_Application=&fieldFilter\_Products=&fieldFilter\_Sector=

Tensar International Corporation. s.f. Sistema de mejoramiento de carreteras. Atlanta. Georgia. Estados Unidos. 20 p.

UMSS (Universidad Mayor de San Simón) Facultad de Ciencias y Tecnología. s.f. Manual completo diseño de pavimentos. Cochabamca. Bolivia. 644 p. Consultado 10 mar. 2017. Disponible en: https://www.udocz.com/read/manual-completo-dise-o-de-pavimentos-umss.

UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). s.f. Diseño y conservación de pavimentos rígidos. México. (47 p.). Consultado 16 ene. 2017. Disponible en: https://www.google.com.pe/search?q=A6+Dise%C3%B1o+de+Pavimentos+R%C3%ADgidos+espesores+opcion+2&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjN9K3lxtfVAhVD7iYKHcqDDAMQvwUIIigA&biw=1280&bih=694.

Vázquez Retegui, A. s.f. Diseño y construcción de pavimentos. s.l. (9 p.). Consultado el 11 de feb. 2017. Disponible en: http://www.academia.edu/28491163/Generalidades\_ de\_los\_Pavimentos.docx.

Velásquez Lujerio, EP. 2009. Uso de geomallas en la estructura de carreteras afirmadas, para trabajos de operación de los equipos en la explotación minera a cielo abierto. Tesis. Ing. Chimbote, Perú, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote. 81 p.

Wayne, MH. 2010. Módulo resiliente, deformación permanente de carga repetida y prueba de carga de placa de material triturado mecánicamente estabilizado. Kwon, J. Boudreau, R. Washington D.C. Tensar International Corporation. 8 p. Reporte N° 11 – 2029.

# ANEXOS

# ANEXO A: PUNTOS OBTENIDOS EN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

# ANEXO B: ESTUDIO DE TRÁFICO

# ANEXO B.1. CONTEO DE VEHÍCULOS

# ANEXO B.2. DETERMINACIÓN DE ESAL´S

# ANEXO C: LONGITUDINAL DE LA SIERRA NORTE. PE-3N

# ANEXO D: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE MATERIAL DE CALICATAS

# ANEXO E: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE MATERIAL DE CANTERA RUMICUCHO PARA SUBBASE GRANULAR

# 

# ANEXO F: ÁREAS DE INUNDACIÓN DE CAJAMARCA

# ANEXO G: METRADO Y PRESUPUESTO - PAVIMENTO RÍGIDO

# ANEXO G.1: METRADO PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASTHO SIN REFORZAMIENTO

# ANEXO G.2: PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASTHO SIN REFORZAMIENTO

# ANEXO G.3: METRADO PAVIMENTO RÍGIDO –MÉTODO AASHTO CON USO DE GEOMALLA

# ANEXO G.4: PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO AASHTO CON USO DE GEOMALLA

# ANEXO H: PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO I: LISTADO DE PLANOS

# ANEXO J: REPORTE DE USO DE GEOMALLA TENSAR