

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil



**“MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE UTILIZANDO GEOMALLAS EN LA
AVENIDA LOS INSURGENTES, DISTRITO DE CHAUPIMARCA – PASCO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH. PALMA FERNÁNDEZ, Fredy Luis

CERRO DE PASCO JULIO DEL 2015

PERÚ

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil



**MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE UTILIZANDO GEOMALLAS EN LA
AVENIDA LOS INSURGENTES, DISTRITO DE CHAUPIMARCA - PASCO**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Autor:

BACH. PALMA FERNÁNDEZ, Fredy Luis

Asesor:

Ing. MEJIA CACERES, Reynaldo

CERRO DE PASCO JULIO DEL 2015

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

"MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE UTILIZANDO GEOMALLAS EN LA AVENIDA LOS INSURGENTES, DISTRITO DE CHAUPIMARCA - PASCO"

PRESENTADO POR:

BACH. PALMA FERNÁNDEZ, Fredy Luis

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISION DE JURADO

Mg. Manuel R. ROCCA VALVERDE
PRESIDENTE

Ing. Pedro YARASCA CORDOVA
MIEMBRO

Ing. Eder G. ROBLES MORALES
MIEMBRO

Dedicatoria:

A Dios:

Por iluminar y guiar nuestros caminos.

A Nuestros Padres:

Por darnos la vida y su apoyo incondicional.

A Nuestros Docentes:

Por darnos su sabiduría y guiarnos

En el camino de ser profesionales.

A Nuestros Amigos:

Por brindarnos su amistad y tiempo

En los momentos cuando más los necesitamos.

Agradecimientos:

Primero que nada agradecemos a Dios por habernos traído a este mundo a cumplir con muchas misiones, por habernos dado vida y salud hasta hoy.

A nuestros padres que sin dudar nos han dado todo el apoyo y la educación necesaria y nos han inculcado todos los valores.

A nuestros amigos con los cuales compartimos muchísimos momentos inolvidables.

A nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, y a mi Asesor por sus enseñanzas brindadas y su colaboración en la realización del presente trabajo.

De igual manera agradecemos a todos los que de una u otra manera colaboraron en la elaboración del presente trabajo.

A todos muchísimas Gracias.....

INTRODUCCION

Un problema muy común en la construcción de vías, bien sea rurales o urbanas, es la presencia de suelos blandos constituidos por limos y arcillas de variada plasticidad como parte de la subrasante. A lo anterior se añade que las rutas de muchas carreteras importantes deben atravesar zonas lluviosas o zonas con ausencia total de materiales granulares de buena calidad para mejoramientos, lo cual dificulta los plazos de construcción e incrementa los costos de obra. Esta situación se ha resuelto desde tiempos históricos mediante la estabilización del suelo de diferentes maneras: Química, mecánica, excavación y reemplazo, entre las más comunes, cuya aplicación genera efectos adversos en el medio ambiente contiguo y muchas veces costos muy altos para la viabilidad económica de las obras.

El proyecto inicialmente se ha previsto la utilización de emplear el pedraplenados de rocas $d > 0.4\text{cm}$ para el mejoramiento de la sub

rasante, donde la cantera de roca más cercana al proyecto se encuentra en el Km 22+800 de la Carretera Pasco – Yanahuanca aproximadamente a 26.8km de la obra por traslado y la preparación de rocas con maquinaria y explosivo es demasiado costoso para la obra en referencia. Motivo por el cual se ha previsto utilizar la geomalla donde también lo determinan en el Estudio de Pre Inversión del Perfil Viable.

Hoy en día, el uso de geosintéticos, entre ellos las geomallas, permite un uso más eficiente de los recursos de los proyectos, el cual se puede incrementar mediante el conocimiento claro de los mecanismos de trabajo de estos materiales, así como de los beneficios que ellos brindan en una determinada situación. La colocación de una geomalla multiaxial polimérica entre las capas estructurales de un camino (pavimentado o no) produce grandes beneficios para el mismo ya que incrementa el módulo del material granular, mejora la capacidad portante del suelo y reduce las tensiones transmitidas a la subrasante.

RESUMEN

El tema de investigación que en esta oportunidad tengo a bien de presentar se trata sobre la propuesta **“MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE UTILIZANDO GEOMALLAS EN LA AVENIDA LOS INSURGENTES, DISTRITO DE CHAUPIMARCA - PASCO”**, consiste en el análisis del uso de geosintéticos, en específico las geomallas, como refuerzo de bases granulares dentro de una estructura de pavimento, así mismo se hizo una recopilación de las metodologías de diseño que se utilizaron para el caso de estudio presentado y las investigaciones que permitieron obtener los factores necesarios que influyen en el resultado final obtenido con el uso de las geomallas; cuyo desarrollo es de cuatro capítulos que brevemente lo resumo a continuación.

El Capítulo I, desarrolla aspectos generales enfocando la problemática de la investigación, considerando aspectos como: Planteamiento del

problema, determinación del problema, formulación del problema, objetivos, justificación del problema, importancia y alcances de la investigación y limitaciones.

El Capítulo II, trata sobre el marco teórico considerando antecedentes del problema, bases teóricas – científicos, definición de términos, hipótesis e identificación de las variables.

El capítulo III, describe la metodología de investigación; comprendiendo el tipo de investigación, diseño, población y muestra, métodos de la investigación, las técnicas e instrumento de recolección de datos.

El capítulo IV, trata sobre el resultado y la discusión.

Concluyendo con las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

El autor

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INTRODUCCION

RESUMEN

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DETERMINACION DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos.....	3
1.3 OBJETIVOS	
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivo Específico.....	3
1.4 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	4
1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION.....	5
1.6 LIMITACIONES.....	5

CAPITULO II.

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES.....	6
2.1.1 Reseña Histórica de los Geosintéticos y las Geomallas en particular.....	7
2.1.2 Clasificación de las Geomallas.....	12

2.1.2.1.	Por el sentido del desarrollo del refuerzo.....	12
2.1.2.2.	Por su fabricación.....	14
2.1.3	Aplicaciones típicas.....	17
2.2	BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS.....	24
2.2.1	Uso de Geomallas Como Refuerzo de Pavimentos.....	24
2.2.2	Mecanismos de Refuerzo de las Geomallas.....	30
2.2.3	Características de las Geomallas Biaxiales y Multiaxiales.....	36
2.2.4	Beneficios Obtenidos con el Uso de Geomallas.....	42
2.2.5	Metodologías de Diseño.....	47
2.2.5.1	AASHTO (Diseño convencional).....	47
2.2.5.2	AASHTO R-50.....	55
2.2.5.3	MA WHITE PAPER II.....	58
2.2.6.	Obtención de TBR de diseño.....	71
2.2.6.1	Geomallas biaxiales.....	71
2.2.6.2	Geomallas multiaxiales.....	76
2.3	DEFINICIÓN DE TERMINOS.....	80
2.4	HIPÓTESIS.....	89
2.4.1	Hipótesis General.....	89
2.4.2	Hipótesis Específica.....	89
2.5	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	90
2.5.1	Variables Independientes.....	90
2.5.2	Variables Dependientes.....	90
2.5.3	Variables Intervinientes.....	90

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	91
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	91
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	92
3.3.1 Población.....	92
3.3.2 Muestra.....	92
3.4 METODOS DE INVESTIGACION.....	92
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	92
3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	93
3.7 TRATAMIENTO ESTADISTICO DE DATOS.....	93

CAPITULO IV

GENERALIDADES

4.1 UBICACIÓN.....	94
4.2 Vías de Acceso.....	96
4.3 Aspecto Geográfico del proyecto.....	96
4.4 Topografía y Tipo de Terreno.....	96
4.5 Altitud Sobre el Nivel del Mar.....	96
4.6 Coordenadas UTM.....	97
4.7 Características socio económicas de la Población.....	97

CAPITULO V.

ESTUDIOS Y DISEÑO

5.1 ESTUDIO DE SUELOS, CANTERAS Y FUENTES DE AGUA...100

**5.2 ESTUDIO HIDROLOGICO Y DRENAJE DEL SECTOR
CHAQUICOCHA.....122**

5.3 ESTUDIO DEL METODO DE REFRACCION SISMICA.....157

5.4 DISEÑO DEL PAVIMENTO.....168

CAPITULO VI

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 RESULTADOS.....182

6.2 MODULACION DE LOSAS.....183

6.3 PASAJUNTAS Y BARRAS DE AMARRE.....183

6.4 BARRAS DE AMARRE.....184

6.5 CROQUIS ESQUEMATICO.....184

6.6 DETALLES DE JUNTAS.....184

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DETERMINACION DEL PROBLEMA

Un problema muy común en la construcción de vías, bien sea rurales o urbanas, es la presencia de suelos blandos constituidos por limos y arcillas de variada plasticidad como parte de la subrasante. A lo anterior se añade que las rutas de muchas carreteras importantes deben atravesar zonas lluviosas o zonas con ausencia total de materiales granulares de buena calidad para mejoramientos, lo cual dificulta los plazos de construcción e incrementa los costos de obra. Esta situación se ha resuelto desde tiempos históricos mediante la estabilización del suelo de diferentes maneras: Química, mecánica, excavación y reemplazo, entre las más comunes, cuya aplicación genera efectos adversos en el medio ambiente contiguo y muchas veces costos muy altos para la viabilidad económica de las obras.

El proyecto inicialmente se ha previsto la utilización de emplear el pedraplenados de rocas $d > 0.4\text{cm}$ para el mejoramiento de la subrasante, donde la cantera de roca más cercana al proyecto se encuentra en el Km 22+800 de la Carretera Pasco – Yanahuanca aproximadamente a 26.8km de la obra por el traslado y la preparación de rocas con maquinaria y explosivo es demasiado costoso para la obra en referencia. Motivo por lo cual se ha previsto utilizar la Geomalla Multiaxial.

Hoy en día, el uso de geosintéticos, entre ellos las geomallas, permite un uso más eficiente de los recursos de los proyectos, el cual se puede incrementar mediante el conocimiento claro de los mecanismos de trabajo de estos materiales, así como de los beneficios que ellos brindan en una determinada situación. La colocación de una geomalla multiaxial polimérica entre las capas estructurales de una vía de comunicación produce grandes beneficios para el mismo ya que incrementa el módulo del material granular, mejora la capacidad portante del suelo y reduce las tensiones transmitidas a la subrasante.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General.

¿Cuál es la influencia de la aplicación de las Geomallas en el Mejoramiento de la Subrasante en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco?

1.2.2 Problemas Específicos.

- a. ¿Qué características físicas – mecánicas tendrá la sub rasante mejorada con la geomallas en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco?
- b. ¿En qué medida la aplicación de las geomallas podrá mejorar la subrasante en suelos blandos teniendo en cuenta el mejoramiento del valor de soporte en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

Conocer la influencia de la aplicación de las geomallas en el mejoramiento de la subrasante en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco.

1.3.2 Objetivo Específico.

- a. Conocer características físicas – mecánicas de la sub rasante mejorada con la geomallas en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco.
- b. Conocer en qué medida la aplicación de las geomallas podrá mejorar la subrasante en suelos blandos teniendo en cuenta el mejoramiento del valor de soporte en la Avenida los Insurgente, Distrito de Chaupimarca – Pasco.

1.4 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

En la zona de estudio, durante el conteo de tráfico, se ha determinado la presencia significativa de vehículos de gran tonelaje, además que está proyectado un terminal y un mercado mayorista en la misma zona, por lo que se ha optado por un pavimento del tipo rígido apoyado sobre una subrasante estabilizada con geomallas en la zona de bofedal.

Para la Avenida los Insurgentes de acuerdo a su sección de vía está programado dicha Avenida para los desfiles cívicos motivo por lo cual su sección de vía tiene 04 vías en las cuales se ha diseñado un pavimento hidráulico.

Se ha optado por este tipo de pavimento, debido a que este elemento estructural es más resistente a las posibles deformaciones que ocurran en su vida de servicio en esta zona de inundación en épocas de lluvias y ofrecen más estabilidad en el terreno sobre el cual serán construidas.

El costo de la construcción incluido los de conservación que se producen en un periodo determinado, así como el valor residual del mismo, resulta ser la más económica dado que sus necesidades de conservación son mucho menores.

Es obvio la necesidad de atención de un sistema vial construido de acuerdo a los tiempos actuales pues los pobladores tienen el

derecho de mejorar sus hábitos, costumbres y elevar su nivel de vida.

Estos aspectos justifican y dan la debida importancia a la realización de la investigación.

1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION

El alcance principal en esta investigación es, conocer la aplicación de las geomallas en el mejoramiento de la subrasante en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco.

1.6 LIMITACIONES

El presente trabajo de investigación por la naturaleza de su contenido e impacto, afrontó una serie de limitaciones en los procesos de su formulación, situación previsible en la mayoría de los trabajos de Investigación, pudiéndose señalar los principales aspectos restrictivos encontrados, la escasa o incipiente información documental referida al tema de la investigación, presumiblemente por la carencia de un acervo documental debidamente acreditado en un archivo técnico.

CAPITULO II.

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

Esta metodología es empleado a nivel mundial y se detalla de la experiencia en obras en todo el mundo a lo largo de más de 40 años es muy amplia y exitosa. Sólo en las Américas se llevan instalados más de 170 millones de m² de geomalla biaxial y Multiaxiales y actualmente en nuestro país ya se han realizado proyectos importantes con aplicaciones de mejoramientos de subrasantes blandas, como es el caso de la carretera Iquitos – Nauta, la carretera Jauja – Tarma o el Corredor Interoceánico Sur, en sus tramos 2, 4 y 5, como también se aplicaron en las vías de acceso en las grandes mineras como es el caso del de la minera Cerro SAC en Pasco y la minera Yanacocha en Cajamarca

2.1.1 Reseña Histórica de los Geosintéticos y las Geomallas en particular.

A lo largo de la historia, el hombre ha intentado aprovechar de la mejor manera posible los materiales disponibles a su alrededor. El suelo, uno de los elementos más utilizados por el hombre, no se ha quedado atrás en este intento por encontrar un material final con mejores características. Es así que podemos encontrar intentos de “suelo reforzado” desde los inicios de la civilización: existen pruebas del uso de troncos con el fin de estabilizar suelos arcillosos o pantanosos, o intentos por construir taludes con una mayor pendiente usando fibras naturales o vegetación como refuerzo.

Sin embargo, el desarrollo de fibras sintéticas hizo posible un mayor desarrollo de esta aplicación ya que ofrecían una ventaja muy importante las fibras naturales utilizadas eran propensas a la biodegradación por parte de la matriz donde se encontraba, mientras que las fibras fabricadas en base a polímeros presentaban una resistencia mucho mayor.

A mediados de 1800 se desarrollan los primeros polímeros sintéticos. Un polímero es una macromolécula (generalmente orgánica) formada por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Los polímeros naturales más conocidos

son el ADN, las proteínas y la celulosa. A partir de estas se desarrollan polímeros sintéticos en laboratorios; dentro de los más usados actualmente podemos mencionar el nylon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc.

El uso de estos materiales permitió la creación de una nueva clase de materiales: los geosintéticos. La norma ASTM D4439 define un geosintético como “un material planar fabricado a partir de materiales poliméricos usado en contacto con suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica y que es parte de un proyecto realizado por el hombre”. La estructura, la composición y el comportamiento molecular de los polímeros utilizados para formar este material tienen una influencia directa en sus propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas, y en su comportamiento.

Los primeros materiales en desarrollarse fueron los geotextiles, un conjunto de textiles desarrollados como “telas filtrantes”. Estos alcanzaron gran popularidad durante el año 1950 ya que se empezaron a utilizar como una alternativa al uso de material granular en aplicaciones de drenaje y control de erosión. Años después, en Francia, se dan los primeros intentos del uso de geosintéticos en vías no pavimentadas, debajo de balastos

(ferrocarriles), dentro de terraplenes y como refuerzo de presas de tierra; en estos casos se buscaba que el material cumpla las funciones de separación y refuerzo.

Otros geosintéticos desarrollados durante los últimos años son: las geomembranas, utilizadas como barreras hidráulicas; las geonets, usadas como redes de drenaje; las geomallas, cuya principal función es el refuerzo; los geocompuestos, resultado de la unión de uno o más geosintéticos; etc.

Como podemos ver, estos materiales cumplen una serie de funciones, buscando un mejor desempeño de la solución propuesta y una alternativa más económica a los materiales tradicionales utilizados en la ingeniería civil. En el siguiente cuadro podemos ver las funciones principales que cumplen los principales geosintéticos presentes actualmente en el mercado:

	Geotextil	Geomembrana	Geonet	Geomalla	Geocompuesto
Separación	X				X
Filtración	X				X
Drenaje	X		X		X
Impermeabilización		X			X
Refuerzo	X			X	X

Tabla 01. Funciones principales de algunos geosintéticos

Según Koerner (2005), podemos definir a las geomallas como materiales geosintéticos que consisten en juegos de costillas paralelas conectadas con aberturas de tamaño suficiente que permitan la trabazón del material con el que están en contacto.

Como ya se mencionó anteriormente, este material tiene como principal función el REFUERZO del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante. Adquiere una mayor importancia en la industria de la ingeniería civil al tener un mejor desempeño que los geotextiles al ser usados como refuerzo de muros, taludes, pavimentos y fundaciones de diversas estructuras.

Existe una gran variedad de geomallas de acuerdo a su proceso de fabricación, el material del que están hechas, el tipo de unión con el que se fabrican, etc. Cada una de estas tiene diferentes propiedades y beneficios de acuerdo a la aplicación en las que se use.

En este caso, las geomallas de las que se tratarán en el presente trabajo tienen su origen en la empresa Netlon Ltd. (con sede en Blackburn, Inglaterra) que posteriormente tomaría el nombre de TENSAR INTERNATIONAL CORPORATION INC.

En el año 1979, el Dr. Brian Mercer, junto con otros, publicó la patente de este nuevo material e impulsó su uso como refuerzo de suelos en diferentes aplicaciones. Asimismo, buscó la participación activa de universidades y entidades en el Reino Unido a través de la investigación; buscando desarrollar soluciones aplicadas a la ingeniería civil que permitan la utilización de estos materiales.

Los materiales que fueron desarrollados a partir de estas investigaciones pertenecen al grupo de las “geomallas homogéneas”, llamadas así por el proceso que se sigue para su fabricación y que será explicado más adelante. Las investigaciones realizadas concluyeron que se pueden lograr soluciones sencillas, confiables y muy rentables con el uso de estos materiales, en comparación con soluciones tradicionales. Es por esto que alcanzan una gran popularidad rápidamente y actualmente son un material utilizado en una gran cantidad de obras alrededor del mundo.

2.1.2 Clasificación de las Geomallas

A lo largo de los años las geomallas han sido clasificadas de acuerdo a diversos criterios. Según el documento ETL1110-1-189 del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, podemos clasificarlas en dos grandes grupos:

2.1.2.1. 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 (Figura 01) 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 01. Geomalla uniaxial

- **Geomallas biaxiales**

Son geomallas que presentan aberturas uniformes y resistencia a la tensión en dos sentidos: longitudinal y transversalmente (Figura 02). Se utilizan en aplicaciones de pavimentos o caminos y también como refuerzo secundario en taludes de suelo reforzado.

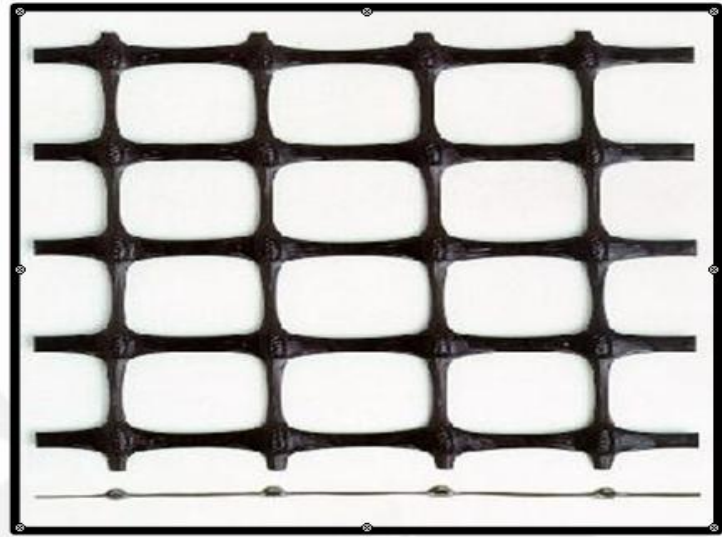


Figura 02. Geomalla biaxial

- **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 (Figura 03). Además presenta un alto desempeño debido a características únicas que serán presentadas más adelante.

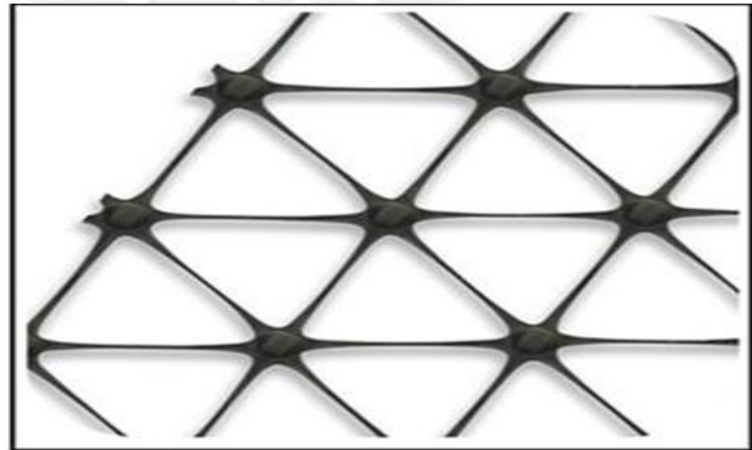


Figura 03. Geomalla multiaxial (TENSAR, 2013)

2.1.2.2. Por su fabricación

La industria de la fabricación de geomallas se ha desarrollado a lo largo de los últimos años optimizando procesos de fabricación y obteniendo materiales de un alto desempeño. Dentro de estos, contamos con tres tipos de fabricación principales que se describirán a continuación.

- **Geomallas extruidas**

Los polímeros comúnmente usados para la fabricación de este tipo de geomallas son el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno. Para ello, se coloca una lámina del material escogido que será perforada

siguiendo un patrón preestablecido; luego, la lámina se estira en la dirección (o direcciones) en la cual se desarrollará el esfuerzo de tensión (Figura 04). Este proceso se realiza a una temperatura específica determinada que permite que las partículas del polímero se alineen y adquieran las propiedades físicas requeridas. A este tipo de geomallas se les conoce como “uniformes” u “homogéneas” y tienen un alto módulo de rigidez.

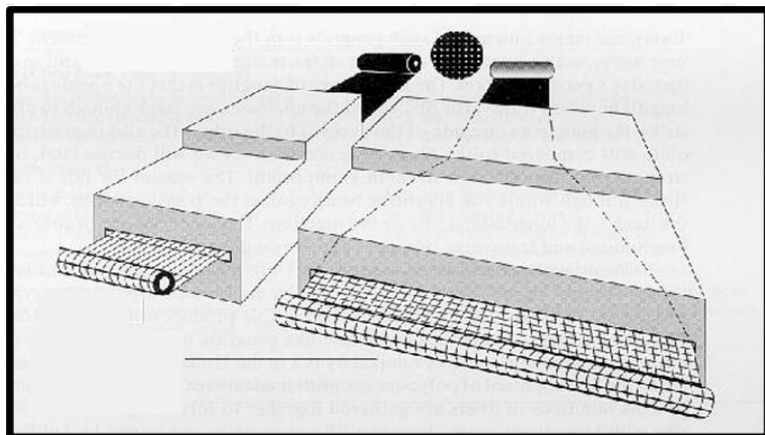


Figura 04. Proceso de fabricación de las geomallas uniaxiales y biaxiales (Koerner, 2005)

- **Geomallas tejidas**

Este tipo de geomallas se fabrican a partir del tejido de fibras de poliéster de alta resistencia que forman las costillas y luego son unidas mediante el tejido o enredado de las juntas; lo que las hace muy flexibles (Figura 05). Para terminar, se les coloca un recubrimiento de PVC, látex o algún material bituminoso

que le otorgue una mayor resistencia a la abrasión de los suelos con los que estarán en contacto.

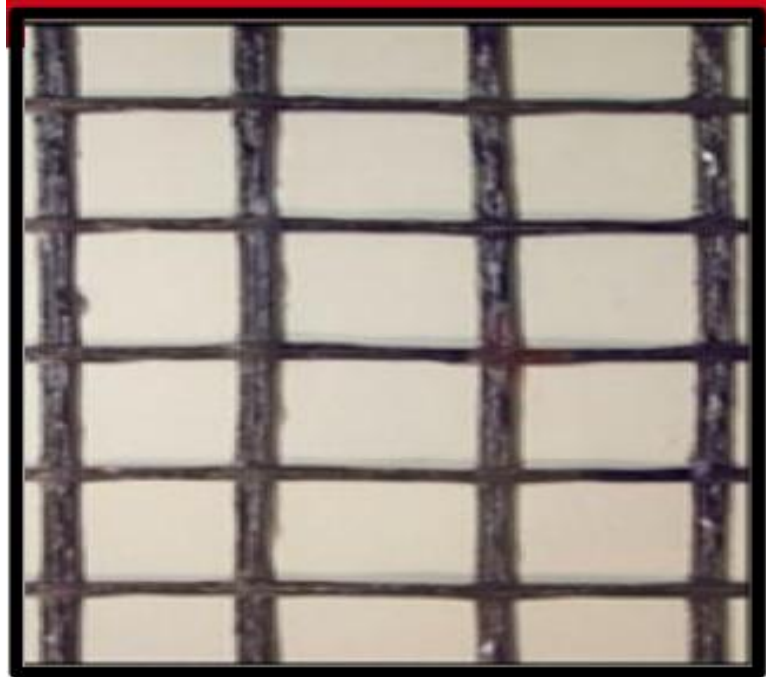


Figura 05. Geomalla uniaxial de poliéster tejida (Valencia, 2009)

- **Geomallas soldadas**

Estas geomallas se fabrican mediante la soldadura de costillas de poliéster de alta resistencia utilizando el proceso de fusión. Luego, estas se mantienen unidas gracias a una cobertura de polipropileno que se coloca sobre ellas. De acuerdo al número, y espaciamiento, de las costillas pueden llegar a ser las geomallas con mayor rigidez y mayor resistencia.

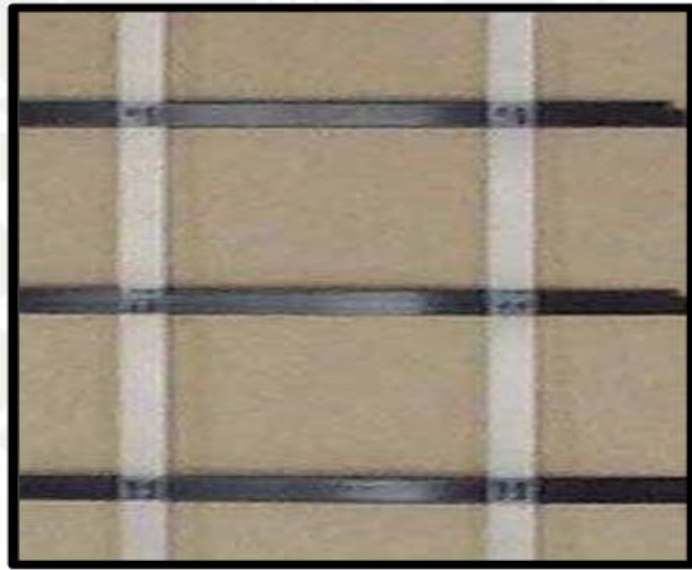


Figura 06. Geomalla uniaxial de polietileno soldada (Valencia, 2009)

2.1.3 Aplicaciones típicas

Debido a las características que tienen las geomallas, su principal función es la de actuar como refuerzo del suelo o el material con el que están en contacto. Dentro del amplio rango de aplicaciones de este material podemos mencionar las siguientes:

- **Muros de Suelo Reforzado**

Un muro de suelo reforzado es una combinación de suelo (material altamente resistente a cargas de compresión) y geomallas uniaxiales (que actúan como elementos de refuerzo primario) que tienen una alta resistencia a esfuerzos de tracción. Estos forman un bloque de suelo homogéneo, que trabaja como un muro de contención a

gravedad. La inclinación del paramento frontal debe ser mayor a 70° (Figura 07) y el acabado de la fachada será distinto para cada sistema (bloques de concreto, paneles de concreto, envolturas con suelo fértil para favorecer la vegetación, etc.). A través de la interacción entre el suelo y el refuerzo se logran soportar altas solicitaciones presentes sobre la estructura; esto se logra a través de la transmisión de esfuerzos que se genera gracias a la trabazón del agregado dentro de las aberturas de la geomalla.

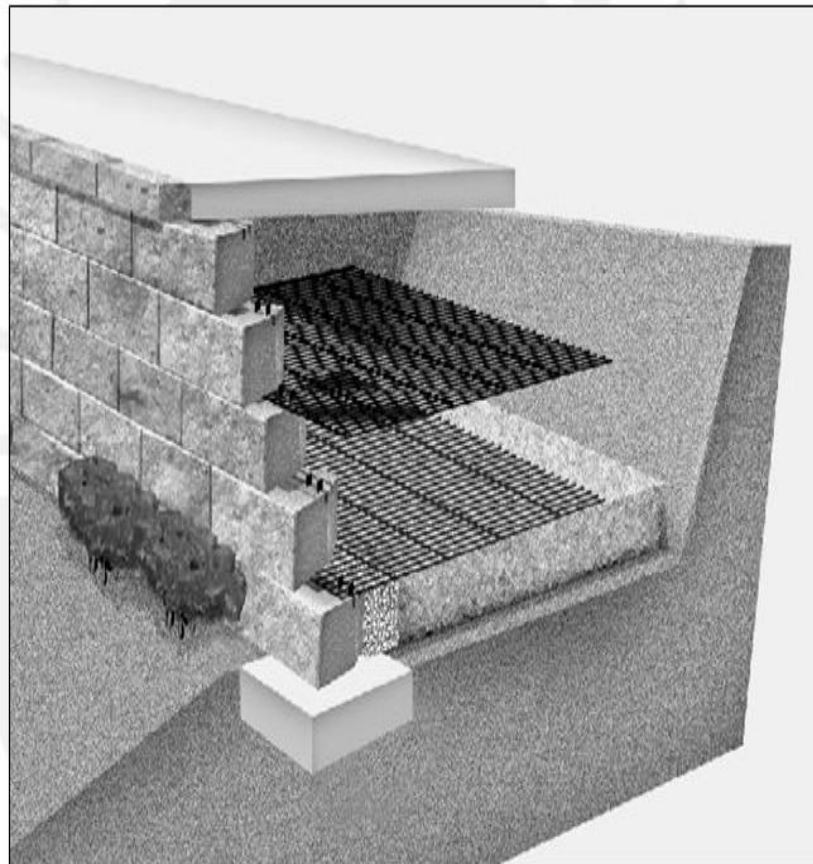


Figura 07. Ejemplo de un sistema con fachada de bloques de concreto prefabricados (Tensar, 2013)

- **Taludes de suelo reforzado**

Se cumple el mismo concepto que en los muros de suelo reforzado. La diferencia está en que se considera un talud reforzado cuando la inclinación del paramento frontal es menor a 70° (Figura 08). La construcción de estas estructuras permite lograr mayores pendientes en el terreno reduciendo volúmenes de material de relleno y optimizando espacios. El acabado final puede ser vegetado usando envolturas de algún tipo o tendiendo mantos de control de erosión sobre el talud; aunque también puede tener un acabado más “natural” que se mimetice con el ambiente donde se encuentra.



Figura 08. Talud de suelo reforzado

- **Refuerzo de Vías no Pavimentadas**

El uso de una geomalla biaxial o multiaxial permite el mejoramiento de una vía a construirse sobre una subrasante muy blanda ($CBR < 3\%$). Cuando las cargas de tráfico son aplicadas sobre la superficie de rodadura, se produce el fenómeno de “bombeo”, donde las partículas de la subrasante se movilizan hacia arriba para llenar los vacíos dejados por el movimiento de las partículas del agregado colocado como relleno. Esta contaminación del terreno modifica las propiedades del relleno, disminuyendo su capacidad de soporte y generando ahuellamientos o “baches” en la superficie (Figura 09). El uso de las geomallas permite controlar este fenómeno y, además, puede evitar la remoción total de las capas “contaminadas” o el uso excesivo de material granular de relleno como material de reemplazo.



Figura 09. Problemas presentados en la superficie debido a la presencia de subrasantes blandas

- **Refuerzo de Vías Pavimentadas**

Las cargas aplicadas sobre las vías pavimentadas producen el movimiento de las partículas granulares ya que intentan alejarse del punto de aplicación de las mismas. El uso de las geomallas como refuerzo de base o subbase en vías pavimentadas genera una capa reforzada más rígida a través del confinamiento del material entre sus aberturas (Figura 10). Esto se convierte en un aumento de la vida útil del pavimento, bajo los mismos espesores iniciales; o en una reducción del volumen de material granular a utilizar para rellenar estas capas manteniendo el nivel de carga que soportará la estructura. Ha sido demostrado en varios ensayos realizados mediante la comparación de una sección reforzada y una sin refuerzo bajo las mismas condiciones que el refuerzo que provee la geomalla origina el incremento del módulo de rigidez inicial, la reducción de las deformaciones verticales y horizontales, el mejoramiento del comportamiento ante la fatiga cíclica, etc.

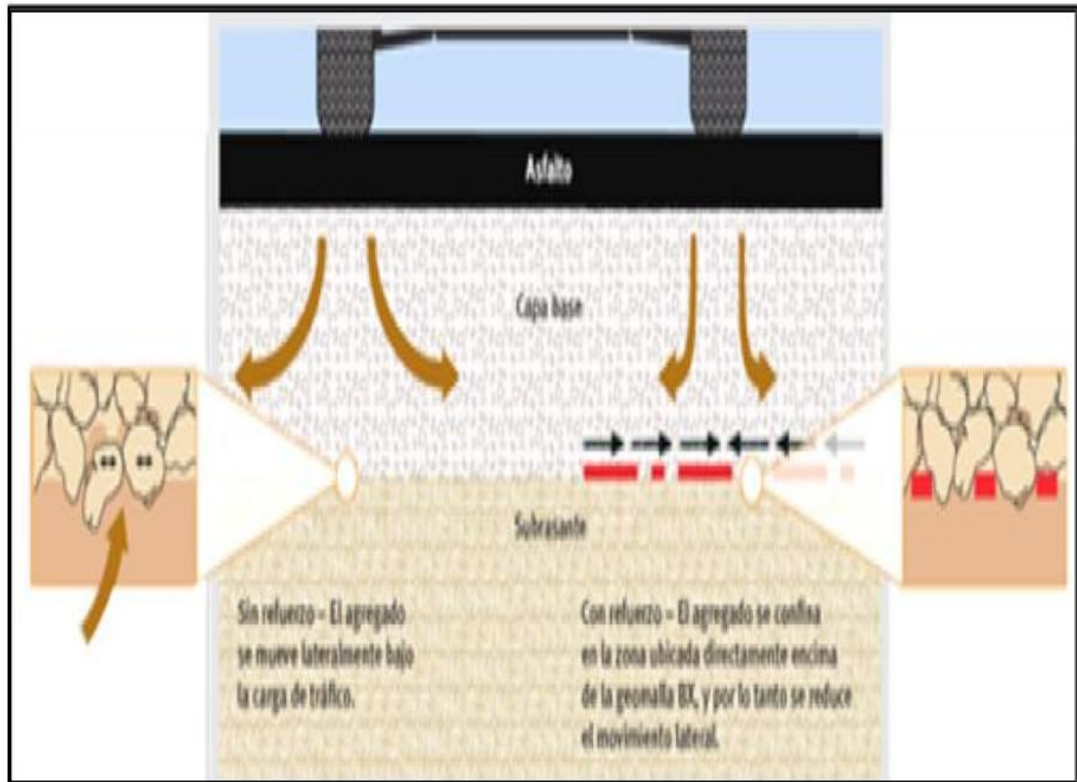


Figura 10. Diferencias en el pavimento debido al confinamiento lateral generado por la geomalla utilizada como refuerzo (Silva, 2010)

- **Estabilización de Plataformas de Construcción**

El uso de geomallas biaxiales y multiaxiales permite la conformación de una plataforma de construcción estable sobre suelos muy blandos y el acceso de tránsito de vehículos de construcción sobre esta ya que produce un incremento “aparente” de la capacidad portante del suelo. A través de uno de los mecanismos que serán descritos posteriormente, la geomalla logra distribuir la carga en un área mayor.



Figura 11. Colocación de geomallas para construcción de diques sobre bofedales

- **Refuerzo de Fundaciones**

Las geomallas biaxiales y multiaxiales son usadas como refuerzo de fundaciones cuando la carga transmitida por estas es mayor que la capacidad de soporte del suelo. Estos materiales permiten no solo aumentar la capacidad portante del estrato de fundación sino, además, controlar los asentamientos diferenciales que se podrían producir. Este es una función importante cuando es de vital importancia evitar que se produzca un desnivel en el terreno debido al

efecto que esto tendría sobre el equipo o estructura a colocar sobre esta fundación (Figura 12).



Figura 12. Mejoramiento de fundación en una planta de molienda y flotación

2.2 BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS

Durante el desarrollo de la presente tesis haremos usos de una serie de información tanto bibliográficos, de campo, experimentales que dan evidencias sobre la presente investigación.

2.2.1 Uso de Geomallas Como Refuerzo de Pavimentos

Las vías, en general, pueden ser clasificadas dentro de dos grandes grupos: permanentes y temporales dependiendo del tráfico que recibirán, el tiempo de vida que tendrán y el desempeño que se espera de cada una de ellas. Las vías temporales, generalmente tienen un periodo de vida entre uno y

tres años, aproximadamente. Estas esperan un tráfico no muy significativo y por lo tanto casi siempre son vías no pavimentadas.

Estas pueden incluir desvíos, producto de alguna obra en proceso, caminos de acceso y plataformas de construcción necesarias para la construcción de vías permanentes o terraplenes sobre suelos blandos. El uso de geosintéticos permite que el equipo pesado pueda transitar por un área que es muy débil para soportar este tipo de carga por sí misma ya que su uso puede ser una alternativa económica al uso de tratamientos de mejoramiento más costosos.

Por otro lado, las vías permanentes, que pueden ser pavimentadas o no pavimentadas, generalmente, esperan un tráfico mayor a un millón de pasadas de ejes equivalentes y un periodo de vida que supera los diez años. En este caso, el diseño consiste en determinar los materiales adecuados para asegurar que no habrá una falla prematura de la sección proyectada del pavimento.

Se pueden definir dos tipos de fallas principales: una falla estructural y una falla funcional del pavimento.

La primera, se refiere a que el colapso de la sección total o la falla de una o más de las capas que lo componen impedirá que la sección sea capaz de soportar las cargas de tráfico para las cuales ha sido diseñada. Esta falla puede ser causada por la intrusión de material de la subrasante en las capas granulares, disminuyendo su capacidad de drenaje y sus propiedades mecánicas. También puede ser producida por el paso de cargas de tráfico superiores a las consideradas en el diseño o por asentamiento diferenciales excesivos que se producen en la subrasante.

Otra de las causas principales de las fallas estructurales de pavimentos es la excesiva presencia de agua dentro de la sección debido a un inadecuado drenaje. Esto puede resultar en cambios en el volumen de los materiales, un aumento en la presión de poros o la pérdida de resistencia en la subrasante.

En cambio, la segunda, se refiere a deficiencias superficiales que se puedan dar sobre la superficie de rodamiento que afecten la “serviciabilidad” del camino. Es decir, su capacidad para brindar un tránsito cómodo y seguro al usuario. Por ejemplo, ondulaciones longitudinales y deformaciones transversales excesivas, textura de la superficie inadecuada, alto porcentaje de

áreas reparadas, etc. En algunas ocasiones, de no llegarse a tratar este tipo de falla a tiempo, puede llegar a producirse una falla estructural.

Una de las causas de este problema puede ser el uso de materiales contaminados durante la construcción que reduzcan la capacidad de drenaje de las capas granulares. Asimismo, un mantenimiento inadecuado de la vía después de su construcción puede generar incomodidad en los usuarios; por ejemplo, esto se puede reflejar en la aparición de grietas a través de las cuales se puede filtrar el agua hacia las capas inferiores.

Para ambos casos, existen geosintéticos que pueden ayudar a solucionar alguno de estos problemas. Para el caso específico del uso de geomallas en el área de pavimentos se conocen algunas aplicaciones principales: control de reflexión de grietas en recapeos asfálticos, mejoramiento de subrasantes y suelos blandos, refuerzo de bases o sub-bases, etc.

Por ejemplo, después de la construcción de una sobrecarpeta, muchas veces se puede apreciar un patrón de agrietamiento, similar al que se tenía en la capa inferior, que aparece antes de lo estimado. A este fenómeno se le denomina “reflexión de grietas”

y sus consecuencias pueden ser: disminución en la resistencia estructural del pavimento, aparición de fallas superficiales y discontinuidades en la superficie de rodadura, paso del agua hacia las capas inferiores del pavimento, etc.

Este nuevo agrietamiento se produce debido a que la nueva carpeta es incapaz de soportar los esfuerzos de tensión que se producen debido al paso de los vehículos y a los diferenciales de temperatura que generan cambios en la sección del pavimento (expansión y contracción). Por esta razón, se puede colocar una geomalla en la interface entre la antigua y la nueva carpeta a ser colocada; esta deberá ser capaz de retardar la aparición de grietas y aumentar el tiempo de vida del tratamiento aplicado.

Por otra parte, la existencia de suelos blandos que trabajan como subrasante presenta un problema común para la construcción de pavimentos debido a que la falla prematura de esta representa un deterioro que se refleja sobre la estructura terminada. Algunas soluciones para este problema pueden ser el reemplazo del material pobre o contaminado por otro de características adecuadas, la estabilización con algún agente externo (cemento, cal, etc.), uso de pilotes o insertos utilizando fragmentos de roca, un sistema de drenaje que permita controlar la saturación del

suelo, uso de algún material sintético (geotextiles o geomallas), etc.

En este caso, los principales beneficios logrados al proponer el uso de geomallas son la reducción de los espesores de corte y relleno; además de la construcción de una plataforma que permita la compactación de las capas superiores a ésta (ETL1110-1-189).

Así mismo, la geomalla cumple una función secundaria de separación de materiales entre el terreno natural y el que será usado como relleno. A pesar de que el elemento de refuerzo cuenta con aberturas, el confinamiento de las partículas de agregado evita el movimiento natural de estas (fenómeno conocido como “bombeo”) bajo la aplicación de cargas. Esta función está asociada, también, a la granulometría de los materiales involucrados; es por eso que se recomienda hacer un análisis adicional para determinar si es necesario colocar algún material adicional que impida la mezcla de los mismos (por ejemplo, un geotextil).

Por último, en el caso del refuerzo de las capas estructurales del pavimento (base y sub-base) se busca mejorar el desempeño de la estructura a través del control del ahuellamiento producido en

la superficie debido al desplazamiento lateral de las partículas granulares al intentar alejarse del área de aplicación de las cargas de tráfico. Además, se puede aumentar la vida útil del pavimento manteniendo los espesores de diseño o reducir los espesores de material granular a utilizar y los costos de construcción asociados a esta actividad.

Podemos determinar la función que se cumpliría con el uso de una geomalla o geotextil dentro de la estructura de un pavimento de acuerdo a la tabla presente en el Anexo 01, basada en el CBR de la subrasante de la sección a analizar; estos valores difieren de acuerdo a diferentes autores y normativas. Es importante recalcar que el CBR que se toma como referencia es el que es tomado IN SITU ya que es el que nos puede dar una idea de la condición exacta del terreno natural.

Para estas dos últimas aplicaciones, los beneficios obtenidos han podido ser determinados y medidos en ensayos de escala real a partir del entendimiento de los mecanismos de refuerzo involucrados en éstas, los cuales se muestran a continuación.

2.2.2 Mecanismos de Refuerzo de las Geomallas.

Los tres principales mecanismos de refuerzo que son proporcionados por una geomalla biaxial o por una geomalla multiaxial (Giroud y Noiray, 1981; USACOE, 2003) son:

- **Confinamiento Lateral**

Este mecanismo se obtiene por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo (Figura 13). 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)

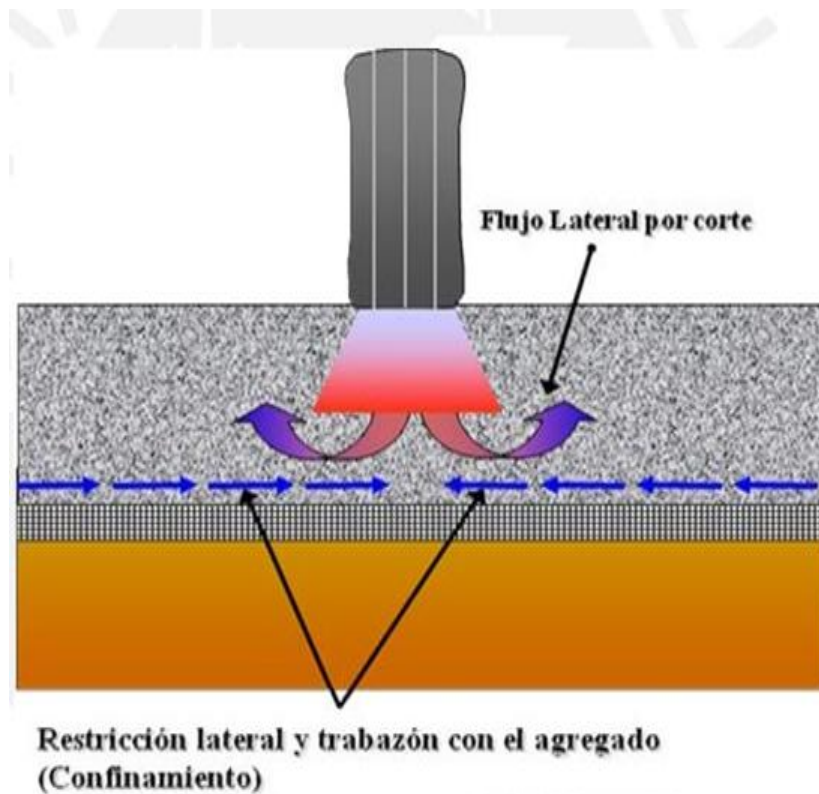


Figura 13. Mecanismo de Confinamiento Lateral (USACOE, 2003)

Si tenemos en cuenta que este confinamiento generado crea una capa de material más rígida; entonces debemos ser conscientes de la importancia de la forma y tipo de abertura para tener un mejor comportamiento del material, el resultado será distinto para cada tipo de geomalla. Además, es importante mencionar que se tendrá un confinamiento “máximo” en la zona próxima al elemento de refuerzo; mientras que, a medida de que nos alejamos de este, este efecto irá disminuyendo (Figura 14). 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 sollicitaciones sobre la estructura.

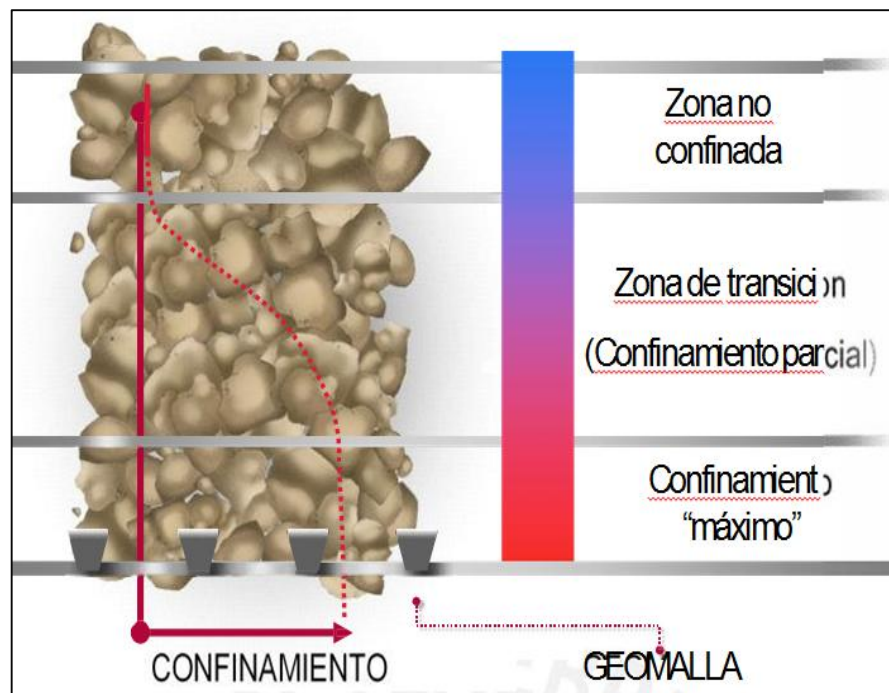


Figura 14. Distribución de zonas de confinamiento (Valencia, 2009)

- **Mejoramiento de la Capacidad Portante.**

Este mecanismo logra desplazar la superficie de falla, ubicada en un principio en la subrasante blanda, hacia una de mayor resistencia, en este caso la capa granular. Esto es posible ya que la rigidez de la geomalla permite la redistribución de las cargas en un área mayor (Figura 15) disminuyendo los esfuerzos que el material no competente (suelo blando) debe soportar.

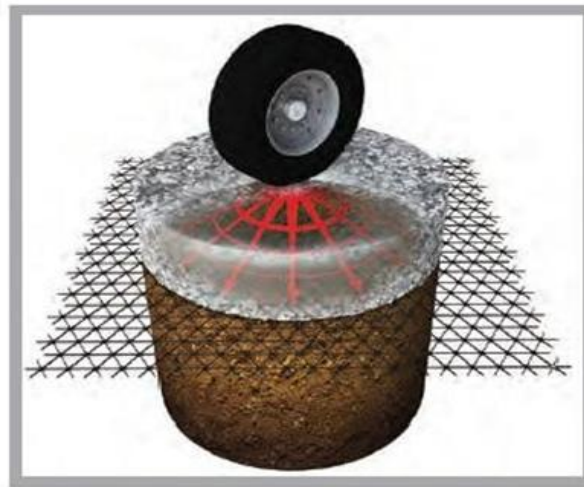


Figura 15. Mecanismo de Mejoramiento de Capacidad de Soporte
(TENSAR, 2013)

Este es un mecanismo considerado al momento de trabajar en vías no pavimentadas o cuando la capacidad portante de la subrasante es muy baja. También se le conoce como efecto del “zapato de nieve” por su similitud con este objeto utilizado en algunos países para poder caminar sobre este tipo de terreno (Figura 16).



Figura 16. Efecto de zapato de nieve (TENSAR, 2013)

- **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 17).

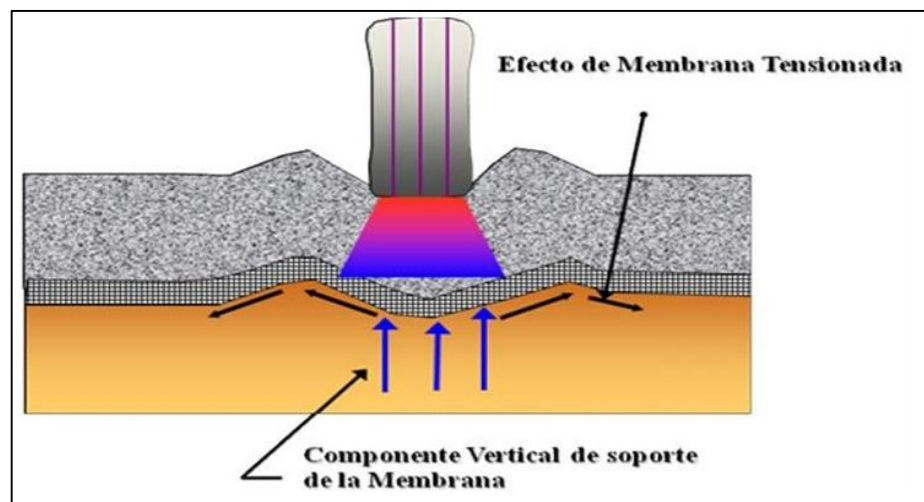


Figura 17. Efecto de Membrana Tensionada (USACOE, 2003)

Durante mucho tiempo se consideró que este era el principal mecanismo de refuerzo. Sin embargo, si se hace un análisis de las condiciones necesarias para activarlo podemos encontrar una paradoja. Debido a que este mecanismo se activa para altos niveles de deformación, generalmente solo ocurre en vías no pavimentadas después de que la vía ha soportado un elevado número de cargas debido al tráfico. Esto se debe a que en vías pavimentadas, la deformación necesaria para movilizar este sistema de refuerzo es mucho mayor a la que se espera

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

2.2.3 Características de las Geomallas Biaxiales y Multiaxiales

En el área de pavimentos, la geomalla biaxial (Figura 18) cumplió un papel importante ya que alcanzó un amplio desarrollo y se encontraron distintas aplicaciones para esta. Sin embargo, su uso como refuerzo de base tuvo un desarrollo menor debido a la falta de conocimiento de los mecanismos de refuerzo que se presentan al usar este material.

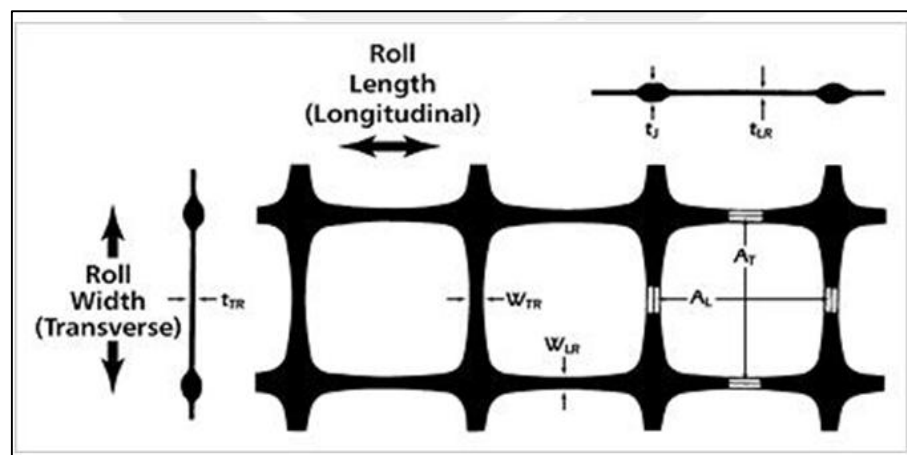


Figura 18. Forma de las aberturas de las geomallas biaxiales (TENSAR, 2013)

En la Tabla 02 se presentan los resultados obtenidos en la investigación desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – USACOE en el año 1992. En este ensayo, a escala real, se compararon secciones reforzadas con diversos tipos de geomallas biaxiales con el fin de determinar su aporte dentro de la sección de pavimento ensayada y así poder obtener mayor información acerca de las características que afectaban su comportamiento estructural.

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

Tabla 02. Propiedades de la geomalla biaxial que afectan su comportamiento (Valencia, 2009)

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

- **Tamaño de la Abertura**

Las aberturas de las geomallas deben tener el tamaño suficiente para permitir que los agregados y el suelo de relleno puedan penetrar a través de estas. Sin embargo, también deben ser suficientemente pequeñas para que las partículas puedan generar una trabazón eficaz y asegurar el confinamiento del material dentro de estas.

- **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.



Figura 19. Diferencias en la disposición de las costillas entre las geomallas multiaxiales y biaxiales (TENSAR, 2013)

- **Resistencia a la Torsión**

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

- **Resistencia a la Tensión**

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

- **Resistencia de las Juntas**

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

A partir del entendimiento de estas propiedades, a lo largo de cinco años, una de las empresas líderes en el mercado desarrolló un nuevo material buscando obtener un mejor comportamiento que las geomallas biaxiales. Es en este

contexto que se crea la geomalla MULTIAXIAL que tiene como principal característica sus aberturas triangulares aprovechando la estabilidad de esta forma geométrica (Figura 20).

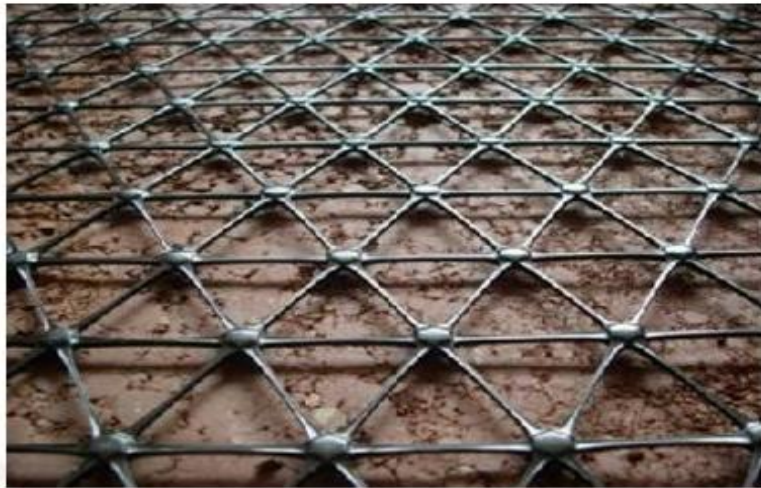


Figura 20. Forma de las aberturas de la nueva geomalla multiaxial (TENSAR, 2013)

Ensayos realizados a pequeña y gran escala (ver Anexo 02) demostraron que:

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

se logrará aumentando la rigidez de la geomalla y la eficiencia de las juntas.

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

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

Además, se buscó que las juntas ya no sean el punto “más débil” de la estructura (Figura 21).



Figura 21. Forma de las juntas en las geomallas biaxiales y multiaxiales (TENSAR, 2013)

Esta mejora en la configuración del material permite que las cargas sean distribuidas radialmente hacia las capas de suelo subyacentes (Figura 22). 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.

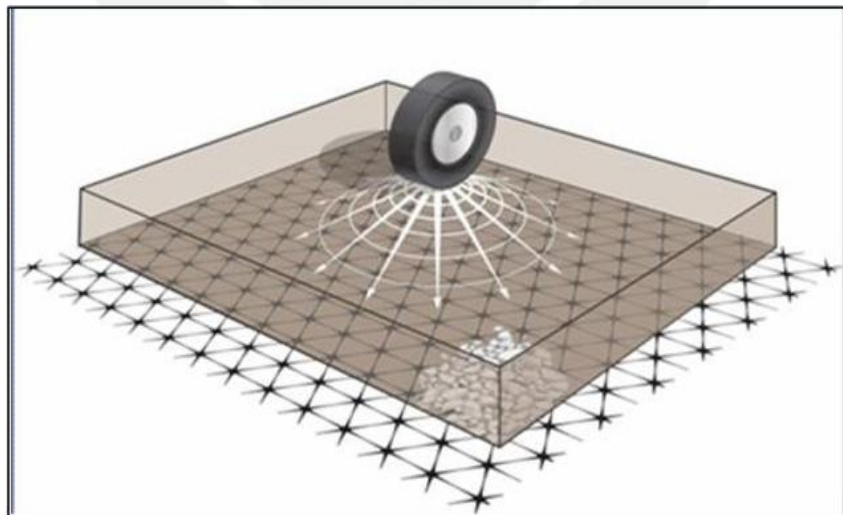


Figura 22. Esquema de la distribución radial de esfuerzos lograda con la geomalla multiaxial (TENSAR, 2013)

2.2.4 Beneficios Obtenidos con el Uso de Geomallas

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

➤ **Separación**

Se evita la mezcla de materiales disímiles o de granulometrías distintas. En el caso de materiales granulares a utilizarse, evita

su contaminación y de esta manera, se pueden mantener las propiedades asumidas en el diseño inicial para cada una de las capas estructurales.

➤ **Filtración**

Permite el paso del agua a través del material colocado. En este caso, es muy útil para envolver trincheras drenantes o detrás de muros de contención con gaviones para evitar la colmatación de estos debido a la migración de partículas finas llevadas por algún flujo de agua presente.

➤ **Drenaje**

En este caso, se refiere a la transmisión del agua en el mismo plano del material colocado. Es decir, es capaz de conducir el agua de un lado a otro, generalmente, a través de vacíos presentes en su propia estructura.

➤ **Refuerzo**

Esta es la aplicación más importante en este caso ya que es el principal aporte del uso de geomallas. En este caso, le entrega al suelo la capacidad de soportar mayores esfuerzos a través de los mecanismos que ya han sido explicados.

Sin embargo, en un inicio, en el caso de las geomallas, se omitieron dos beneficios potenciales muy importantes: la reducción de espesores de la sección y el incremento de la vida útil de la estructura. Esto se debió, principalmente, a la falta de información correspondiente a diferentes factores como la deformación necesaria para activar los mecanismos de refuerzo de las geomallas, el efecto del creep producido sobre el elemento de refuerzo a lo largo del tiempo de diseño de la vía, los beneficios económicos que se podían lograr al colocar materiales “de mayor costo” como refuerzo, falta de entendimiento acerca de la influencia que tienen el tamaño de agregado a usar, la interacción entre el suelo y el geosintético a usar, etc. Esto hizo que se tomara conciencia de que el comportamiento de cada material utilizado varía de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas y las del agregado que se coloca por encima de este.

No obstante, actualmente se puede contar con esta información ya que a lo largo de los años, y a través de muchas investigaciones realizadas se han podido responder muchas de estas preguntas. A partir de esta información, se han determinado seis principales beneficios que se obtienen a partir del uso de geomallas tanto en mejoramiento de subrasantes como en refuerzo de capas granulares. Estos pueden ser resumidos en la siguiente lista:

➤ **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).

➤ **Control de Asentamientos Diferenciales**

Este beneficio se puede lograr colocando dos o más capas de geomallas ya que se logra crear una capa más rígida de acuerdo a un confinamiento lateral “más efectivo” gracias al uso de más de una capa de geomalla.

2.2.5 Metodologías de Diseño.

2.2.5.1 AASHTO (Diseño convencional)

Las ecuaciones originales de la AASHTO, producto de pruebas a escala natural y para cualquier tipo de pavimento que datan de 1961, sirven como base para este método de diseño. En esta ocasión se ha utilizado la versión publicada en el año 1993 para obtener los resultados presentados en este trabajo.

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

En relación al diseño de pavimentos flexibles, este método busca identificar un “número estructural” o SN que pueda soportar el nivel de carga al que será solicitada la

estructura. Para realizar este cálculo, se consideran los siguientes parámetros:

- **TRÁNSITO:**

Para realizar el cálculo del parámetro del tránsito (W18) se puede hacer uso de la siguiente ecuación:

$$W_{18} = TPD \times \%A \times \%B \times 365 \times \frac{[(1 + r)^n - 1] \times F.C.}{Ln(1 + r)}$$

Ecuación 01. Cálculo de W18 (AASHTO, 1993)

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

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

- **Confiabilidad:**

Con este parámetro se busca asegurar cierta certeza de que la solución obtenida tenga una duración igual o mayor al periodo de diseño. Para esto, se consideran algunas variaciones a presentarse en la predicción del tránsito o en el comportamiento de la sección diseñada.

También se le conoce como “R” y en el método de la AASHTO utilizado sus valores varían entre 50 y 99.99 de acuerdo al nivel que tendrá la vía como podemos ver en la Tabla 03. A medida que aumente la importancia de la vía, mayor deberá ser este valor.

NIVELES DE CONFIABILIDAD “R”	
CLASIFICACION FUNCIONAL	NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO PARA CARRETERAS
Carretera Interestatal o Autopista.	80 – 99.9
Red Principal o Federal.	75 – 95
Red Secundaria o Estatal.	75 – 95
Red Rural o Local.	80

Tabla 03. Niveles de confiabilidad (AASHTO, 1993)

- **Variabilidad:**

También llamada “So”, está estrechamente relacionada con el parámetro descrito anteriormente y representa las posibles variaciones que se pueden presentar en los datos utilizados en el diseño. La guía AASHTO recomienda que para el diseño de pavimentos flexibles se utilice un valor dentro del rango 0.40 – 0.50; mientras que para pavimentos rígidos, se toma como referencia los valores entre 0.30 – 0.40.

- **Módulo de Resiliencia Efectivo:**

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

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

caso se utilizaron los valores de CBR obtenidos de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Mr = 2555 \times CBR^{0.64}$$

Ecuación 02. Cálculo de Mr (AASHTO, 1993)

- Mr:** Módulo de resiliencia del material buscado
- CBR:** California Bearing Ratio del material de subrasante

- **Serviciabilidad:**

Sabemos que las vías deben estar hechas para el confort y la conveniencia de los usuarios, estas características son una medida subjetiva de la opinión de cada uno de los que transitan por éstas. Podemos definir el cambio o pérdida en la calidad del servicio de la vía mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

Ecuación 03. Cálculo de ΔPSI (AASHTO, 1993)

Donde podemos definir el “po” como la estimación hecha por el usuario inmediatamente después de la construcción (el valor recomendado para pavimentos flexibles es 4.2). Mientras que “pt” es el índice de servicio terminal, un valor que se recomienda oscile entre 2.5 y 3.0 para vías importantes.

Con el uso de los parámetros arriba descritos, se procede a encontrar el número estructural correspondiente a las diferentes capas del pavimento. Este se puede encontrar mediante la siguiente expresión:

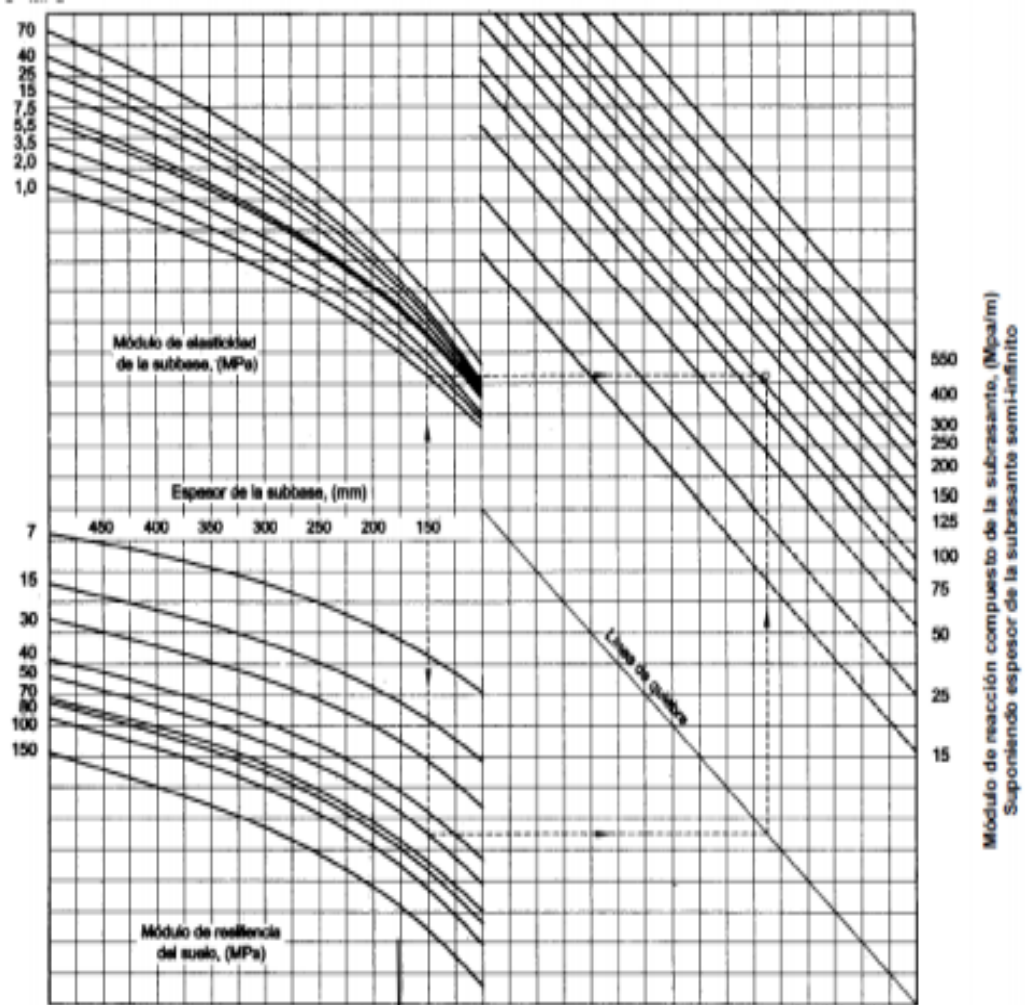
$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(MR) - 8.07$$

Ecuación 04. Cálculo del número estructural necesario de la sección a diseñar

(AASHTO, 1993)

- **W18:** Numero de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.
- **ZR:** Confiabilidad
- **So:** Variabilidad
- **SN:** Número estructural de la sección.
- **ΔPSI:** Serviciabilidad
- **Mr:** Módulo de resiliencia del material de subrasante

También se puede hacer uso de la Figura 23 para poder obtener el SN a utilizar:



FUENTE: Guía de pavimento rígido, método AASHTO 93'

Figura 23. Nomograma para la obtención del SN (AASHTO, 1993)

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

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

Tabla 04. Diferencias en la calidad del drenaje de la estructura (AASHTO, 1993)

A partir de estas definiciones, se pueden obtener los coeficientes recomendados por AASHTO (Tabla 05) en función de la calidad del drenaje y el tiempo, expresado como un porcentaje respecto a un año, en el que estará expuesta la estructura a niveles cercanos a la saturación.

Calidad del drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
	<1%	<1.5%	5 - 25%	>25 %
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Aceptable	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Tabla 05. Diferencias en la calidad del drenaje de la estructura (AASHTO, 1993)

2.2.5.2 AASHTO R-50

La AASHTO ha trabajado dos guías con respecto al uso de geosintéticos para el refuerzo de bases granulares en estructuras de pavimentos flexibles: AASHTO PP 46 publicado en el año 2001, y AASHTO R-50 (2009), que es una versión actualizada y la última versión de este documento hasta el momento. Estos documentos tienen la finalidad de brindar una guía para el uso de estos materiales (se refiere, principalmente al uso de geotextiles y geomallas) cuando se busca incluir el aporte estructural que se genera al colocar un refuerzo tanto en la base como en la subbase de la estructura del pavimento.

La omisión de mayor información respecto a este beneficio del uso de estos geosintéticos en manuales publicados por la AASHTO previamente se debió a la ausencia de información respecto a los siguientes temas:

- Información cuantificable respecto del beneficio estructural encontrado al usar bases y subbases reforzadas.
- La deformación que se debía alcanzar para movilizar los mecanismos de refuerzo (membrana tensionada) se creía muy superior a la permitida para pavimentos.

- El beneficio económico alcanzado que justifique el uso de estos nuevos materiales.

- Propiedades mecánicas necesarias relacionadas con el desempeño, el diseño y la construcción.

- Falta de entendimiento de la influencia del tamaño del agregado a usar y la interacción que se produce entre este y el geosintético. Esto está directamente relacionado con el mecanismo de refuerzo de confinamiento lateral.

- Influencia de la deformación por creep y relajación de esfuerzos de estos materiales sobre los beneficios que se pueden lograr durante el período de vida útil de la vía.

Así mismo, para elaborar estos documentos, se tomaron como referencia otras publicaciones realizadas por instituciones afines como la Asociación de Materiales Geosintéticos (GMA) y el Instituto Nacional de Carreteras (NHI):

- WHITE PAPER I – “Geosynthetics in Pavement Systems Applications” (1999)

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

Ya que los beneficios del uso de los geosintéticos usados para esta aplicación aún no se han podido determinar teóricamente a través de un método validado, a pesar de que actualmente existen muchas investigaciones de modelos probados a escala real, estos resultados siguen siendo el punto de partida para elaborar un diseño en campo que arroje resultados muy cercanos a la realidad.

Además, se hace hincapié en el hecho de que los resultados obtenidos específicamente para algún tipo de geosintético no se pueden relacionar con otros sin hacer comprobaciones en campo para determinar el aporte estructural y los beneficios económicos que se pueden lograr para cada uno en particular. Es decir, no se puede tomar la investigación elaborada por un fabricante en especial, con un material específico y con características

propias y esperar que se comporte de la misma manera que uno “similar” sin tener resultados de ensayos realizados bajo diferentes condiciones de tráfico, materiales, etc. Esto se puede explicar recordando que los mecanismos de refuerzo de estos materiales están relacionados con las propiedades mecánicas de ellos mismos y del material de relleno que los rodea.

Esto es importante al momento de elegir el material con el que se trabajará el diseño final, cada proveedor deberá justificar los valores presentados en sus fichas técnicas a través de investigaciones y ensayos validados por distintas instituciones reconocidas.

Siendo este documento una guía resumida donde solo se dan indicaciones generales; para tener un poco más de información nos remitiremos a la información contenida en el documento WHITE PAPER II de la GMA.

2.2.5.3 MA WHITE PAPER II

Este documento fue preparado como un soporte adicional a los documentos preparados por la AASHTO. A diferencia del WHITE PAPER I (enfocado en recomendaciones de

instalación y daños producidos durante la construcción), este documento tiene como objetivo específico resaltar los beneficios del uso de geosintéticos en estructuras de pavimentos recomendando algunos criterios y un procedimiento de diseño para el caso de refuerzo de bases granulares.

Los materiales evaluados en este documento son las geomallas (que pueden ser extruidas o tejidas), los geotextiles y los geocompuestos formados por los materiales antes mencionados. Estos últimos son considerados en el caso de ser previamente fabricados como un geocompuesto (un material formado por uno o más geosintéticos) o por la colocación de uno por encima del otro.

A partir de la información recopilada, se ha determinado un método de diseño detallado. La primera recomendación que se da es que antes de decidir utilizar un pavimento reforzado con geomallas, se evalúen las condiciones del proyecto y se determine si es favorable o no el uso de estos materiales de acuerdo a la Tabla 06.

Este método es compatible con el método tradicional presentado en AASHTO 1993 añadiendo algunos conceptos que serán importantes para poder determinar los espesores finales de la estructura:

- TBR (Traffic benefit ratio): Es el número que indica el incremento de números de ciclos de carga para alcanzar una falla previamente definida en comparación con el número de ciclos de carga medidos sobre una sección no reforzada. También puede ser denominado TIF (Traffic improvement factor).

- BCR (Base course reduction): Este es un factor que se define como la reducción, en porcentaje, en el espesor necesario para alcanzar una falla determinada con anterioridad bajo las mismas condiciones al comparar una sección reforzada con una no reforzada.

A continuación se detallará un procedimiento paso a paso este método de diseño que luego será tomado como referencia para elaborar un caso práctico.

PASO 1

Evaluación del uso de un geosintético como refuerzo.

El primer paso deberá ser determinar los valores de la subrasante a través de la medición de su CBR, su módulo resiliente (Mr), o su resistencia no drenada al corte (cu). A partir de estos valores se le puede clasificar como baja, moderada o firme. Como referencia se tiene una clasificación basada en los valores de CBR medidos en campo donde se tiene que una subrasante baja presenta valores menores a 3; una moderada, valores entre 3 y 8; y, por último, una subrasante firme será aquella que cuenta con valores de CBR superiores a 8.

Luego, se deberá estimar el espesor de las capas de base y subbase, asumiendo que el espesor es el mismo que en el caso no reforzado (cuando se busca aumentar el desempeño de la sección). Así mismo, si se buscan reducir los espesores de estas capas, se puede estimar una reducción entre el 20-50% (usualmente esta reducción se limita a un rango entre 75-125mm).

Por otro lado, se deberá determinar si se tendrá un material de relleno de granulometría abierta o bien gradado y a

partir de esto, se deberá definir el valor del coeficiente de drenaje (“m” según AASHTO) correspondiente.

Con estos valores, se puede determinar si es aplicable o no el uso de geosintéticos con la ayuda de la Tabla 06.

Condiciones de diseño de la vía		Tipo de Geosintético a ser usado					
		Geotextil		Geomalla		Geocompuesto (Geotextil – Geomalla)	
Subrasante	Espesor de Base / Sub base	No tejido	tejido	extruida	tejida	Base de granulometría abierta	Base bien gradada
		Baja (CBR<3)	150-300	NT ⁴	1	1	4
> 300	NT ⁴		NT ⁴	3	3	3	NT ⁵
Moderada (3<CBR<8)	150-300	NT ⁶	3	1	4	1	NT ⁵
	> 300	NT ⁶	NT ⁶	NT ⁷	4	4	NT ⁵
Firme (CBR>3)	150-300	2	3	3	4	4	NT ⁵
	> 300	2	2	2	2	2	NT ⁵

Tabla 06. Aplicabilidad o no del uso de geosintéticos (AASHTO, 2000)

Leyenda:

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

Notas:

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

4. Se puede colocar una geomalla como refuerzo de base; sin embargo, esta aplicación se considera un mejoramiento de subrasante.

5. Un geotextil no es requerido para brindar filtración a la estructura cuando se usa un material bien gradado como material de base; por lo tanto, un geocompuesto de refuerzo no aplicaría en este caso,

6. Aplicaciones de filtración y separación; en este caso, no aplica como refuerzo.

7. Usualmente no se aplica cuando se coloca la geomalla en la parte inferior de la capa de base a reforzar.

PASO 2

Diseño de los espesores de las sección no reforzada

En este caso, se debe realizar un diseño tradicional de la sección sin ningún tipo de refuerzo eligiendo el método más conveniente.

En el caso práctico que se presentará se utilizará el método de AASHTO 93 ya descrito anteriormente

PASO 3

Determinar los beneficios de utilizar un refuerzo geosintético

Revisar los beneficios que pueden ser cuantificables en cuestión de reducción de gastos y ahorro en el costo total de la obra usando

como referencia la Tabla 07. Hacer una lista de los beneficios que se están buscando con este diseño: reducción de espesores de las capas granulares del pavimento, incremento del desempeño de la sección o una combinación de ambos, etc.

PASO 4

A partir de la identificación del objetivo que se busca con el diseño, se puede determinar qué factor utilizar: TBR o BCR. El TBR se puede utilizar para cualquiera de los beneficios antes mencionados; mientras que el BCR, solo será una opción útil cuando se busquen reducir espesores de alguna de las capas estructurales.

Se deberá buscar el valor más adecuado de TBR o BCR para cada proyecto en específico. Con este fin, se buscan los valores obtenidos en ensayos realizados que tengan condiciones muy parecidas a las del proyecto evaluado. Cabe recalcar que deberán ser ensayos de laboratorio y pruebas de campo realizadas con el mismo tipo de refuerzo que se quiere recomendar. De no contar con esta información, se deberá llevar a cabo alguna prueba que permita determinar este coeficiente.

Por último, es importante señalar que la calidad de los resultados obtenidos dependerá mucho de la elección de un coeficiente

adecuado. Recordemos que cada tipo de refuerzo se conforma de una manera diferente y que hay muchos factores que afectan su desempeño (tipo de agregado, tamaño máximo de partículas, ahuellamiento máximo permitido, etc.)

BENEFICIO	CONDICION INICIAL DE LA SUBRASANTE		
	Baja (CBR<3)	Moderada (3<CBR<8)	Firme (CBR>8)
Reducción de Excavaciones	1	2	3
Reducción del Espesor de agregado necesario para estabilizar la subrasante	1	2	3
Reducción de la alteración de la subrasante durante la construcción	1	2	3
Refuerzo de la capa de subbase para reducir la sección de vía	1	2	3
Refuerzo de la capa de base para reducir la sección de la vía	2	1	2
Refuerzo de la capa de subbase para incrementar el periodo de vida útil de la vía	2	2	2
Refuerzo de la capa de base para incrementar el periodo de vida útil de la vía	1	1	2

Tabla 07. Beneficios a lograrse con el uso de geosintéticos (AASHTO, 2000)

Leyenda:

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

PASÓ 5

Diseño del pavimento reforzado

a. Diseño por extensión del periodo de vida útil de la vía

En este caso, el espesor de cada una de las capas no se modifica y lo que se busca es determinar el tiempo antes de que la sección necesite una rehabilitación.

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

Ecuación 06. Cálculo de la vida útil de la vía no reforzada (AASHTO, 2000)

Donde:

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

El factor de TBR, determinado previamente, es aplicado para calcular un nuevo número de pasadas (W_{18R}) que permitirá obtener el periodo de vida útil de la sección reforzada utilizando la Ecuación 07.

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

Donde:

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

b. Diseño por reducción de espesores

Si se utiliza el BCR, se determinará un nuevo espesor de la capa de base (D2R) que permita tener el mismo comportamiento, bajo las mismas sollicitaciones externas, que la sección no reforzada.

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

Ecuación 08. Cálculo de espesor de base reforzada utilizando BCR (AASHTO, 2000)

Donde:

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

c. Diseño por combinación de ambos factores

Es factible determinar un espesor “intermedio” que permita reducir espesores y aumentar, en cierto modo, el desempeño de la

sección. Para ello se debería escoger un espesor intermedio entre D2 y D2R.

(Paso 5b) y encontrar el aumento del periodo de vida útil de la sección con este nuevo espesor (pas5a).

d. Diseño por separación y filtración

El geosintético a colocarse como refuerzo también cumple la función de separador entre suelos disímiles (como lo pueden ser el agregado granular de las capas de base o subbase y el suelo que conforma la subrasante) y previene que haya una mezcla entre ellos o que se produzca el fenómeno de “bombeo”.

Sin embargo, en algunos casos, se debe evaluar si es necesario colocar algún filtro adicional para evitar estos problemas; generalmente cuando se tiene la presencia de suelos con partículas muy finas que pueden migrar hacia las capas superiores. Se podría usar una capa de suelo (puede ser un material bien gradado o una arena) o un material sintético (el material más usado para cumplir esta función es el geotextil).

Una recomendación general puede ser empezar por evaluar si el material colocado en las capas de base y subbase servirá como filtro natural. Si esto no es posible, un geotextil puede ser requerido ya que es un material que no involucra un alto costo dentro del presupuesto de la obra por su fácil instalación y transporte y cumple

específicamente la función de separación. Asimismo, se puede considerar colocar un geotextil para tener una mayor seguridad. Se puede tomar como referencia el manual de la FHWA (Holtz, et al., 1998) donde se indican algunos criterios para el diseño del geotextil a usar. Por ejemplo, se debe comprobar que se cumpla que el “piping ratio” sea menor que 5 (en el caso de subrasante de alta plasticidad se toma el valor de 10 como referencia). Este valor se define como $D_{15} \text{ material granular} / D_{85} \text{ subrasante}$. Por otro lado, para el caso de subrasantes de limo y arena muy fina, se añade un criterio adicional que sería $D_{50} \text{ material granular} / D_{50} \text{ subrasante} < 25$.

PASO 6

Análisis económico

Realizar un análisis inicial de los costos de construcción involucrados para la sección reforzada y la no reforzada.

Realizar un análisis de los costos involucrados en el periodo de vida del pavimento para ambas secciones.

Hacer una lista de los beneficios adicionales que no son cuantificables económicamente (por ejemplo, reducción de excavaciones en la subrasante, aumento de la confiabilidad del comportamiento del pavimento, incremento del aporte estructural de las capas del pavimento, etc.)

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

2.2.6. Obtención de TBR de diseño

Como podemos ver en la metodología descrita anteriormente, se incluye un nuevo concepto denominado TBR para medir el aporte o “mejora” a partir de la colocación de una geomalla como refuerzo dentro de la estructura del pavimento. Es importante recordar que este valor debe ser determinado a partir de ensayos e investigaciones realizados por cada proveedor o fabricante de este material. En este caso, como utilizaremos materiales desarrollados por la empresa TENSAR para realizar los diseños, mostraremos a continuación una breve reseña de algunos de los ensayos realizados con este fin.

2.2.6.1 Geomallas biaxiales

Para las geomalla biaxiales se desarrollaron dos tipos denominados BX1100 y BX1200.

a. Universidad de Alaska: los objetivos de este ensayo fueron verificar el mejor comportamiento del pavimento reforzado y cuantificar los TBR para dos tipos de

geomallas: BX1100 y BX1200. Las secciones de pavimento consistieron, para ambos casos, en 2" de asfalto, sobre una base conformada con roca triturada (que variaba entre 6 y 18") y una subrasante de arcilla blanda con un CBR promedio de 1.9%. Se acordaron 5 criterios de falla en base a la deformación final que se observaba en la sección (0.5, 0.75, 1.0, 1.25 y 1.5 pulgadas). Los resultados para la geomalla BX1100, en todos los casos, fue de un TBR entre 2 y 3. Mientras que, para la geomalla BX1200, los valores variaron dependiendo del espesor de la base y de las deflexiones escogidas llegando hasta 10.

b. Cuerpo de Ingenieros: Entre 1990 y 1991 esta entidad investigó el uso de geomallas para refuerzo de bases de pavimentos flexibles para aeronaves ligeras. La prueba consistió en cuatro líneas de tráfico. Los ensayos realizados consideraron una arcilla de alta plasticidad (IP=45.4%) y CBR=3% como subrasante. Además, el material de base fue clasificado como un SM-SC. La sección consistió en 2" de asfalto y 14" de base sobre la subrasante. Se obtuvo un factor de mejoramiento de tráfico de 2.7 para BX1100 y 4.7 para

BX1200, superiores a otras geomallas de diferente composición y estructura utilizadas al realizar este mismo ensayo bajo las mismas condiciones.

c. Universidades de Waterloo y Queen's: Este ha sido un intensivo programa de investigación con el propósito de analizar y explicar los mecanismos de refuerzo a través de mediciones de esfuerzos, deformaciones y deflexiones, para desarrollar coeficientes de capa para materiales de base reforzada con geomallas y establecer procedimientos de diseño utilizando dichos factores. El programa experimental consistió en pruebas de pavimentos con bases granulares reforzadas y no-reforzadas de diferentes espesores, variando las resistencias de subrasantes y la ubicación del refuerzo. El suelo utilizado para conformar la subrasante fue una arena SP; para la base, un GW y la geomalla de refuerzo una BX1100, para todos los casos. Además, se consideró una capa de asfalto de espesor constante para todos los casos. Los resultados indicaron claramente que existe un mejoramiento substancial en la resistencia a la deformación y la vida útil de los pavimentos reforzados.

Uno de los hallazgos más importantes fue el referido al efecto que tiene el espesor de la capa de base en el factor de mejoramiento final obtenido. Para 6 y 8 pulgadas de espesor los TBRs obtenidos variaron entre 2.5 y 3; siendo que para un espesor de 4" el TBR fue de apenas 1.1.

Por último, en una etapa posterior se verificaron los TBR para subrasantes de 1% (esta subrasante se "ablandó" añadiendo suelo turboso a la arena que conformaba la subrasante inicial). Consistentemente, el TBR debido a la inclusión de la geomalla resultó ser igual a 3.

d. Universidad de Nottingham: Esta investigación fue realizada por los Dres. Richard Barksdale y Stephen Brown. Esta fue una prueba de laboratorio realizada en una sección de pavimento consistente en 1 – 1.5" de carpeta asfáltica, 6-8" de capa de base, sobre una subrasante de arcilla limosa y una carga de 1.5 kips. Fueron usados dos tipos de capas de base: una base granular pobre consistente de arenas y gravas redondeadas, y otra de piedra caliza triturada. Ambos

tipos de materiales fueron compactados hasta alcanzar un nivel entre 96 y 100% de su máxima densidad seca.

Los resultados para la base de 8" de espesor con el refuerzo en el centro, mostraron un TBR de 7 para una geomalla BX1100. Los investigadores, a través de un análisis de elementos finitos, correlacionaron estos resultados de laboratorio y concluyeron que dicho mejoramiento se puede obtener para los siguientes parámetros reales: carga de eje 18 kips, espesor de base 9-16" y un CBR de subrasante igual a 2.7%.

A partir de estas investigaciones se pueden concluir algunos puntos resaltantes. El primero es que todas estas investigaciones demuestran que el refuerzo de la capa base de un pavimento flexible usando geomallas TENSAR, incrementa la vida útil del pavimento. Por otro lado, también podríamos concluir que, a partir de las investigaciones resumidas previamente, considerando una subrasante con CBR fluctuando entre 1 y 8 y para capas de base, conformadas con material granular, variando de 8 a 12", el factor de

mejoramiento de tráfico (TBR) para BX1100 está en el rango de 1.5 a 3 y para BX1200 de 4 a 10.

2.2.6.2 Geomallas multiaxiales

El enfoque de los ensayos realizados con geomallas multiaxiales para determinar sus propiedades fue cambiando debido al desarrollo de métodos mecanísticos-empíricos. Sin embargo, para poder determinar el valor de TBR equivalente del aporte de las geomallas multiaxiales se han realizado algunos ensayos a pequeña y gran escala.

Uno de estos fue realizado por el CUERPO DE INGENIEROS DE LOS ESTADOS UNIDOS (USACOE) en “Waterways Experiment Station” en Vicksburg en el año 2009. Este ensayo sirve como referencia para los valores utilizados para realizar el diseño según el método AASHTO 93 y la guía AASHTO R-50.

Este es un ensayo de pavimento acelerado a gran escala. Es decir, se aplicó una carga bidireccional de tráfico equivalente a 10 000 lb a través de un juego de dos ruedas a una presión de 80 psi. Esta carga es transmitida utilizando un simulador de tráfico sobre una estructura de pavimento que consistió en una capa de asfalto de 2

pulgadas de espesor, una capa de base granular de 8 pulgadas de espesor y una subrasante con un CBR igual o mayor a 3%.



Figura 27. Equipo utilizado para los ensayos (TENSAR, 2009)

En una primera etapa de la prueba, se registraron medidas de ahuellamiento generadas por 0, 100, 200, 500, 1 000, 2 000, 5 000, 10 000, 50 000 y 100 000 pasadas. A partir de este punto, se tomaron medidas cada 50 000 pasadas hasta alcanzar la falla del pavimento. Esta falla fue definida para el momento donde se alcanzó un ahuellamiento o una deformación permanente igual a una pulgada. Esta prueba se realizó para más de una sección con el fin de comparar los resultados obtenidos.

Para poder determinar la mejora debido al uso de las geomallas se tomaron medidas en una sección de control sin refuerzo. Como resultado de esta prueba se determinó que en secciones donde se tenían subrasantes muy pobres (CBR = 3%) el uso de geomallas multiaxiales permitió un comportamiento seis veces mejor que la superficie de control sin refuerzo. Estos valores se obtuvieron al alcanzar un ahuellamiento de una pulgada tras el paso de 30 000 ESALs.



Figura 28. Medición del ahuellamiento (TENSAR, 2009)

Por otro lado, en secciones donde se tenían subrasantes de mayor soporte, las secciones reforzadas con geomallas multiaxiales se comportaron hasta diez veces mejor que la sección de control después de más de 110 000 ESALs.

Rutting Profiles TriAx TX7 (Section 2) vs Control (Section 4)

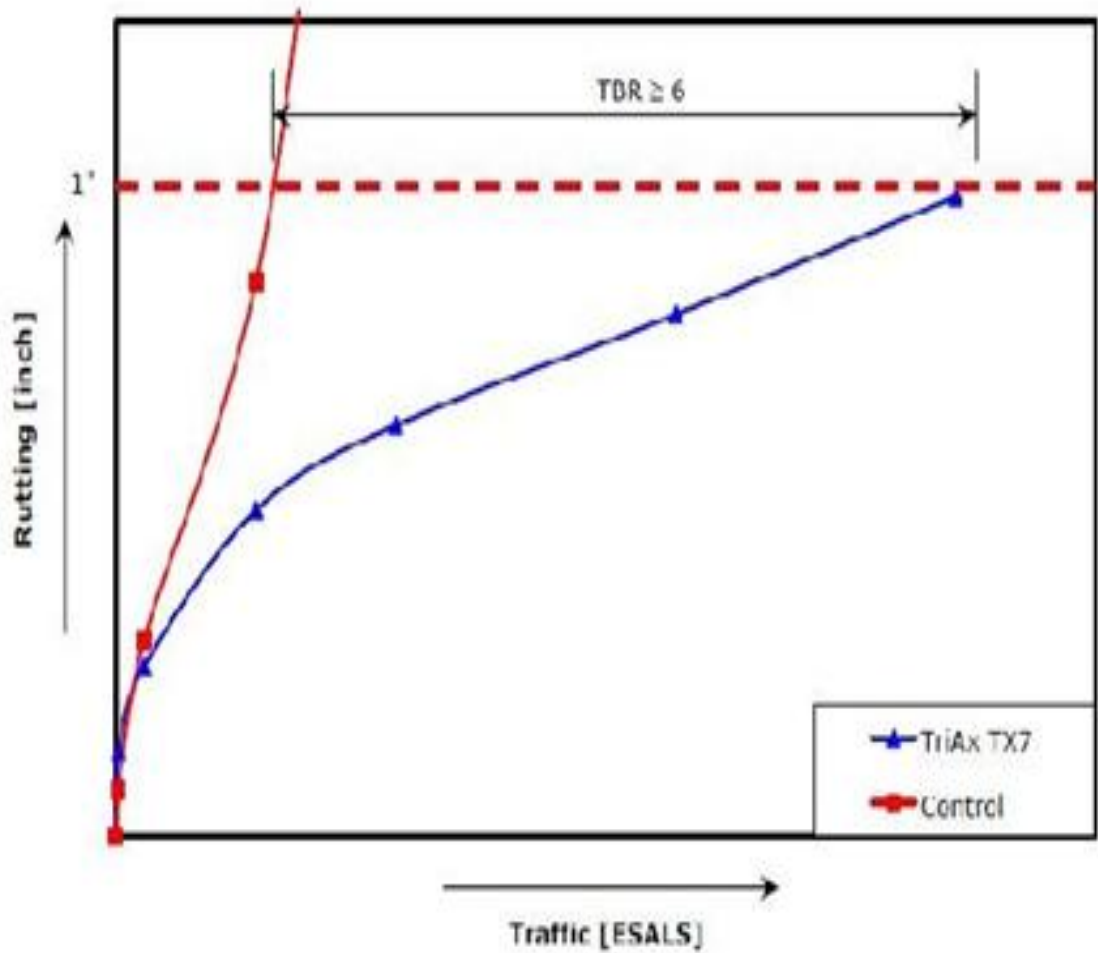


Figura 29. Obtención del TBR (TENSAR, 2009)

A partir de ensayos como este se pudo recoger la información suficiente para poder determinar el aporte que genera la colocación de una geomalla multiaxial como refuerzo de la capa de base granular.

2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS

AASHTO: Siglas en ingles de American Association of State Hihhway and Transportation Officials: (asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes).

AGREGADO: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

AGREGADO GRUESO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).

ARCILLAS: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

AFIRMADO: Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables.

AGLOMERANTE: Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

AHUELLAMIENTO: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

ALCANTARILLA: Elemento del sistema de drenaje superficial de una carretera, construido en forma transversal al eje ó siguiendo la orientación del curso de agua; puede ser de madera, piedra, concreto, metálicas y otros. Por lo general se ubica en quebradas, cursos de agua y en zonas que se requiere para el alivio de cunetas.

ARENA: Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm.) y son retenidas por la malla N° 200.

ASENTAMIENTO: Desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

ASENTAMIENTO DIFERENCIAL: Diferencia de nivel como consecuencia del desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

ASTM: Siglas en ingles American Society for Testing and Materials (Asociación Americana para el Ensayo de Materiales).

BACHE: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada

BACHEO: Actividad de mantenimiento rutinario que consiste en rellenar y compactar los baches o depresiones que pudieran presentarse en la superficie de rodadura.

BASE: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

BENCH MARK (BM): Referencia topográfica de coordenada y altimetría de un punto marcado en el terreno, destinado a servir como control de la elaboración y replanteo de los planos de un proyecto vial.

BERMA: Franja longitudinal, paralela y adyacente a la superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencia.

BOMBEO: Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

CALICATA: Excavación superficial 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.

CANTERA: Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

CAMINO: Vía de transito publico construida dentro de los límites del derecho de vía.

CARRETERA AFIRMADA: Carretera cuya superficie de rodadura está constituida por una o más capas de AFIRMADO.

CARRETERA PAVIMENTADA: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Pórtland (rígida)

CARRIL: Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

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

CEMENTO PORTLAND: Es un producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de yeso natural.

CHANCADO (Triturado): La porción total sin tamizar que resulta de un triturador de piedra

COMPACTACIÓN: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Pórtland.

COHESIÓN: Características de algunas partículas del suelo de atraer y adherirse a partículas semejantes.

CONCRETO: Mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En algunos casos se agrega aditivos para proporcionarle cualidades que no poseen y en otros para mejorar los que poseen.

CONCRETO PRE- MEZCLADO: Concreto dosificado en planta y transportado a obra por camiones mezcladores o agitadores.

CONO DE ABRAMS: Molde con forma de cono trunco constituido de un metal no atacable por la pasta de cemento, que se usa para medir la consistencia de la mezcla de concreto fresco. Se conoce también como cono de asentamiento o SLUMP.

CONTRACCIÓN: Es el acomodamiento de las partículas del suelo, debido a la acción de compactación.

CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO: Porcentaje de humedad el cual puede obtenerse la densidad máxima del suelo mediante compactación.

COMPRESIBILIDAD: Propiedad del suelo de permanecer comprimido después de la compactación.

COTA DE RASANTE: Valor numérico de un punto topográfico que representa el nivel terminado o rasante referido a un BENCH MARK (BM).

COTA DE TERRENO: Valor numérico de un punto topográfico del terreno referido a un BENCH MARK (BM).

CUNETAS: Canales abiertos construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y sub-superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento.

CURADO DE CONCRETO: Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del concreto o mortero.

DERECHO DE VIA: Área de terreno que el Estado suministra para ser usado en la construcción de la carretera.

DENSIDAD: Relación del peso de la sustancia contra su volumen.

ENCOFRADO: Apoyos temporales para mantener el concreto fresco en el lugar hasta que se endurezca en tal grado que se pueda auto soportar (cuando la estructura es capaz de soportar sus cargas muertas).

ENROCADO: Colocación de piedras grandes en forma ordenada para fundación de cimentación o protección de taludes.

ENSAYO DE COMPRESIÓN: Ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

ESCLERÓMETRO (Martillo de rebote Schmidt): Medidor de dureza de la superficie que proporciona un medio rápido y sencillo para verificar la uniformidad del concreto. Mide el rebote de un émbolo cargado con un resorte después de golpear una superficie lisa de concreto.

ESTABILIZAR: Afirmer el suelo para impedir su movimiento.

FINOS: Las partículas más finas del suelo.

GRAVA: Suelo de partículas gruesas de tamaño que van de 10 a 76 mm

GEOMALLAS: Es un elemento plano y polimérico que tiene la estructura de malla abierta, tiene elementos de resistencia intersectados llamados costillas, en el proceso de fabricación las costillas pueden estar unidas ya sea por extrusión, soldadura o entrelazado de sus hilos, de acuerdo a esto las geomallas se denominan como: extruidas, soldadas o tejidas. Estos geosintéticos pueden ser flexibles o rígidos, las geomallas flexibles son compuestas por filamentos principalmente de poliéster de alto modulo revestidas por un polímero bituminoso, mientras que las geomallas rígidas son extruidas y fabricadas a partir de fibras de polietileno (unidireccionales) o polipropileno (Bidireccionales y

multidireccionales) Generalmente, las geomallas son más resistentes que los geotextiles, siendo utilizadas casi exclusivamente como elementos de refuerzo suelos.

GEOMALLA TRIAXIAL: Son estructuras bidimensionales que se elaboran en diferentes polímeros (polipropileno) para que interactúen con el suelo, de tal manera que complemente la resistencia a la tensión de este y así crear una resistencia Geomalla – suelo competente para recibir cargas y distribuir las uniformemente. Las geomallas triaxiales por tener una configuración triangular permite que la distribución de los esfuerzos en el plano de la geomalla sea de forma radial y que los esfuerzos se contrarresten en todas las direcciones, su comportamiento es superior a las geomallas biaxiales redistribuye mejor los esfuerzos y por lo tanto permite reducir aún más las presiones sobre la subrasante y permite menores espesores de base.

INTENSIDAD MEDIA DIARIA (IMD): Número total de vehículos que pasan por una sección transversal de la carretera durante un año, dividido por el número de días del año.

IMPERMEABLE: Resistente al movimiento del agua.

LÍMITE LÍQUIDO: El contenido de agua al cual el suelo cambia de estado plástico a estado líquido.

LIMITE PLÁSTICO: es el porcentaje de humedad límite entre el estado plástico y el estado semisólido.

LIMO: Suelo compuesto de partículas de tamaño que varían entre 0.09 y 0.006 mm.

MATERIAL COHESIVO: Suelo que posee propiedades de cohesión.

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

PROCTOR MODIFICADO: Método para reproducir, teóricamente, en laboratorio las condiciones dadas de compactación de un terreno. En el que se utiliza mayor energía de compactación que el método estándar.

RASANTE: Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

SUBRASANTE: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUBBASE: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

SLUMP.- MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CON

EL CONO DE ABRAMS: Establece la determinación del asentamiento del concreto fresco tanto en el laboratorio como en el campo. Este método consiste en colocar una muestra de concreto fresco en un molde con forma de cono trunco, según las características y procedimientos que establezcan las especificaciones técnicas correspondientes.

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 Hipótesis General

La aplicación de las geomallas influye en el mejoramiento de la subrasante en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco.

2.4.2 Hipótesis Específica

- a. Las características físicas – mecánicas de la subrasante mejoraran con la aplicación de las geomallas en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco.

- b. La aplicación de las geomallas mejorara la subrasante en suelos blandos teniendo en cuenta el mejoramiento del valor de soporte en la Avenida los Insurgentes, Distrito de Chaupimarca – Pasco.

2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.5.1 Variables Independientes

Aplicación de las geomallas

2.5.2 Variables Dependientes

Mejoramiento de la Subrasante

2.5.3 Variables Intervinientes

Política de Gobierno

Norma Legales del Estado

Costo de Muestreo

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es de carácter APLICATIVO, conforme a los propósitos y naturaleza de la investigación; el estudio se ubica en el nivel descriptivo, explicativo y de correlación.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño a utilizarse en la investigación será por objetivos conforme al siguiente esquema:

OG	=	OBJETIVO GENERAL
HG	=	HIPÓTESIS GENERAL
CG	=	CONCLUSIÓN GENERAL

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

La población o zona de estudio se encuentra ubicada en la zona de Túpac Amaru Sector 1 distrito de Chaupimarca, provincia de Pasco, departamento de Pasco.

3.3.2 Muestra

En el procedimiento de discriminación de muestra se determinó tomar como muestras el tramo Avenida los Insurgentes. Considerado un Pavimento Hidráulico de $F_c=210\text{kg/cm}^2$ para una área de 6280 metros cuadrados para una sección de vía de 04 carriles con un espesor de 0.20mts.

3.4 METODOS DE INVESTIGACION

A resultados de localizarse todo los factores que intervienen en el problema planteado, se empleó métodos: deductivos, inductivos, análisis y síntesis.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas

Las principales técnicas que utilizaré en la investigación es:

- Entrevistas
- Encuestas
- Análisis documental

- Observación
- Clasificación de Archivos

Instrumentos

Los principales instrumentos que utilizaré en la investigación son:

- Guía de entrevista
- Cuestionario
- Guía de análisis documental
- Guía de observación
- Técnicas de procesamiento de datos.

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

- Verificar la validez y confiabilidad del instrumento aplicado en la medición de la subrasante.
- El procesamiento de datos será a través de varios métodos de interpretación del mejoramiento de la subrasante.

3.7 TRATAMIENTO ESTADISTICO DE DATOS

- El tratamiento de la base de datos se realizara con el programa Minitab – SPSS.

CAPITULO IV

GENERALIDADES

4.1 UBICACIÓN

El distrito de Chaupimarca, está ubicado a 10° 10'40" y 76°15' y 22", a 4338 m.s.n.m. con una extensión de 6660 Km². La ciudad de Cerro de Pasco, capital de la Región Pasco, se encuentra situada entre los 10° 40' 40" de latitud sur y entre los 76° 15' 22" de latitud norte.

Localizada sobre la Meseta de Bombón, a 4,338 m.s.n.m.

Limita:

Este : Distritos de. Simón Bolívar y Santa Ana de Tusi.

Norte : Distritos de Yanacancha

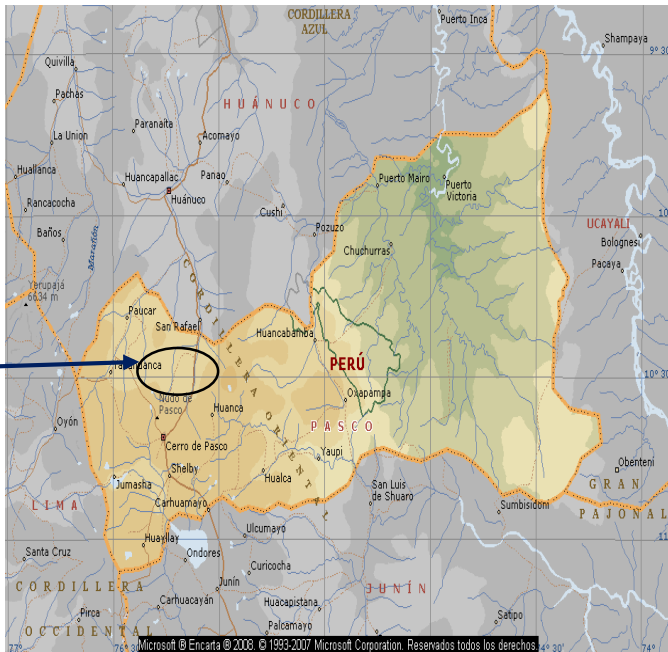
Sur : Distritos de Tinyahuarco.

Oeste : Distritos de Ninacaca y Huachón

UBICACION NACIONAL



UBICACION DEPARTAMENTAL



4.2 VÍAS DE ACCESO

El proyecto inicia en la intersección de las avenidas 1 de Mayo e Insurgentes (Km. 0+000), realizando un recorrido de (km.0+240.01) finalizando en la intersección de la Avenida Arequipa.

4.3 ASPECTO GEOGRÁFICO DEL PROYECTO

El área que ocupa el proyecto en estudio es de 6286 m² de pavimento rígido conforme se detalla en el Plano PG-01.

4.4 TOPOGRAFÍA Y TIPO DE TERRENO

El terreno donde se ejecutará el proyecto presenta una topografía llana.

Se ha efectuado un estudio geológico-geotécnico de la superficie en estudio, determinándose que superficie existente, la cual consiste en un bofedal, no es apta como subrasante, por lo tanto habrá que excavar hasta lo indicado según el estudio para luego rellenar con un pedraplen y sobre este irá un terraplén sobre el cual estarán colocadas las vías proyectadas.

4.5 ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

El proyecto se encuentra entre altitudes de 4,321.304 msnm (Prog. Km. 0+000) y 4,321.484 (Prog. 0+240.01), todo ello en el tramo en estudio.

4.6 COORDENADAS UTM

El proyecto inicia en las coordenadas:

- 363758.805 m Este
- 8818336.521 m Norte

4.7 CARACTERÍSTICAS SOCIO ECONÓMICAS DE LA POBLACION

Las principales características socio económicas del área de influencia del proyecto son las siguientes:

4.7.1 Actividad Económica

La fuente principal en la Región es la minería; la población laboral en estas (fundamentalmente la de carácter permanente), disminuyo drásticamente debido a la política de flexibilización laboral implementado por la empresas privadas (bajos sueldos y más horas de trabajo diario) los cuales fueron reemplazados por los SERVICIOS (personal eventual), existiendo en la actualidad mayor número de trabajadores contratados que representan el 69.3% de la masa laboral total y solo el 30.7 % significa personal estable (en planilla) de las empresas mineras.

A continuación se describe los porcentajes de las principales actividades que se desarrolla en el área de influencia del proyecto:

- | | |
|---------------|--------|
| ▪ Minería | 53.1 % |
| ▪ Agricultura | 9.9 % |

▪ Comercio	7.2 %
▪ Construcción	5.7 %
▪ Servicios gubernamentales	5.4 %
▪ Otros servicios	18.7 %

4.7.2 Administración Local

La administración local del área del proyecto, se encuentran a cargo de la Municipalidad Distrital de Chaupimarca, cuyos componentes en lo ejecutivo y administrativo son el Alcalde, Regidores y funcionarios públicos.

En el aspecto social, se cuenta con instituciones como el Club de Madres, Vaso de Leche y dirigentes que son propias del Asentamiento Humano Tupac Amaru.

4.7.3 Seguridad

Los pobladores del área de influencia del proyecto cuentan con una caseta de serenazgo, ubicada en la avenida del Los Insurgentes, que presta la seguridad a la población del casco urbano.

4.7.4 Servicios Básicos

La población beneficiaria con el proyecto cuenta con el sistema de agua potable, los cuales vienen satisfaciendo en forma restringida; cuenta también con servicio de fluido eléctrico las 24 horas del día, cuyo servicio es administrado por la empresa de energía Eléctrica; asimismo, cuenta con redes de alcantarillado.

El área de estudio no cuenta con la instalación de un sistema de drenaje pluvial, por lo que, en épocas de invierno por las constantes lluvias, la zona se ve inundada formándose gran cantidad de espejos de agua.

CAPITULO V.

ESTUDIOS Y DISEÑO

5.1 ESTUDIO DE SUELOS, CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

5.1.1 SUELOS Y PAVIMENTOS

El área destinada para el proyecto Anillo Vial de Chaquicocha la que se encuentra enmarcada en la ciudad de Cerro de Pasco a una altura de 4,338 m.s.n.m cuyo relieve corresponde a una depresión a manera de Hoyada; a consecuencia de las fuerte acción glacial habida en el pasado.

La zona en estudio se caracteriza por la presencia de rocas caliza que afloran en casi todo el perímetro a manera de lomadas y cerros bajos que han sufrido un fuerte modelado por acción de los agentes de intemperismo los mismos que definen los parámetros de los materiales teniendo en cuenta el retroanálisis de la disposición natural de los sedimentos por acción del intemperismo, para el caso particular de la ciudad de Cerro de Pasco.

En este sector de exploración se observa la presencia abundante agua de escorrentía además de los suelos areno arcillosos, arcillas blandas de mediana a alta plasticidad con roca alterada por acción del intemperismo y a la naturaleza de los suelos de fundación debido a la poca profundidad del basamento rocoso existente es así que se ha identificado los materiales existentes en la zona y a lo largo del trazo de la vías, determinando los procesos de geodinámica en el área de estudio.

5.1.1.1 METODOLOGÍA

La metodología adoptada para la ejecución de este estudio comprende la investigación en campo de toda la zona. Después de definido el trazo se da inicio a la ejecución de calicatas a lo largo del eje, con una profundidad mínima de 2.70 metros. El muestreo es representativo y en cantidades necesarias de cada uno de los estratos que se presenten, para la realización de los diferentes ensayos.

En forma conjunta al estudio de suelos se realiza el estudio de canteras, donde se ubican las posibles canteras a ser usadas en el trabajo y de las cuales se extraen también muestras representativas en cantidades suficientes, de igual forma se ubican las fuentes de agua obteniéndose muestras, las que han sido llevadas al laboratorio para sus respectivos estudios.

Con los datos obtenidos en el laboratorio se realizan los trabajos de gabinete, para luego poder determinar en forma gráfica y escrita los resultados del estudio.

Las etapas o fases descritas son secuenciales e importantes, a continuación se describe el trabajo de desarrollo por etapas:

5.1.1.2 TRABAJO DE CAMPO

Con el objeto de determinar las características propias del terreno de fundación, se realizaron excavaciones a lo largo del eje de la futuras vías, con una profundidad de 2.70 metros como mínimo, equidistantes una de la otra.



Inicio de los trabajos de excavación

Los materiales encontrados en cada estrato fueron descritos e identificados mediante tarjetas de identificación, donde se ha colocado el estrato al que corresponde, profundidad y número de calicata. Luego estas muestras eran colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio.

Durante la ejecución de las investigaciones se tomó registro de todos los espesores, color y estado de los materiales. Mediante este estudio se pudo definir las áreas donde se deberán efectuar los mejoramientos y estas se encuentran ubicadas en sus respectivas progresivas.

5.1.1.3 TRABAJOS EN LABORATORIO

Las muestras de suelos ya en laboratorio, fueron clasificadas y seleccionadas siguiendo procedimientos y normas descritas en la ASTM D-2488 / 2004.

Las muestras obtenidas en los suelos fueron sometidas a los siguientes ensayos:

- A) Análisis Granulométrico (ASTM D 422)
- B) Límites de Consistencia (ASTM D 7318)
- C) Ensayos de Proctor Modificado (AASHTO-T-180, ASTM D 1557)
- D) Ensayos de CBR (AASHTO-T-183, ASTM D 1883)
- E) Contenido de Humedad (ASTM D 2216)
- F) Clasificación SUCS

G) Clasificación AASHTO



Ensayo determinación del límite líquido empleando la Copa Casagrande



Secado del material para proceder con la granulometría.

5.1.1.5 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

En base a las observaciones hechas en el campo y a la clasificación de las muestras representativas realizadas en el laboratorio cuyos resultados se adjuntan al presente informe, de igual manera se adjunta el Perfil Estratigráfico.

Cabe mencionar que adjunto a los ensayos de laboratorio se encuentran los REGISTROS DE EXCAVACIÓN, con la finalidad de visualizar el material encontrado en campo y los resultados obtenidos en laboratorio. Asimismo se adjunta el Cuadro Resumen de Ensayos realizados.

ESTADO ACTUAL DE LA ZONA EN ESTUDIO (VÍAS DE CHAQUICOCHA)



TRAMO DE INICIO Km 0+050 (PERFIL DEL SUB-SUELO Km. 0+050)

TRAMO DE INICIO AVENIDA LOS INSURGENTES

Av. Los Insurgentes Km. (00+020) ; Lado Izquierdo

En este sector de la vía central los suelos de fundación están compuestos por dos estratos diferentes:

En el primer estrato, que va de 0.00 m a 0.30 m. corresponden a unos suelos limosos inorgánicos, de color beige claro, identificados en el Sistema Unificado SUCS como ML, de plasticidad baja, con presencias de algunas gravas aisladas.

En la segunda capa, de 0.30 m a 1.60 m, son suelos identificados en el Sistema Unificado SUCS como CL, arcillas inorgánicas, de baja a mediana plasticidad, con presencia de gravas aisladas, de color beige claro, con una humedad de 16%.

El nivel freático en esta perforación se detectó a 1.20 m de profundidad.

El basamento rocoso se presenta a 1.60 m con una matriz de roca fracturada con bolonería.



VISTA PANORÁMICA DEL PERFIL ESTATIGRAFICO DE LA CALICATA N°8



VISTA PANORÁMICA DEL PERFIL ESTATIGRAFICO



SE OBSERVA LA PRESENCIA DEL NIVEL FREATICO A 1.60 M.

Av. Los Insurgentes Km. (00+100) ; Lado Derecho.

Calicata efectuada en la progresiva 00+100 LD los primeros 20cm presenta un suelo GM; y entre los <0.20 a 1.50>mts. Presenta un suelo GC donde se puede mencionar que suelo ha sido mejorado, motivo por lo cual donde

existe el pavimento rígido no se efectuara mejoramiento de la subrasante lo mencionado se detalla en la figura adjuntas.



Se Observa La Excavación De Calicata De La Avenida Los Insurgentes Lado Derecho



5.1.1.6 EVALUACIÓN EFECTUADA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Considerando que este sector en estudio se encuentra ubicado en una zona pantanosa donde el predominio es prácticamente la presencia los suelos arcillosos CL, ML, CH, MH y en forma aislada SM-SC cuyos

espesores inclusive alcanza todo el estrato estudiado. Estos sectores deberán ser mejorados con los requerimientos que se establezcan en el capítulo de diseño de pavimentos.

Los problemas viales más resaltantes, son por los **SECTORES CRITICOS** existentes en la zona de estudio dado que la presencia suelos arcillosos con un contenido de humedad alto por lo que proponemos se considere un pedraplen tipo francés con gravas de entre 4" y 8" en una altura de 0.40 m en todo el ancho de la vía con el propósito de mejorar el terreno de fundación donde luego se apoyara la estructura del pavimento con suelos granulares provenientes de canteras ya definidas, hasta 1.0 m. de espesor, las cuales se compactarán en capas de 0.20 m. al 100% de Máxima Densidad del Próctor Modificado.

También se deberá contemplar la posibilidad de elevar la rasante, teniendo especial cuidado con el drenaje longitudinal para que atenué el nivel freático.

5.1.1.7 MEJORAMIENTO DEL SUELO

5.1.1.7.1 DEL ESTUDIO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DE LA SUBRASANTE.

De acuerdo a los resultados de los ensayos en muestras de suelos de fundación de las vías proyectadas determinamos:

Que, los suelos blandos en los sectores del trazo de las vías debe ser reemplazada, por estar constituida por materiales arcillosos, conteniendo

un alto porcentaje de humedad, valores elevados del Limite Liquido e Índice Plástico, razón por la cual debe ser sustituida, dichos materiales por otros más adecuados que cumplan con el CBR de la subrasante de diseño y de preferencia materiales granulares.

A efecto de poder determinar la existencia de suelos blandos a nivel de subrasante estamos aplicando los conceptos de Índice de Liquidez (IL) e índice de consistencia (IC) que se detallan

A continuación:

Índice de Liquidez (IL)

El comportamiento esfuerzo-deformación depende de la cantidad de agua que albergue en sus poros. El Índice de Liquidez (IL) de un suelo nos permite saber si su comportamiento es similar al de un sólido frágil, plástico o líquido, su valor se determina a través de la siguiente expresión

$$IL = W_n - LP$$

$$LL - LP$$

Donde :

IL = Índice de Liquidez

W_n = Humedad natural

LL = Limite Liquido y

LP = Limite Plástico

Si el Índice de Liquidez es menor que cero ($IL < 0$) el suelo se comporta como un suelo frágil.

Si esta entre 0 y 1 ($0 < IL < 1$) el suelo tendrá un comportamiento plástico

Si el Índice de Liquidez (IL) es mayor que 1 ($IL > 1$), el suelo se comporta como un líquido viscoso.

Cuando el Índice de Liquidez alcanza valores mayores a la unidad se degrada la resistencia del suelo completamente, y como consecuencia altera sus propiedades plásticas haciendo fluir el suelo como si fuese un líquido.

En general para suelos con Índice de Liquidez mayores a 0 (comportamiento plástico o líquido viscoso) deben ser eliminados y reemplazados por otros suelos de mejor calidad, generalmente suelos granulares que tengan un CBR igual o mayor al de Diseño del Pavimento.

Índice de Consistencia (Archie , 1972)

Nos permite determinar el grado de consistencia de los suelos, desde muy blandos a muy duros, a partir de la siguiente expresión:

$$IC = LL - W_n$$

IP

Donde :

IC = Índice de Consistencia

IP = Índice Plástico

Todo suelo que presente Índices de Consistencia menor a 1 ($IC < 1$)

(consistencia plástica duro, consistencia plástica blanda) debe ser eliminado por su alto contenido de humedad.

Sin embargo, consideramos que la humedad en algunos sectores de la vía es consecuencia de las lluvias continuas de la zona y a la falta de drenaje, , que perjudican a estos suelos y hacen que se saturen de humedad, cabe señalar que en las perforación efectuada a lo largo del trazo se ha detectado el nivel de la napa freática por lo que sugerimos que en el proceso constructivo de la vías se deberá tener especial cuidado con los trabajos del drenaje y al tener buenas cunetas y alcantarillas no se presentarán cambios bruscos en los suelos de fundación de estos tramos en estudio, ya que en la mayoría de trata de suelos arcillosos y arenas arcillosas.

En consecuencia, se deduce que solo se deberá cambiar o reemplazar las arcillas inorgánicas o suelos blandos existentes dentro de la zona en estudio por lo que se debe retirar estos suelos blandos y reemplazarlos por material de relleno, los cuales deben ser repuestos en capas de 0.20 metros y compactarlas hasta alcanzar el 100% de la Máxima Densidad del Proctor Modificad.

5.1.1.8 NIVEL FREÁTICO

En todo el Sector donde se proyecta construir las futuras vías de acceso para el anillo vial de Chaquicocha, la napa freática se ha detectado en casi toda el área en evaluación a diferentes niveles como se observa en el perfil estratigráfico, adjunto al estudio.

5.1.2 ESTUDIO DE CANTERA Y FUENTES DE AGUA

El estudio de canteras tiene como objetivo ubicar las fuentes de materiales disponibles; efectuando perforaciones ó calicatas para evaluar las características físico-mecánicas de los materiales y su calidad, con el fin de determinar los usos y tratamientos que requieren estos materiales, para satisfacer los volúmenes requeridos para la “MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE UTILIZANDO GEOMALLAS EN LA AVENIDA LOS INSURGENTES DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA-PASCO”

5.1.2.1 METODOLOGÍA

Para el estudio de canteras se ha tenido en cuenta las siguientes actividades:

- Reconocimiento de campo dentro del área de influencia del proyecto, para identificar aquellos lugares considerados como probable fuentes de materiales.
- Elaboración de un programa de exploración de campo.
- Ensayos de laboratorio con el objeto de conocer las características y usos del material de canteras para relleno, Sub-base, Base Granular y Agregados para Mezclas de Concreto Pórtland.

5.1.2.2 TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de exploración de campo han sido concluidos, dado que a la fecha se han encontrado y ensayado 03 canteras, las cuales satisfacen en calidad y cantidad necesaria para la construcción de la vía.

En el campo se realizó la evaluación de los materiales, determinándose la granulometría integral de los agregados existentes, con el fin de determinar el tamaño máximo de los agregados mayores a 2" (bloque y botonerías), % de gravas menores a 2" y % de arenas, con el fin de hallar rendimientos de las canteras para cada uno de sus usos.

La clasificación del material menor de 2" de diámetro, se determinó en laboratorio mediante el análisis granulométrico de las muestras representativas de cada calicata.

5.1.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar las características y propiedades y calidad del material, así como el uso de cada cantera, se realizaron los ensayos de clasificación y calidad en laboratorio, considerando las normas técnicas que se presentan en la relación siguiente de acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000) del MTC.

A) Análisis Granulométrico	ASTM D C-132
B) Contenido de Humedad de los suelos	ASTM D-2216
C) Límite Líquido	ASTM D-4318
D) Límite Plástico	ASTM D-4318
E) Sales solubles agregado grueso	NTP 339.152
F) Sales solubles agregado fino	NTP 339.152
G) Abrasión	ASTM D C-131
H) Equivalente de arena	ASTM D-2419
I) Partículas chatas y alargadas	ASTM D-4791
J) Porcentaje de caras fracturadas	ASTM D-5821
K) Gravedad específica y abs. Agr.grues.	ASTM D C-127
L) Gravedad específica y abs. Agr. Fino	ASTM D C-128
M) Peso Unit. Agre gru. (suelto y varillado)	ASTM D C-29
N) Peso Unit. Agre fino (suelto y varillado)	ASTM D C-29

➤ Ensayo Químicos de Canteras

- Contenidos de Cloruros NTP 339.117
- Contendidos de Sulfatos NTP 339.178
- Sales Solubles Totales NTP 339.152

- Ubicación del Banco.
- Tipo de equipo para su explotación, períodos de utilización
- Tipos de materiales recuperables (usos).

5.1.2.4 CANTERAS

Para el Proyecto se ubicaron las Canteras que se indican a continuación:



Cantera Sacrafamilia

5.1.2.4.1 CANTERA SACRAFAMILIA

Ubicación : Es un depósito de origen coluvial, a 10+000 Km. del inicio del tramo que va en dirección hacia San Pedro de Racco. El acceso a esta cantera es de 500 metros, lado derecho del río San Juan.

Potencia : Mayor de 80,000 m³

Granulometría Global:

Grava > 2"

Grava > 4"

Grava 6"

Uso y Explotación :

Relleno – eliminación de gravas mayores de 3"

Sub.-base – zarandeo

Base – chancado y zarandeo

Rendimiento	: Relleno	– 90%
	Sub-base	– 75%
	Base	– 75%

Tipo de Equipo: Equipo Convencional como tractor de oruga, cargador frontal y volquetes

Propiedad : Terceros

El material característico de la cantera consiste en gravas empacadas en una matriz arenosa, clasificados en el **Sistema Unificado SUCS como GM-GC y en sistema AASHTO como A-1-a-(0)**.

5.1.2.4.2 CANTERA DE AGREGADOS PARA CONCRETO PORTLAND ESTACION E-7

Ubicación : Es un depósito de origen coluvial, en el Km. 9+500 del inicio del tramo que va en dirección hacia San Pedro de Racco El acceso a esta cantera es de 100 metros, lado derecho de la carretera.

Potencia : Mayor de 60,000 m³

Granulometria Global:

Grava > 2"

Grava > 4"

Grava 6"

Uso y Explotación :

Relleno – eliminación de gravas mayores de 3"

Concreto hidráulico – chancado y zarandeo

Rendimiento : Relleno – 90%
Concreto Pórtland – 80%

Tipo de Equipo: Chancadora primaria y equipo convencional como tractor de oruga, cargador frontal y volquetes como GP y en sistema AASHTO como A-1-a-(0)..

Propiedad : Terceros

El material característico de la cantera consiste en gravas empacadas en una matriz arenosa, clasificados en el Sistema Unificado SUCS



5.1.2.4.3 CANTERA PARA PEDRAPLEN

Ubicación : Km. 7+000, es un deposito de origen coluvial, del inicio del tramo que va en dirección hacia San Pedro de Racco. El acceso a esta cantera es de 100 metros, lado izquierdo de la carretera..

Potencia : Mayor de 40,000 m³

Granulometría: Global:

Grava > 8"

Grava > 12"

Grava 14 "

Rendimiento : Relleno – 90%

Tipo de Equipo : Explosivos, equipo Convencional como tractor de oruga, cargador frontal y volquetes

Propiedad : Terceros

Los agregados de esta zona se caracterizan por la presencia de abundante roca producto del deslizamiento del talud del cerro rocoso, roca caliza de color rojizo meteorizada con buen valor de resistencia a la compresión.

5.1.2.4.4 CANTERA YANAMATE

Ubicación : Km. 7+600 del inicio de tramo en estudio, se trata de unos suelos de origen coluvial tiene acceso lado izquierdo de la carretera a 20 m.

Potencia : Mayor a 50,000 m.3

Granulométrica : Global:

Grava > 8"

Grava > 12"

Grava 14"

Uso y Explotación :

Relleno – eliminación de gravas mayores de 3"

Sub.-base – zarandeo

	Base – chancado y zarandeo	
	Concreto Pórtland - chancado y zarandeo	
Rendimiento	: Relleno	– 90%
	Sub-base	– 75%
	Base	– 75%
	Concreto	- 60%
Tipo de Equipo	: Chancadora primaria, equipo Convencional como tractor de oruga, cargador frontal y volquetes	
Propiedad	: Terceros	

El material característico de la cantera consiste en gravas empacadas en una matriz arenosa, clasificados en el Sistema Unificado SUCS como GW-GM y en sistema AASHTO como A-1-a-(0).

OBSERVACIONES: En este sector de la carretera se puede aprovechar la bolonería existente para ser utilizados en el pedraplen proyectado para el anillo vial, ya que existen rocas de 10”, 12” y 14”.



Cantera Yanamate



Cantera Yanamate

5.1.3 FUENTES DE AGUA

El objetivo fundamental de la ubicación de las fuentes de agua, es evaluar las características químicas de las muestras de agua tomadas, con la finalidad de ser utilizados en las diferentes obras de pavimentación y concreto.

El estudio de las fuentes de agua, se ha efectuado teniendo en cuenta la disponibilidad existente de la zona como el único recurso que es el agua tratada. (Agua potable)

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUA

Fuente de Agua	PH	S.S.T. (P.P.M.)	CL (P.P.M.)	SO (P.P.M.)
FUENTE DE AGUA GARGA	6.6	922.00	164.30	141 ⁴ .00
FUENTE DE AGUA PUCAYACU	6.9	2620.00	268.00	370.22
VALOR PERMISIBLE LÍMITE	5 – 8	-----	10,000.00	600.00
OBSERVACIONES: Las fuentes de agua indicadas pueden ser utilizadas para la elaboración de mezclas de concreto, curado y amasado de material de afirmado, ya que están por debajo de las especificaciones técnicas permisibles.				

5.2 ESTUDIO HIDROLOGICO Y DRENAJE DEL SECTOR CHAQUICOCHA

5.2.1 ANTECEDENTES

Para el presente estudio definitivo, se analizó y recopiló la siguiente información:

En el aspecto pluviométrico se recurrió a SENAMHI, confirmando que la estación Cerro de Pasco está activa y que la información que presenta es conveniente, cuyos registros son los que se usarán en el estudio definitivo, pues se comprobó en la mencionada institución que esta es la estación que

influye en el área del proyecto y por lo tanto las lluvias sobre el área del sector son representativas.

Consecuentemente, la estación meteorológica a utilizarse es la de CERRO DE PASCO.

La otra información recopilada y revisada, es la proveniente del INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, de cuyo stock se ha solicitado la carta Nacional 22-K perteneciente a CERRO DE PASCO, carta que servirá para la delimitación de las sub cuencas involucradas con la carretera de acceso a la ciudad, objeto del presente estudio definitivo.

5.2.2 OBJETIVOS

El estudio tiene como objetivos esenciales, para el mejoramiento y rehabilitación de las calles existentes y construcción de la nueva vía, lo siguiente:

Revisar, analizar y evaluar los problemas de drenaje existente, identificando los posibles orígenes de la presencia de agua que se observen, proponiendo a causa de ello las mejoras u obras complementarias que se requieran para eliminar o mitigar este mal drenaje.

Ubicar e identificar los lugares que puedan afectar a la vía proyectada, analizando lo que requieren para la operación segura y eficiente de la misma, garantizando las condiciones futuras del tránsito en el área del proyecto.

Analizar y cuantificar con la precisión posible, los fenómenos concurrentes que afecten las obras de drenaje a proponerse, para que sean considerados en el diseño de las nuevas obras de drenaje a implementarse, incluyendo las obras de protección que fueran necesarias para el adecuado funcionamiento de la vía.

5.2.3 INFORMACION ESTUDIADA

5.2.3.1 Información Meteorológica:

En vista que el área del proyecto, está expuesto a recibir las precipitaciones y nevadas que ocurren en la zona como recarga, tanto directa como la que proviene del escurrimiento superficial de los taludes, es necesario obtener información de caudales, para ello se recurre a los registros de lluvias proporcionadas por las estaciones climatológicas que controlan las precipitaciones, a su vez evaluadas por las instituciones correspondientes. Para realizar el estudio Hidrológico de drenaje, se utilizarán los datos de precipitación, los cuales deben ser lo suficiente extensos, por lo menos 10 años de registros, que permita calcular el escurrimiento superficial concurrente al área o sector del proyecto.

La estación requerida, por la influencia que ejerce sobre la ciudad, como ya se explicó es Cerro de Pasco, la ubicación de esta estación climatológica y el período de registro, es el siguiente:

CUADRO N° 01

Precipitación máxima 24 horas

Estación Cerro de Pasco

Latitud	10° 41'00" W	Dpto. PASCO
Longitud	76° 15'00" S	Prov. PASCO
Altitud	4260 msnm.	Dist. CHAUPIMARCA

Las hojas correspondientes solicitadas a SENHAMI, se adjuntan con el presente informe en el anexo N°01 Datos de Precipitación Máxima de Pasco

Cuadro N° 2:Lluvias máximas anuales de 24 horas

Estación	Parámetro	Período
Cerro de Pasco	Precipitación máx. en 24 h	1971, 1975-1977, 1980-1995 1998-2010
1	1971	34.00
2	1975	30.00
3	1976	50.00
4	1977	35.00
5	1980	38.00
6	1981	43.00
7	1983	40.00
8	1984	30.00
9	1985	30.00
10	1986	44.00
11	1987	23.50
12	1988	46.00

13	1989	37.00
14	1990	40.00
15	1991	27.00
16	1992	23.00
17	1993	36.00
18	1994	28.60
19	1995	25.10
20	1998	30.50
21	1999	38.00
22	2000	22.60
23	2001	29.40
24	2002	26.80
25	2003	20.70
26	2004	33.20
27	2005	46.70
28	2006	27.30
29	2007	26.70
30	2008	18.50

5.2.3.2 Información Cartográfica:

Esta información es obtenida de las cartas nacionales, proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional, para el presente estudio se requirió de una carta a la escala 1:100000, donde se ubicó el área del sector motivo del estudio, delimitando en ella las sub cuencas hidrográficas principales que facilitarán hallar los parámetros físicos propios del terreno como área, longitud de curso, pendiente, cobertura existente, etc.

Esta información cartográfica, más la obtenida de campo, permitirá elaborar el plano de sub cuencas, con la adecuada identificación de los cursos de escurrimiento superficial hacia el sector en estudio.

La carta nacional utilizada es la siguiente:

CUADRO N° 03		
CARTOGRAFIA		
CARTA	HOJA	ESCALA
CERRO DE PASCO	22 – K	1:100000

5.2.4 ANALISIS DE LA INFORMACION METEOROLOGICA

El análisis de la precipitación se apoya en la estadística y las probabilidades, considerando de esa manera que los valores obtenidos pueden ser una probable ocurrencia, por ello es importante la evaluación de la información proporcionada por las entidades oficiales, que a veces no cuentan con la cantidad suficiente o son inconsistentes.

Para la ejecución de los cálculos correspondientes, que permitan obtener los caudales de diseño necesarios para definir las dimensiones de las obras, se utilizarán los datos pluviométricos de la estación mencionada, la cual tiene buen período de registro.

El tipo de lluvia a utilizarse en los cálculos de caudales, es la precipitación máxima en 24 horas de la estación Cerro de Pasco, esta información probablemente tiene verificada la consistencia por SENAMHI que es de donde proviene, sin embargo se evaluarán esos datos mediante un

Software, que indicará con distribuciones teóricas, las proyecciones de las precipitaciones máximas a un determinado período de retorno y luego con los mínimos cuadrados su mejor ajuste.

5.2.4.1 Precipitación máxima en 24 horas:

Evaluando la información de la estación Cerro de Pasco, se observa que esta recibe la influencia de las lagunas que la rodean e inclusive de la laguna Chinchaycocha, que está a 20 km aproximadamente, ello hace casi uniforme las lluvias que ocurren durante el año, como se aprecia en los datos que muestran, cuyos valores no se diferencian mucho entre sí, excepto un valor en el año 1976 mes de Agosto, de 50 mm, esto se puede explicar como que la mayor parte de la lluvia formada en esa cuenca, proviene de la evaporación de las lagunas, que siempre presentan el mismo espejo de agua exceptuando como es natural los meses de Mayo a Agosto, meses en que bajan las precipitaciones.

5.2.4.2 Análisis de frecuencia:

Con la finalidad de ajustar la precipitación máxima, a una serie anual de distribución teórica, la información será analizada empleando para ello las siguientes distribuciones de probabilidad:

Normal

Log Normal 2 parámetros

Log normal 3 parámetros

Pearson tipo III

Log Pearson tipo III

Gumbel

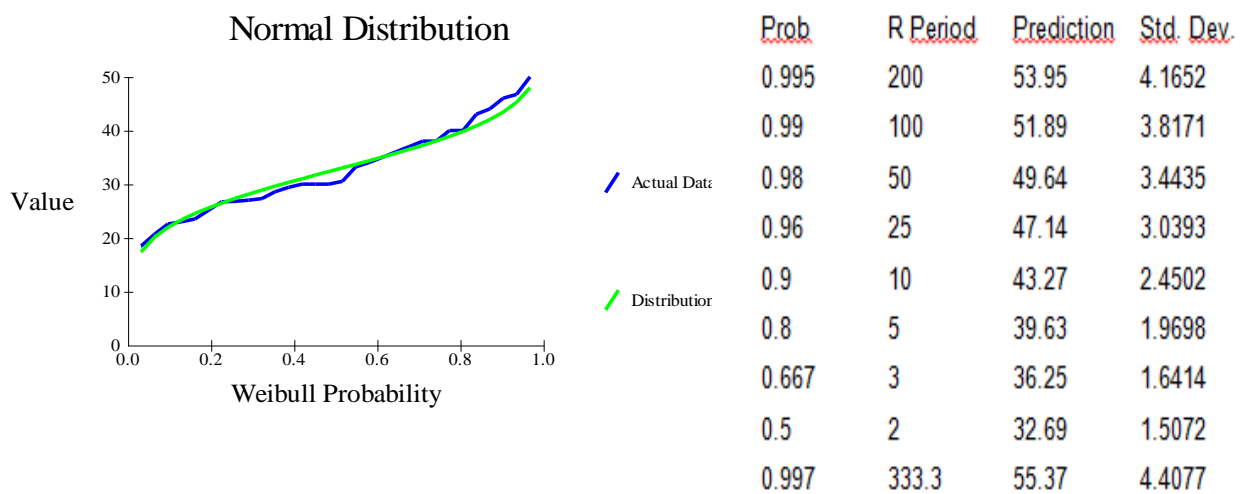
Para trabajar estas distribuciones teóricas se recurrió al Software Smada, que permite hacer el análisis de consistencia de la información y además determina a que distribución probabilística se ajustan mejor los datos históricos, mediante el método de los mínimos cuadrados.

Los resultados de este análisis, con referencia a la información registrada en la estación, concluyen en lo siguiente:

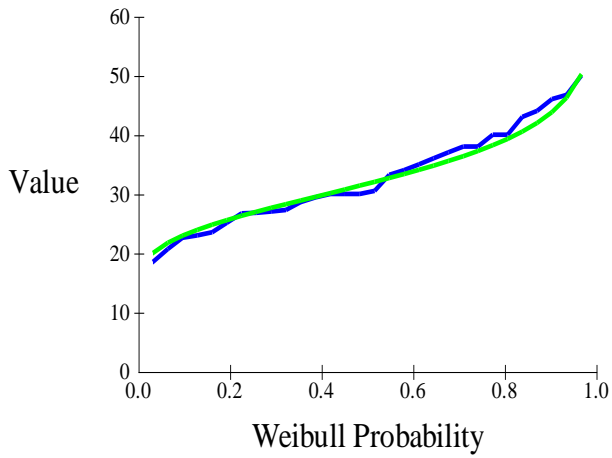
La estación Cerro de Pasco se ajusta mejor a Log Pearson tipo III, ello se logra sometiendo al método de los mínimos cuadrados todas las distribuciones teóricas calculadas por el software Smada, como se ve en el cuadro No 10

Estos resultados se pueden apreciar en los cuadros N° 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10

CUADRO N 04



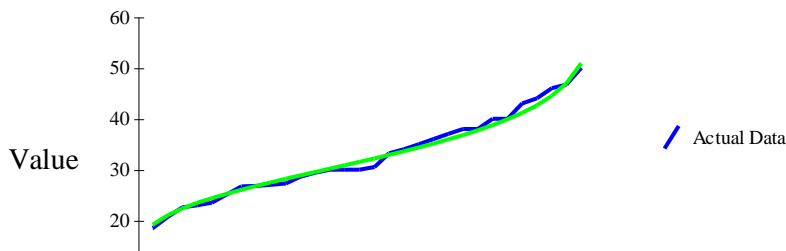
2 Parameter Log Normal



Prob	R Period	Prediction	Std. Dev.
0.995	200	60.14	5.2422
0.99	100	56.52	4.6845
0.98	50	52.82	4.1196
0.96	25	48.98	3.5448
0.9	10	43.59	2.7651
0.8	5	39.07	2.1625
0.667	3	35.28	1.7309
0.5	2	31.69	1.444
0.997	333.3	62.77	5.6501

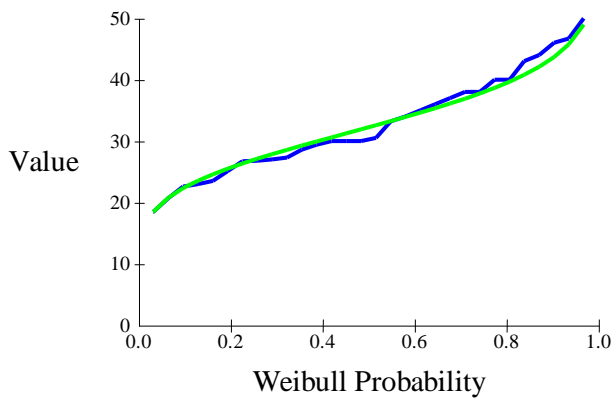
CUADRO N 06

Log Pearson Type III



Prob	R Period	Prediction	Std. Dev.
0.995	200	60.58	8.3873
0.99	100	57.11	6.7203
0.98	50	53.51	5.2527
0.96	25	49.72	4.0091
0.9	10	44.28	2.7664

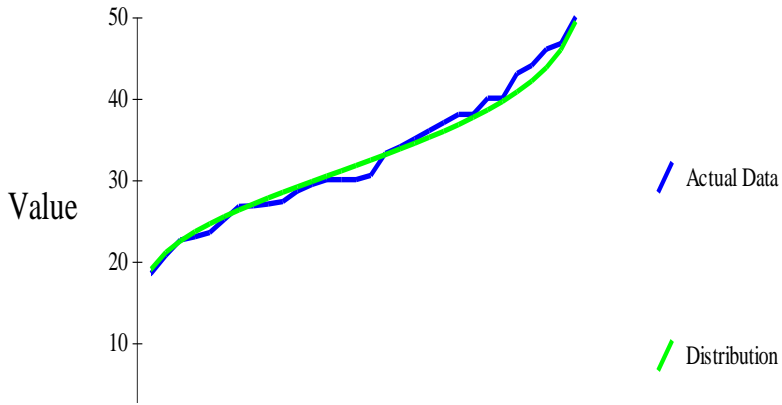
3 Parameter Log Normal



Prob	R Period	Prediction	Std. Dev.
0.995	200	56.5	6.0992
0.99	100	53.85	5.079
0.98	50	51.04	4.1311
0.96	25	48	3.2787
0.9	10	43.49	2.3659
0.8	5	39.46	1.9096
0.667	3	35.86	1.7206
0.5	2	32.25	1.6311
0.997	333.3	58.37	6.8889

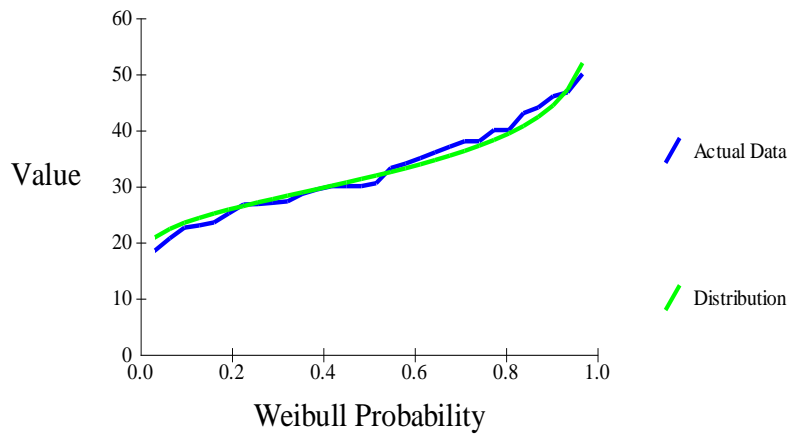
CUADRO N 08

Pearson Type III



Prob	R Period	Prediction	Std. Dev.
0.995	200	57.49	6.5048
0.99	100	54.62	5.4427
0.98	50	51.59	4.4389
0.96	25	48.35	3.5168
0.9	10	43.58	2.4973
0.8	5	39.38	1.9696
0.667	3	35.7	1.7522

Gumbel Extremal Type I



Prob	R Period	Prediction	Std. Dev.
0.995	200	64.44	6.7705
0.99	100	59.8	5.9395
0.98	50	55.14	5.1108
0.96	25	50.45	4.2846
0.9	10	44.12	3.1964
0.8	5	39.12	2.3803
0.667	3	35.14	1.8004
0.5	2	31.55	1.3998
0.997	333.3	67.86	7.3843

CUADRO N 10 CALCULO POR MINIMOS CUADRADOS

NORMAL			2 PARAMETER LOG NORMAL			3 PARAMETER LOG NORMAL			PEARSON TIPO III			LOG PEARSON TYPE III			GUMBEL TYPE I		
18.5	17.42	1.1664	18.5	20.01	2.2801	18.5	18.51	0.0001	18.5	19	0.25	18.5	19.17	0.4489	18.5	20.88	5.6644
20.7	20.15	0.3025	20.7	21.73	1.0609	20.7	20.77	0.0049	20.7	21.05	0.1225	20.7	21.05	0.1225	20.7	22.38	2.8224
22.6	21.95	0.4225	22.6	22.94	0.1156	22.6	22.31	0.0841	22.6	22.47	0.0169	22.6	22.38	0.0484	22.6	23.45	0.7225
23	23.35	0.1225	23	23.92	0.8464	23	23.53	0.2809	23	23.61	0.3721	23	23.46	0.2116	23	24.33	1.7689
23.5	24.52	1.0404	23.5	24.78	1.6384	23.5	24.56	1.1236	23.5	24.59	1.1881	23.5	24.4	0.81	23.5	25.1	2.56
25.1	25.55	0.2025	25.1	25.56	0.2116	25.1	25.49	0.1521	25.1	25.46	0.1296	25.1	25.25	0.0225	25.1	25.8	0.49
26.7	26.47	0.0529	26.7	26.28	0.1764	26.7	26.33	0.1369	26.7	26.27	0.1849	26.7	26.04	0.4356	26.7	26.46	0.0576
26.8	27.33	0.2809	26.8	26.97	0.0289	26.8	27.12	0.1024	26.8	27.03	0.0529	26.8	26.78	0.0004	26.8	27.08	0.0784
27	28.13	1.2769	27	27.63	0.3969	27	27.86	0.7396	27	27.75	0.5625	27	27.5	0.25	27	27.69	0.4761
27.3	28.89	2.5281	27.3	28.27	0.9409	27.3	28.58	1.6384	27.3	28.44	1.2996	27.3	28.19	0.7921	27.3	28.29	0.9801
28.6	29.62	1.0404	28.6	28.89	0.0841	28.6	29.27	0.4489	28.6	29.11	0.2601	28.6	28.87	0.0729	28.6	28.87	0.0729
29.4	30.32	0.8464	29.4	29.51	0.0121	29.4	29.94	0.2916	29.4	29.78	0.1444	29.4	29.53	0.0169	29.4	29.46	0.0036
30	31.01	1.0201	30	30.13	0.0169	30	30.61	0.3721	30	30.43	0.1849	30	30.2	0.04	30	30.05	0.0025
30	31.69	2.8561	30	30.75	0.5625	30	31.26	1.5876	30	31.08	1.1664	30	30.86	0.7396	30	30.64	0.4096
30	32.35	5.5225	30	31.38	1.9044	30	31.92	3.6864	30	31.74	3.0276	30	31.53	2.3409	30	31.25	1.5625
30.5	33.02	6.3504	30.5	32.01	2.2801	30.5	32.58	4.3264	30.5	32.39	3.5721	30.5	32.21	2.9241	30.5	31.87	1.8769
33.2	33.69	0.2401	33.2	32.66	0.2916	33.2	33.25	0.0025	33.2	33.06	0.0196	33.2	32.9	0.09	33.2	32.51	0.4761
34	34.36	0.1296	34	33.33	0.4489	34	33.93	0.0049	34	33.75	0.0625	34	33.62	0.1444	34	33.18	0.6724
35	35.05	0.0025	35	34.03	0.9409	35	34.63	0.1369	35	34.45	0.3025	35	34.36	0.4096	35	33.87	1.2769

36	35.76	0.0576	36	34.76	1.5376	36	35.36	0.4096	36	35.19	0.6561	36	35.13	0.7569	36	34.61	1.9321
37	36.48	0.2704	37	35.53	2.1609	37	36.11	0.7921	37	35.95	1.1025	37	35.94	1.1236	37	35.4	2.56
38	37.24	0.5776	38	36.35	2.7225	38	36.91	1.1881	38	36.76	1.5376	38	36.81	1.4161	38	36.25	3.0625
38	38.04	0.0016	38	37.24	0.5776	38	37.75	0.0625	38	37.63	0.1369	38	37.73	0.0729	38	37.18	0.6724
40	38.9	1.21	40	38.21	3.2041	40	38.66	1.7956	40	38.56	2.0736	40	38.75	1.5625	40	38.2	3.24
40	39.83	0.0289	40	39.29	0.5041	40	39.66	0.1156	40	39.6	0.16	40	39.87	0.0169	40	39.36	0.4096
43	40.85	4.6225	43	40.53	6.1009	43	40.79	4.8841	43	40.76	5.0176	43	41.15	3.4225	43	40.7	5.29
44	42.02	3.9204	44	41.98	4.0804	44	42.09	3.6481	44	42.11	3.5721	44	42.65	1.8225	44	42.32	2.8224
46	43.42	6.6564	46	43.79	4.8841	46	43.66	5.4756	46	43.76	5.0176	46	44.49	2.2801	46	44.35	2.7225
46.7	45.22	2.1904	46.7	46.23	0.2209	46.7	45.74	0.9216	46.7	45.94	0.5776	46.7	46.96	0.0676	46.7	47.17	0.2209
50	47.95	4.2025	50	50.19	0.0361	50	48.97	1.0609	50	49.38	0.3844	50	50.92	0.8464	50	51.91	3.6481
		49.142			40.2668			35.4741			33.1552			23.3084			48.5543

De acuerdo a las magnitudes obtenidas por estas distribuciones, que se muestran en el cuadro No 10, se aprecia que el mejor ajuste es la distribución Log Pearson Tipo III, luego las precipitaciones máximas a ser utilizadas en los cálculos de caudales de diseño, de las obras de arte a ser implementadas en el sistema de drenaje de la vía en estudio, se resumen en el cuadro No 11.

CUADRO N° 11							
ESTACION	TIEMPO DE RETORNO						DISTRIBUCION TEORICA
	300	200	100	50	25	10	
C de Pasco	63.09	60.58	57.11	53.51	49.72	44.28	L P T III

Las estructuras de drenaje a diseñarse, serán dimensionadas tomando como referencia el “Manual de Carreteras Pavimentadas de Bajo Tránsito”, del MTC que especifica los períodos de retorno para determinadas estructuras:

100 años para niveles máximos de puentes y pontones

50 años para alcantarillas de paso y badenes

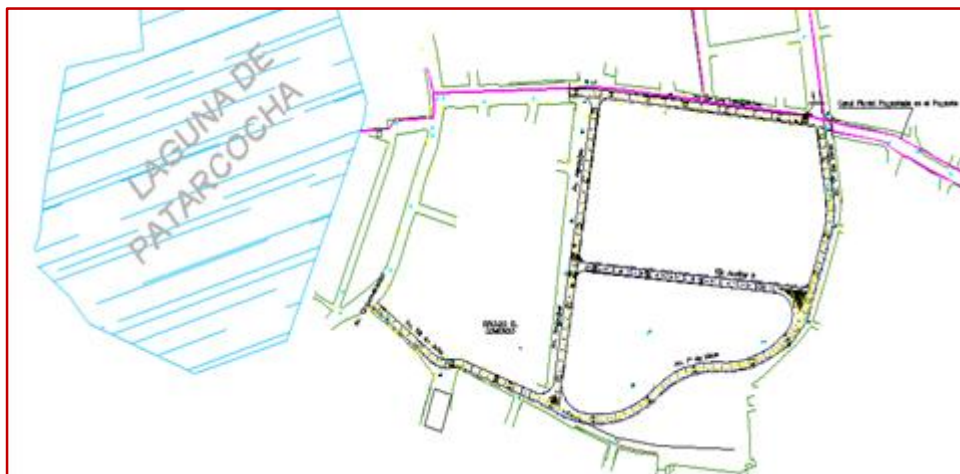
10 años para cunetas o drenaje de plataforma

5.2.5 HIDROGRAFIA

La vía, continuación de la avenida 1º de Mayo, que cruzará por el área con problemas de drenaje y objeto del presente estudio, en su recorrido penetra a una pequeña hoya hidrográfica, CHAQUICOCHA, que es la recepción

final del escurrimiento superficial, tanto de la lluvia como de las nevadas que caen, de un sector de la ciudad, a través de las calles que hacen de pequeñas quebradas en época de lluvias estacionales, flujo que luego es conducido mediante zanjas a un ducto, punto de entrada a un canal de evacuación ubicado en la intersección de las Av. Insurgentes y Av. 1ro de Mayo, ubicado en un extremo de este sector, conduciendo la descarga a la laguna Patarcocha.

GRAFICA N°01



La intersección de las avenidas 1ro de Mayo y la Av los Insurgentes es la concentración de Lluvias de las partes altas los cuales este tema de Drenaje Pluvial ha sido solucionado en el Expediente Técnico **“MEJORAMIENTO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE LAS AVENIDAS 1º DE MAYO, INSURGENTES, LA LIBERTAD Y JIRONES MOQUEGUA, HUALLAGA, SAN SEBASTIAN Y HUARICAPCHA DEL ASENTAMIENTO HUMANO**

TUPAC AMARU DEL DISTRITO DE CHAUPIMARCA” en la Grafica N °01 está proyectado el canal de Drenaje de color morado.

Las vías que se pretende construir son totalmente nuevas, lo cual se puede apreciar por el estado del terreno donde se ubicarán, con presencia de agua, desmonte y basura en algunos lugares, zanjas de drenaje, observando también algunos afloramientos rocosos e inclusive se ha observado pastoreo de ganado ovino y caprino por la presencia de vegetación, terreno en el cual hay trabajo por hacer, siendo el principal de ellos, drenar el agua existente, para que pueda estabilizarse la vía a construirse.

De la misma manera, la colocación de alguna estructura de drenaje necesaria para la vía, debe estar lo suficientemente sólida estructuralmente, para ello se debe conocer a plenitud las condiciones naturales del suelo de fundación y además según ese estudio determinar la mejor manera de evacuar las aguas subterráneas, a un nivel de profundidad que no afecte la estructura del pavimento colocado, para que su funcionamiento sea eficiente para el tráfico vehicular,

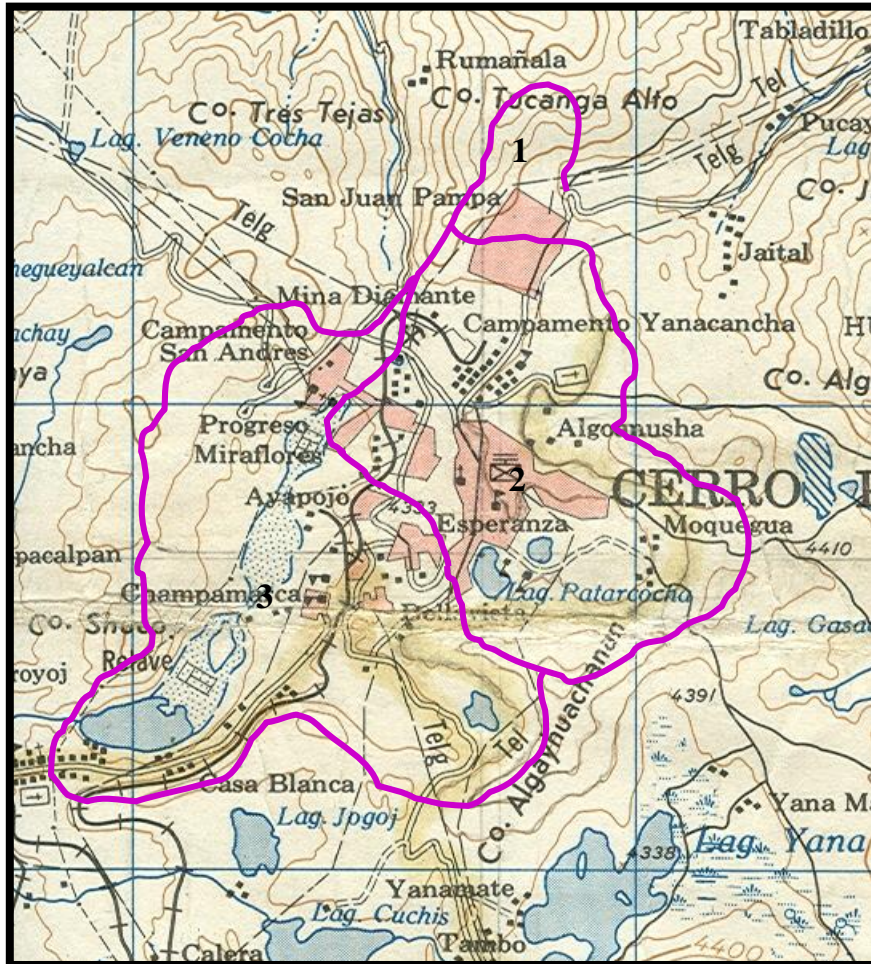
Este sector de área, Chaquicocha, se ubica en una de las tres sub cuencas delimitadas en la carta nacional, la número 2, que son las colectoras de alimentación hídrica de los taludes, que en este caso son las calles que actúan como pequeñas quebradas, estas sub cuencas muestran diferentes áreas, haciendo que los caudales generados también sean variados, esas

diferencias determinan que las estructuras a implementarse en el sistema de drenaje adopten diferentes tipos y variadas dimensiones, incluyendo las obras de protección que sean requeridas.

Las sub cuencas identificadas presentan un relieve topográfico poco accidentado con presencia en las sub cuencas 2 de un área totalmente urbanizada, es la está en el área de influencia del proyecto que en realidad es la ciudad de Cerro de Pasco, capital de la Región Pasco.

La fisiografía de las sub cuencas, presentan pendientes bajas a muy fuertes, tanto de las laderas como de las urbanizaciones, en la zona del proyecto el terreno es plano punto de concentración de las lluvias proveniente de las alturas

Cuando se presenta la época de lluvias, el comportamiento geodinámico se manifiesta con el arrastre de materiales como lodos y piedras, que provienen de suelos sueltos, zonas sin edificación y de la erosión de las áreas con fuerte gradiente, lo cual es determinante en el diseño del tipo de estructuras a considerarse, cabe señalar además que en esta zona de Cerro de Pasco también nieva fuerte, llegando a acumularse hasta alturas de 0.30 mt en promedio, cuya duración varia de horas a muchos días, originando al derretirse un flujo laminar considerable, que colmata las obras de drenaje.



SUB CUENCAS HIDROGRAFICAS CERRO DE PASCO

N°	PROG.	SUBCUENCA	AREA M2	S	LONG KM	TC
1	0+000 - 0+550	TUCANGA ALTO	1.2	0.28	0.7	0.29
2	0+550 - 3+185	ALGOANUSHA	7.7	0.07	1.5	0.68
3	-----	PARAYCHA	10.5	0.07	1.5	0.68

5.2.6 ESTUDIO DE CAMPO

Con el fin de conocer y evaluar el área del proyecto, se realizó el reconocimiento de campo correspondiente a toda la zona de Chaquicocha, ello consistió en definir las características topográficas del lugar donde se ubicará la vía, los probables problemas de drenaje o sub-drenaje que se encuentren, cursos de agua que existan, asimismo las condiciones en que se hallan algunos tipos de estructuras existentes, también se evaluó el entorno que rodea al sector, como son las urbanizaciones, igualmente el comportamiento hidráulico de los sectores de pases de agua y la necesidad de la implementación de nuevas obras de drenaje o el cambio de algunas existentes, porque esta vía no solo cruza la zona de drenaje, sino que tiene que se ha proyectado una vía de alto tránsito hasta, que empalma con la avenida Circunvalación.

Topográficamente el tramo de vía en estudio se desarrolla en terreno ondulado a plano rodeado de viviendas, no existe cobertura vegetal porque está urbanizada, no hay flujo que se forme en Chaquicocha, sino empozamientos con problemas de drenaje y en la parte de calle de la vía si se forma un escurrimiento, pero no erosivo. Principalmente en la intersección de las Av. Los Insurgentes y la Av. 1ro de Mayo donde se concentra gran cantidad de lluvias provenientes de las alturas este es recolectado al canal de sub drenaje pluvial ver plano de evacuación de lluvias.

Debido a que el diseño de la nueva vía, presentará un ancho determinado, de la misma manera la longitud de las obras de drenaje serán proporcionales, asimismo se debe indicar que la escasa obra de drenaje de la calle existente, no tiene las medidas convenientes ni la ubicación adecuada, ello deberá ser corregido con la instalación de obras de drenaje complementarias.

Según los trabajos de topografía realizados, a lo largo de las proyectadas vías, se han ubicado progresivas, la principal, cuyo 0+000 se halla en la intercepción de las calles 1º de Mayo y de los Insurgentes, de ahí hasta el km 0+486.60 cruza por toda la zona de drenaje y de este punto hasta el km 0+750 es una calle que empalma con la avenida circunvalación. Como se trata de una vía nueva, por lo tanto no existe ningún inventario de obras. La calle Arequipa tiene el 0+000 en la intercepción con la av. Insurgentes.

5.2.7 SUB CUENCAS HIDROGRAFICAS

Mediante la cartografía del Instituto Geográfico Nacional, mostrada en el cuadro No 3, se ubicaron mediante la delimitación de la divisoria de aguas, las 3 sub cuencas hidrográficas relacionadas con la vía cuyas quebradas inciden en ella siendo la cuenca nº02 en el área directa del proyecto.

En el cuadro No 12 se muestran las características fisiográficas de las sub cuencas identificadas en la carretera de acceso a la ciudad de Cerro De Pasco, sub cuencas que además se muestran en el plano correspondiente.

Las características de las sub cuencas mostradas, se refieren al área, longitud de cauce principal, pendiente media del curso, tiempo de concentración y la correspondiente progresiva, estos parámetros serán utilizados en los cálculos para obtener los caudales de diseño.

CUADRO N° 12							
SUBCUENCAS HIDROGRAFICAS							
N°	PROGRESIVA		SUB CUENCA	AREA (KM2)	PENDIENTE	LONGITUD (Km)	TC (Horas)
1			Tucanga Alto	1.2	0.28	0.7	0.29
2	0+000	0+240	Algoanusha	7.7	0.07	1.5	0.68
3			Paragsha	10.5	0.07	1.5	0.68

La sub cuenca No 2 tiene incidencia directa en la zona de Chaquicocha, en consecuencia el caudal generado por ella, determinará los tipos de obras de arte que se implementarán al sistema de drenaje.

5.2.8 CAUDALES

La estimación de los caudales en los 3 cursos hídricos, de ellos el No 2, involucrados con la vía, permitirá desarrollar dos tareas principales:

La primera, que el caudal máximo calculado, pueda determinar los tipos de estructuras necesarios para el nuevo sistema de drenaje, del mismo modo servirá para comprobar la capacidad de alguna estructura existente.

La segunda, que según el caudal máximo calculado, este estime las dimensiones que adoptarán las nuevas estructuras a incorporarse al sistema de drenaje.

En Chaquicocha, se ha observado en los primeros 500 metros, como ya se indicó, presencia de afloramiento de agua, que compromete a las dos vías proyectadas, debido a que toda esa área recibe las aguas de un sector de Cerro de Pasco, sobre todo de las lluvias, causando los problemas de drenaje conocidos. Los suelos de Chaquicocha tienen una cobertura vegetal compuesta principalmente de pastos, sobre un suelo arcilloso con afloramiento rocoso en algunos lugares, cuya profundidad será determinada por los trabajos de mecánica de suelos y según los resultados proceder a diseñar el tipo de drenaje necesario.

Estas características del suelo de fundación, donde se asentará la nueva vía, se debe conocer, porque son detalles necesarios a ser tomados en cuenta al momento de realizar los cálculos de diseño, razón por la cual se solicita la ejecución de calicatas y los respectivos ensayos de laboratorio.

Caudales máximos

Los cálculos para obtener los caudales máximos necesarios en las 3 subcuencas comprometidas directamente con la carretera, se desarrollarán utilizando el método del Hidrograma Triangular, este método tiene como base fundamental los niveles de precipitación efectiva, previamente estimados mediante análisis estadísticos.

La precipitación efectiva, es la lluvia que escurre libre de procesos de infiltración, porque previamente el suelo ha sido saturado con las primeras lluvias que han creado la escorrentía base subterránea, por lo tanto esa precipitación efectiva es el escurrimiento superficial neto que forma el verdadero caudal máximo, cuyo cálculo lo ejecuta este método del Hidrograma Triangular.

Los otros parámetros comprendidos en el método son, las áreas de las sub cuencas colectoras, número de escurrimiento, pendiente media del cauce principal, tiempo de concentración.

El número de escurrimiento, se obtiene de acuerdo a la configuración topográfica, tipos de suelos, tipo de cobertura vegetal y el uso que se le da al suelo en la sub cuenca correspondiente.

Uno de los parámetros necesario para el método del Hidrograma, es el del tiempo de concentración (T_c), el cual será calculado por el método del SCS (soil conservation service) y cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$T_c = 0.3 \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración en horas

L = Longitud del cauce mayor en kilómetros

S = Pendiente media del cauce mayor

Por la ubicación que tiene cada sub cuenca más su respectiva morfología, los tiempos de concentración a obtenerse, tendrán distintos valores, los cuales de acuerdo al modelo utilizado serán horarios.

Otro parámetro necesario para el Hidrograma, son las precipitaciones máximas calculadas y mostradas en el cuadro No 11, que intervienen en el proceso Precipitación – Escorrentía de las 3 sub cuencas, determinando los caudales a producirse en cada una de ellas, según los períodos de retorno.

En el cuadro No 11 donde se muestran las precipitaciones máximas calculadas, se aprecia que las precipitaciones correspondientes a 50 y 100 años de período de retorno, superan a la lluvia más alta registrada en la estación Cerro de Pasco y son las que se usarán en los cálculos de las obras de drenaje.

Esto significa que los caudales a calcularse para 50 y 100 años de tiempo de retorno, proporcionan suficiente holgura y seguridad a las dimensiones que se le otorgarán a las estructuras de drenaje correspondientes, así mismo con 10 años, período recomendado para las cunetas, harán a estas estructuras seguras, porque se diseñarán con la precipitación cuyo valor es parecido a la más alta registrada en las estaciones.

En la vía en estudio, el sistema de drenaje nuevo a incorporar son diversas obras, como alcantarillas, cunetas y probablemente estructuras de piedraplen, de variadas dimensiones, las cuales están en función a la variación de los niveles freáticos que se presenten, que deben ser bajados

a sus niveles mínimos necesarios, para evitar que el agua afecte a la estructura de la vía, en consecuencia se utilizarán las lluvias máximas del cuadro No 11 en el método del Hidrograma Triangular.

Con los parámetros necesarios de las sub cuencas completos, más los valores de tiempos de concentración, se aplicarán al método correspondiente de cálculo para las descargas de diseño y luego obtener las dimensiones de las obras de drenaje necesarias.

Cálculo del tiempo de concentración

Como se mencionó, el método para hallar el tiempo de concentración es el del SCS, cuyo modo de cálculo se mostrará con un ejemplo para una sub cuenca:

Tiempo de concentración para la sub cuenca, No 1 – Tucanga Alto

Datos:

S = 0.28 m/m

L = 0.70 km

Luego:

$$T_c = 0.3 \frac{0.7^{0.76}}{0.28^{0.19}} = 0.29 \text{ horas}$$

De la misma manera se procede con los parámetros de las otras sub cuencas, reemplazando los valores del cuadro No 12, en la fórmula y hallando el resto de los tiempos de concentración, cuyos resultados se muestran en el mismo cuadro No 12.

5.2.8.1 Cálculo de caudales máximos:

Para estos cálculos, el método a emplearse es el del Hidrograma Triangular, que basa su proceso en determinar la precipitación efectiva, luego que el suelo ha sido saturado completamente, hecho que proporciona descargas más aproximadas a la realidad, pero lo más conveniente de este método es que no tiene limitaciones con la magnitud de las áreas de las sub cuencas, que si lo tienen otros como el método racional por ejemplo

El modelo matemático del Hidrograma Triangular es el siguiente:

$$q_p = \frac{0.555xA}{t_b} \quad Pe = \frac{\left(P - \frac{5080}{N} + 50.80\right)^2}{P + \frac{20320}{N} - 230.20} \quad y \quad Q_{\max} = Pe \times q_p$$

Donde:

A = área de la sub cuenca en Km²

t_b = tiempo base

q_p = caudal unitario

Pe = precipitación efectiva

P = altura de lluvia

N = número de escurrimiento

Q max = caudal de diseño

Uno de los parámetros necesarios en el Hidrograma, es el número de escurrimiento, factor importante para hallar la precipitación efectiva, este número indica la calidad del terreno sobre el cual escurre el flujo de agua, considerando la cobertura vegetal, tipo de suelo, pendiente y grado de

infiltración, elementos que están debidamente clasificados y tabulados. El que se requiere para este estudio es:

C – 90 para las 3 sub cuencas (tierras urbanizadas)

Donde:

C, corresponde a suelos Limos arcillosos con arenas poco profundas

90, número de escurrimiento para tierras urbanizadas con superficie firme

Estos valores son asignados a cada sub cuenca, de acuerdo a la fisiografía y demás características de relieve indicados.

Teniendo en cuenta los elementos necesarios, que intervienen en los cálculos de caudales con el método del Hidrograma Triangular, se procede a ejecutar dichos cálculos, para lo cual tomaremos como ejemplo la sub cuenca No 1 Tucanga Alto, de la siguiente manera:

Sub cuenca Tucanga Alto

Datos:

Área de la sub cuenca ----- 1.20 km²

Pendiente ----- 0.28 m/m

Longitud de cauce ----- 0.70 km

Tc en horas ----- 0.29 hs

Tc en minutos ----- 17.4 min

Precipitación de diseño ----- 53.51 mm (50 años de Tr)

Calculando:

$$tr = 0.005 \left(\frac{700}{\sqrt{28}} \right)^{0.64} = 0.114$$

Tiempo de retraso

Tiempo pico $tp = \sqrt{0.29} + 0.114 = 0.65$

Tiempo base $tb = 2.67 \times 0.65 = 1.74$

Caudal unitario $q_p = \frac{0.555 \times 1.2}{1.74} = 0.38$

Altura de lluvia $P = 53.51 \left(\frac{17.4}{1440} \right)^{0.25} = 17.74$

Precipitación efectiva $Pe = \frac{\left(17.74 - \frac{5080}{88} + 50.8 \right)^2}{17.74 + \frac{20320}{88} - 203.20} = 3.63$

Luego:

Q max = 3.63 x 0.383 = 1.39 m3/seg

Siguiendo el mismo procedimiento, se hacen los cálculos para las otras sub cuencas, mostrando los resultados en el cuadro No 13.

CUADRO N° 13									
CAUDALES DE DISEÑO ACCESO A CERRO DE PASCO (M3/SEG)									
MÉTODO DEL HIDROGRAMA TRIANGULAR									
P	C.N	Tr	tp	tb	Qp	P	Pe	Q(m3/seg)	Sub cuenca
53.51	90	0.1139	0.65	1.74	0.38	17.74	3.63	1.39	Tucanga Alto
53.51	90	0.29	1.12	2.97	1.44	21.95	5.97	8.58	Algoanusha
53.51	90	0.29	1.12	2.97	1.96	21.95	5.97	11.70	Paragsha

Los caudales calculados e indicados en el cuadro No 13 para cada subcuenca, tienen como período de retorno 50 años, que es el recomendado por el MTC para dimensionar las alcantarillas.

Para el diseño de cunetas, se obtendrá el caudal correspondiente, utilizando como precipitación de diseño, el que pertenece a la lluvia de 25 años como período de retorno, lo cual brindará mayor seguridad a la estructura, puesto que el Manual del MTC recomienda 10 años como tiempo de retorno.

5.2.9 OBRAS DE DRENAJE PROPUESTAS

El sistema de drenaje a implementarse en la vía en estudio, comprende dos sectores, uno, que es todo Chaquicocha, porque la vía en este sector tiene el problema de drenaje en su totalidad y dos, el sector de calle existente que empalma con la avenida circunvalación, mencionando que estos dos sectores están rodeados de urbanizaciones y los taludes de escurrimiento se ubican al lado derecho de la vía. Que conforman parte de la ciudad de Cerro de Pasco.

El primer sector es el más crítico, son los primeros 490m de vía proyectada, que comprende desde el km 0+000 hasta la ubicación del ducto, que sirve de desagüe al agua drenada proveniente de la laguna más grande de Chaquicocha, que además es la única obra de drenaje existente, a la vía en este sector se le debe adicionar drenes como alcantarillas, cunetas y

obras de protección, la vía en esta parte tendrá relleno casi en su totalidad, por lo tanto las obras de drenaje se adaptarán a este tipo de rasante, donde se aprecian tres lugares sumamente críticos que corresponden a los lugares con afloramiento de agua.

El segundo sector, continua después de la entrada al ducto de desagüe, corresponde a una calle existente que requiere de algunas obras de drenaje, esta calle es totalmente afirmada y empalma en su parte final con la avenida circunvalación. La vía auxiliar solo tiene un punto crítico, casi en su parte central que también se debe considerar.

Sin embargo las calles existentes, incluido la calle Arequipa, de acuerdo al estado en que se encuentra, permite a los vehículos transitar, sin paradas innecesarias, pero el parque automotor que circula se maltrata por la falta de pavimento.

Con el presente estudio lo que se pretende es consolidar un sistema de drenaje práctico y funcional, cuyo objetivo es implementar las estructuras que se requieran y sean necesarias, así como corregir lo existente para que funcione adecuadamente, complementando con obras de protección indispensables.

5.2.9.1 Obras de drenaje:

A lo largo de la vía, se propone diseñar las obras necesarias, tanto transversales como longitudinales, conformando el nuevo sistema de drenaje de la vía en estudio.

5.2.9.2 Drenaje superficial:

Este tipo de drenaje se encarga de ordenar el flujo superficial, generado como consecuencia de las lluvias, sobre todo de las estacionales, para ello se vale de las siguientes estructuras:

Alcantarillas

Cunetas y

Otras estructuras complementarias

Estos drenes en dimensiones adecuadas, conformarán el sistema de drenaje de la nueva vía a ejecutarse en Chaquicocha, aparte de otras posibles obras complementarias.

5.2.9.3 Drenaje sub superficial:

El problema principal en Chaquicocha es el de drenaje, debido a la presencia de agua en todo el sector y afloramiento de los mismos en magnitudes considerables, los resultados obtenidos por los estudios de mecánica de suelos y riesgo sísmico así lo comprueban, indicando ellos que las vías en estudio se asentarán sobre un fondo impermeable rocoso, cuya profundidad varía como promedio en tres metros en cuyo estrato se encuentra arcilla que al parecer está completamente saturada y es la que retiene el agua como un pantano, por lo tanto se requieren ejecutar diseños especiales para evitar cualquier daño al pavimento de la nueva vía. Estas obras especiales se analizarán en estructuras.

5.2.9.4 Alcantarillas Tipo Marco:

Estas obras de arte, tienen una función principal en el sistema de drenaje, pues se encargan de evacuar toda el agua de lluvia proveniente de los taludes como esorrentía superficial, en consecuencia la sección hidráulica tiene relación directa con el agua colectada a través de las cunetas y también con el material de arrastre grueso y fino proveniente de los taludes, ambos detalles definen las dimensiones de esta estructura, en el caso de la vía principal la alcantarilla servirá para facilitar el pase de agua de la laguna mayor por la vía, hacia el canal que las conduce hacia la boca de entrada del desagüe, las otras alcantarillas tienen como función servir de pase de las zanjas de drenaje de la vía auxiliar y de las existentes.

De la misma manera servirán para evacuar las aguas de las cunetas, ubicadas en la parte de la vía o calle existente, entregando también al único punto de desagüe mediante una alcantarilla.

Cabe señalar que las entradas de estas estructuras, deben llevar alguna estructura de protección, tanto a la entrada como a la salida, porque son receptoras del flujo proveniente de las cunetas.

Para determinar el caudal que aportan las cunetas, existen muchas formas, una de ellas es, determinar el aporte de escurrimiento de los taludes en función a la precipitación de diseño, calculada a un período de retorno, el cual se toma de 25 años, que es un poco mayor al recomendado por el MTC.

El aporte de sólidos proveniente del talud natural, se toma en función al mayor diámetro de material grueso arrastrado, que cruza la alcantarilla
Luego el aporte de caudal de las cunetas, se calcula con el siguiente criterio:

Se toma 20 m de talud aguas arriba de la cuneta, porque es el espacio libre que queda entre la vía y las viviendas, donde se acumula el agua escurrida de la parte alta, la cual descarga en las cunetas.

Se considera 300 m en promedio como longitud de cuneta para efectos de cálculo. El tiempo de retorno de la lluvia de diseño para cunetas es de 25 años, luego se utiliza 49.72 mm de la estación Cerro de Pasco para toda la carretera. (Cuadro N° 11)

Luego para la vía, se tiene:

$$\frac{20m \times 300m \times 0.04972m}{3600seg} = 0.083m^3 / seg$$

De igual manera:

Se toma 5m de calzada de un ancho de 10 m

Se considera la precipitación y separación de alcantarillas igual al anterior

$$-5m \times 300m \times 0.04972$$

$$-3600seg = 0.021m^3/s$$

Sumando ambos resultados, se tiene el caudal de aporte líquido de la cuneta a la alcantarilla

$$0.083 + 0.021 = 0.104 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Para determinar el caudal total que va a las alcantarillas, se asume el siguiente criterio: se duplica este valor en caso de dos tramos concurrentes, luego se le suma una vez más por arrastre de materiales del talud, por lo tanto el caudal total es 0.416 m³/s, eso indica que la alcantarilla debe ser de 36" o del tipo marco de dimensiones equivalentes, que viene a ser de 0.90mx0.90m,

Se debe indicar que se proyectarán alcantarillas del tipo marco, dependiendo de la altura de relleno que va a tener la vía, estas se ubican en las siguientes progresivas también se detalla en plano de Drenaje Diagrama de Flujo:

ALCANTARILLA TIPO MARCO DE SECCION 1.00x0.60M2

Progresiva	Lado Derecho	Lado Izquierdo	Cruce de Pavimento	Cantidad(ml)
Av. 28 de Julio				206.40
00+000 al 00+110	61.00	15.20		76.20
00+110 al 00+470	36.10	42.00	24.90	103.00
00+470 al 00+711.5		9.60	17.60	27.20
00+480 CAJA RECEPCION – CAPTACION				15.90
Av. De los Insurgentes				51.20
00+000 al 00+240			51.20	51.20
Av. Arequipa				41.40
00+000 al 00+265			41.40	41.40
Jr Chaquicocha				36.00
00+000 al 00+243.6	18.00	18.00		36.00
Sub Total				335.00

5.2.9.5 Cunetas:

Tal como se indicó en la evaluación de campo, se colocarán cunetas y zanjas de drenaje a todo lo largo de las vías tal como se detalla en plano

de Drenaje del Diagrama de Flujo conforme se detalla en el cuadro de cunetas revestidas.

Cunetas Revestidas

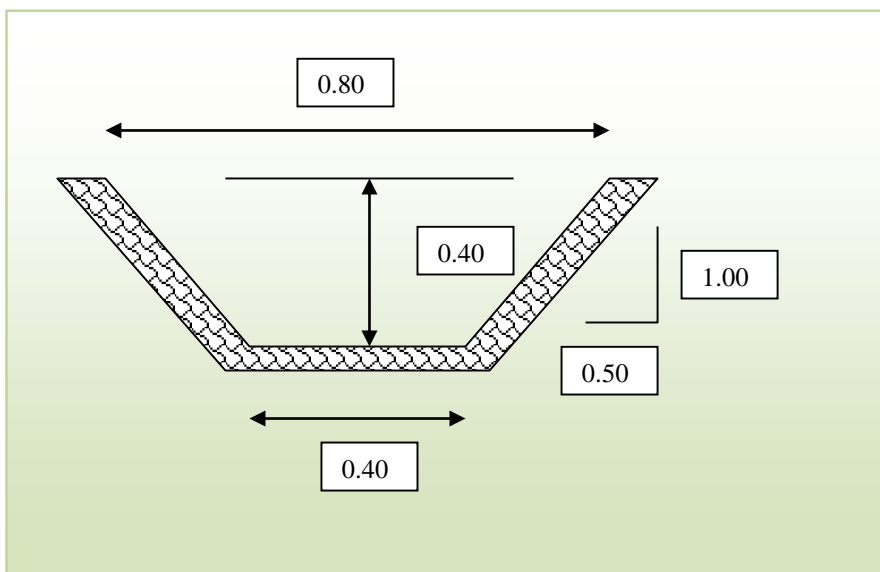
Progresiva	Lado Derecho	Lado Izquierdo	Cantidad(ml)
Av. 28 de Julio			
00+000 al 00+110	21.45	106.05	127.50
00+110 al 00+470	292.9	316.9	609.80
00+470 al 00+711.5	166.1	219.8	385.90
00+480 A LA CAJA DE RECEPCION	18.8		18.80
Av. De los Insurgentes			
00+000 al 00+240	218.2	216.3	434.50
Arequipa			
00+000 al 00+265	266.4	196.5	462.90
Jr Chaquicocha			
00+000 al 00+243.6	219.8	201	420.80
Total			2460.20

Esta estructura de drenaje es quizá la principal, porque es la que colecta toda el agua de los taludes cuando se presentan las lluvias o nieves estacional, conduciendo el flujo formado a las alcantarillas o a cualquier obra de arte e inclusive a quebradas adyacentes a la vía, por ello la falta de cunetas en una carretera significa que esta tiene muchos problemas para el tránsito de vehículos.

La cuneta y zanja propuesta para las vías, es de sección trapezoidal, porque la sección triangular al tener fondo agudo, atrapa el material grueso como cuña, represando el flujo de agua, causando desbordes cuando el material retenido aumenta, ello no ocurre con el trapecio, pues al tener una plantilla como fondo permite que el agua rodee al material caído e inclusive lo arrastre, las medidas propuestas para esta estructura

permiten conducir, según Manning, a caudal lleno 0.430 m³/s, superior al caudal de diseño que es de 0.104 m³/s en 326 l/s, este exceso tiene como motivo que capte también la mayor cantidad de agua proveniente del sub suelo como percolación.

La zanja propuesta no deberá ser revestida, será solamente a tajo abierto con la sección hidráulica diseñada, porque de esa manera recibirá el agua del sub suelo, estas condiciones son para la zona con problemas de drenaje, pero para el sector donde existen las calles, la cuneta si será revestida con las mismas medidas y la misma sección trapezoidal, las medidas son las siguientes:



5.3 ESTUDIO DEL METODO DE REFRACCION SISMICA

5.3.1 METODO DE REFRACCION SISMICA

El método empleado en el sector de Chaupimarca, es de Refracción Sísmica que suministra información de las características elásticas de los sedimentos depositados y rocas que se observan por los valores de velocidades de onda; por lo tanto, estarán en relación directa con el grado de compactación de cada medio.

El método se emplea ampliamente en estudios geotécnicos y nos permite resolver problemas como la diferenciación de la parte suprayacente (suelo-cobertura cuaternario) con la roca firme, en base a la diferenciación de velocidades. Asimismo los valores de velocidades sísmicas observadas, son útiles por sí mismos, ya que dan una idea acerca de otras propiedades de los sedimentos y rocas como grado de compactación, las constantes elásticas, grado de fracturamiento de la roca, etc.

Este ensayo se encuentra normalizado por NTP 339.157 en la Guía para el Uso del Método de Refracción Sísmica en la Investigación del sub suelo.

5.3.2 TRABAJOS DE CAMPO

Las ubicaciones de las líneas de tendido para el estudio de refracción sísmica se realizaron en las zonas críticas y puntuales de interés.

El siguiente cuadro resume toda la investigación realizada:

Cuadro Nro. 01: Coordenadas de los Perfiles Geofísicos

Perfiles Geofísicos Nro.	Coordenadas				Longitud m/seg
	Inicio		Fin		
	Este	Norte	Este	Norte	
LS-01	363520	8818146	363633	8818141	115 m
LS-02	363832	8818061	363635	8818061	115 m

Para producir la onda sísmica se utilizó detonación de dinamita con fulminantes de retardo cero (0)

5.3.3 METODOLOGIA DEL ENSAYO

El ensayo de refracción sísmica consistió en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (Ondas P) generadas por una detonación de dinamita; los impactos fueron localizados a diferentes distancias a lo largo de un eje sobre la superficie del suelo.

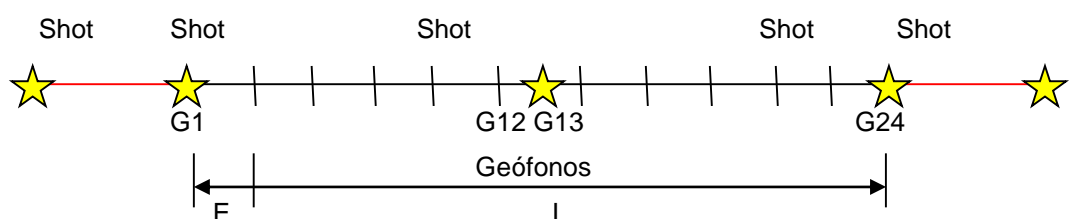
La energía fue detectada, amplificada y registrada de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto.

El inicio de la grabación fue dado a partir de un dispositivo o SWITCH que nos da el tiempo cero para evaluar el tiempo de recorrido.

Estos datos tiempo y distancia, usado para cada caso especial, es una variación del Punto de Disparo (o aplicación de la energía), y nos permite evaluar las velocidades de propagación de ondas P, a través de los diferentes suelos cuya estructura, geometría, continuidad son investigadas.

Todas las formas de análisis manejan criterios que utilizan la suposición de la Ley de Snell en cuanto a la reflexión y refracción de las ondas P. De los espesores y las velocidades de propagación de ondas P obtenidas, las características geotécnicas pueden ser correlacionadas a la compacidad y densidad, esto puede llevar a evaluaciones erróneas, ante la presencia de niveles freáticos, los cuales pueden ser investigados específicamente con Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's).

En el presente trabajo se utilizó la Estación Portátil de Prospección Sísmica Smart Seis con 24 canales de registro, cables con espaciamento de 5m, geófonos magnéticos y una computadora para almacenar los registros. La distribución de los sismómetros y los puntos de Disparo (Shot point), se realizo de la siguiente manera:



Donde:

E = Espaciamiento entre geófonos.

L = Longitud de tendido.

★ S = Punto de Impacto (Shot Point)

5.3.4 INTERPRETACION

Para realizar la interpretación de los perfiles sísmicos se uso como ayuda de software de Refracción Sísmica: SIPIN, SIPEDT, SIPT2 y SIPILOT. El primer y segundo programa permite realizar las entradas de los parámetros utilizados en campo y las lecturas de las primeras llegadas de ondas longitudinales y en base a ellos permite calcular las velocidades sísmicas mediante modelos de profundidades en el tercer programa.

La precisión de los cálculos depende aparte de la calidad de la traza del sismograma, de el paralelismo entre la superficie y los de contacto en el subsuelo así como de la homogeneidad elástica de cada medio y del aumento progresivo de la velocidad con la profundidad; el segundo programa produce un modelo de profundidad desde el archivo de datos de entrada preparado por el programa anteriormente descrito; así mismo el programa calcula las velocidades de los estratos mediante técnicas de mínimos cuadrados, luego usa el método de tiempo de retardo para estimar las profundidades, el programa ajusta las profundidades de cada estrato por efecto de la superficie topográfica: este proceso se hace

en forma iterativa hasta encontrar el modelo que se ajuste a la geología del terreno investigado.

El proceso de interpretación se realizó con las curvas dromocrónicas de doble dirección (perfil – contra perfil) que nos ha permitido construir dos (02) perfiles sísmicos.

Las condiciones elásticas de las rocas se definen por el grado de cohesión de sus partículas; por lo tanto las velocidades de las ondas están en relación directa con la compacidad de los mismos, en consecuencia los sedimentos no consolidados presentan velocidades más lentas que los consolidados y/o rocas.

5.3.5 PERFILES SISMICOS OBTENIDOS

La evaluación de la refracción sísmica ha consistido en graficar líneas de la superficie basándose en la topografía superficial, indicando los puntos de localización de geófonos y los puntos de impacto. Para cada una de las líneas sísmicas se han establecido perfiles sísmicos con valores de velocidad de propagación de ondas longitudinales (ondas P), basándose en las dromocrónicas calculadas de los tiempos de llegada de las ondas.

Para este estudio se evaluaron 2 sectores con un máximo de una línea sísmica por cada zona, de donde se puede deducir lo siguiente:

5.3.6 PERFIL ELASTICO LS-1 (Lamina N°1):

Capa superior: El primer estrato está conformado por un material cuaternario cobertura de suelo (bofedal), con una velocidad de ondas compresionales del orden de los $VP1 = 672$ m/s; la variación en las velocidades entre las dos líneas se debe a la presencia de material fino y grado de humedad del material; con un espesor que varía desde 8.00 m a 17.00 m. Se puede observar una depresión entre las progresivas 0+70 a 0+110 m relacionada a una mayor zona de debilitamiento y/o mayor contenido de material húmedo.

Capa Intermedia: Medio Elástico que subyace al estrato anterior, identificamos una Roca meteorizada y/o muy fracturada, con velocidades de ondas compresionales del orden de los $VP2 = 2136$ m/s, con un espesor de 10.00 m a 25.00 m; se observa una depresión más profunda entre las progresivas 0+71 a 0+112 m.

Capa Inferior: Tercer medio Elástico constituido por el material compacto – Roca compacta con velocidades de $VP3 = 3498$ m/s que se presenta a una profundidad de entre 22 m a 43 m (progresiva 0+80)

5.3.7 PERFIL ELASTICO LS-2 (Lamina N°2):

Capa Superior: El primer estrato está conformado por un material cuaternario cobertura de suelo (bofedal), con velocidad de ondas compresionales del orden de los $VP1 = 978$ m/s; la variación en las

velocidades entre las dos líneas se debe a la presencia de material fino y grado de humedad del material; con un espesor que varía desde 6.00 m a 17.00 m. Se puede observar asimismo una depresión suave entre las progresivas 0+310 a 0+370 m relacionada a una mayor zona de debilitamiento y/o mayor contenido de material húmedo.

Capa Intermedia: Medio Elástico que subyace al estrato anterior, identificamos una Roca meteorizada y/o muy fracturada, con velocidades de ondas compresionales del orden de los VP2 = 2975 m/s, con un espesor de 25.00 m a 30.00 m; se observa una depresión poco elongada entre las progresivas 0+320 m a 0+380 m.

Capa Inferior: Tercer medio Elástico por el material compacto – Roca compacta con velocidades de VP3 = 5605 m/s que se presenta a una profundidad de entre 34 m a 46 m (progresiva 0+80).

El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos en cada una de las líneas.

Cuadro N° 3
Resultados de los Ensayos de Refracción Sísmica

LINEA	ESTRATO	Vp (m/s)	TIPO DE SUELO
Linea LS-01	1	672	Depósito cuaternario de suelo
	2	2136	Roca meteorizada y/o muy fracturada
	3	3498	Roca compacta
Linea LS-02	1	978	Depósito cuaternario de suelo
	2	2975	Roca meteorizada y/o muy fracturada
	3	5605	Roca compacta

5.3.8 PARAMETROS DINAMICOS DEL TERRENO

Las técnicas sísmicas permiten obtener la velocidad de propagación de las ondas sísmicas P (primarias) y de las ondas sísmicas S (secundarias). Con estos valores de velocidad de propagación de las ondas P y S (V_p y V_s) a través del terreno, es posible calcular el Coeficiente de Poisson dinámico, el Módulo de Elasticidad Dinámico E_d y el Módulo de Corte Dinámico G_d , de suelos y de los macizos rocosos.

$$\text{-Coeficiente de Poisson: } \nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 \cdot \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$$\text{-Módulo de Corte: } G_d = \gamma \cdot V_s^2 \quad (\gamma = \text{densidad del terreno})$$

$$\text{-Módulo de Young: } E_d = 2 \cdot G_d(1 + \nu)$$

$$\text{-Modulo Volumétrico: } K_d = \frac{E_d}{3 \cdot (1 - 2\nu)}$$

En las siguientes tablas mostramos los valores mínimos y máximos de los parámetros dinámicos obtenidos.

Parámetros dinámicos LS-01 / LS-02 – Chaupimarca – Pasco

Perfil Elástico	Nº	Velocidades		Poisson	Modulo		Densidad (T/m3)
		Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson	Ed (T/m2)	Gd (T/m2)	
Linea LS-01	1	672	388	32.00	1524247.4	23094.7	1.5
	2	2136	1235	27.00	17422169.6	311110.2	2
	3	3498	2022	25.00	48809818.2	938650.4	2.25
Linea LS-02	1	978	565	32.00	3981760.1	60329.7	1.85
	2	2975	1720	27.00	33796652.1	603511.6	2
	3	5605	3240	25.00	125319546.2	2409991.3	2.25

5.3.9 EVALUACION DE LA REFRACCION SISMICA

La evaluación de la refracción sísmica ha consistido en graficar el perfil topográfico de la superficie del terreno, indicando los puntos de localización de los geófonos y de los disparos (Shot).

Para cada una de las líneas sísmicas se han establecido perfiles estratigráficos con valores de velocidad de propagación de ondas compresionales (ondas P) en base a las dromocrónicas calculadas de los registros de llegada de las ondas.

La interpretación de los ensayos de refracción sísmica se realizó tomando en cuenta experiencias anteriores y considerando las siguientes tablas de velocidades.

Arce Helberg (1990)

Descripcion	Vp (m/s)
Suelo de cobertura	<1000
Roca muy alterada o aluvión compacto	1000-2000
Roca alterada o aluvión muy compacto	2000-4000
Roca poco alterada	4000-5000
Roca firme	>5000

ASTM D 5777-95

Descripcion	Vp (m/s)
Suelo intemperizado	204-610
Grava o arena seca	460-915
Arena saturada	1220-1830
Roca metamórfica	3050-7000

Caso: Curvich J. (1975), Dobrin, Milton (1961), Savicha y Satonov V.A. (1979)

Descripcion	Vp (m/s)
Esquiso arcilloso	2700-4800
Grava arcillosa seca	300-900
Arena - arena húmeda	200-1800
Roca metamórfica	4500-6800

Recopilación de Martínez Vargas A. (1990)

Descripcion	Vp (m/s)
Arena suelta sobre el manto freático	245-610
Suelo blando	<300
Arena suelta bajo el manto freático	45-1220
Arenas y gravas	300-1000
Arena suelta mezclada con grava húmeda	455-1065
Rocas blandas, grava y arena compacta	1000-2000
Grava suelta, húmeda	455-915
Roca compacta	2000-4000
Roca muy compacta	>4000

Martínez de Rosario J. (1997)

Descripcion	Vp (m/s)	
	Natural	Saturada
Turba	90	250
Arcilla	350	1350
Grava	650	2250

Mediante las tablas se determinó tres tipos de materiales que se distinguen en los perfiles sísmicos.

El primer estrato está constituido por material de suelo de cobertura (bofedales) presenta una velocidad de onda P que varía desde 0 hasta 999 m/s; en el perfil LS-01 con $VP1 = 672$ m/s y en el LS-02 con $VP1 = 978$ m/s, que conforman los Depósitos cuaternarios recientes (bofedales).

El segundo estrato también conformado por el material de roca meteorizada y/o muy fracturada con velocidad de onda P que varían de 2000 m/s a 4000 m/s; en el perfil LS-01 con $VP2 = P$ de 2136 y en el LS-02 con $VP2 = 2975$ m/s, que conforman el material de roca muy alterada y/o muy fracturada.

Finalmente el tercer estrato, cuya velocidad de onda P es mayor de 3000 m/s, se determinó como una roca compacta; en el perfil LS-01 con $VP3 = P$ de 3498 y en el LS-02 con $VP3 = 5605$ m/s, que conforman el material de roca compacta.

Las Dromocrónicas se presentan en el Apéndice 1.

Las representaciones gráficas se adjuntan al informe en las láminas siguientes: Láminas LS-01, LS-02.

5.4 DISEÑO DEL PAVIMENTO

5.4.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO

El estudio de tráfico tiene por finalidad cuantificar, clasificar y conocer el volumen de vehículos que circulan por el tramo de la carretera. Esta Información es indispensable para la determinación de las características de diseño del pavimento, para estos cálculos se ha considerado exclusivamente la acción de los Buses y Camiones, dado que el efecto destructivo de los vehículos ligeros se puede considerar prácticamente despreciable.

El estudio determino el tráfico actual existente en las vías, sus características y proyecciones para el periodo de vida útil, en número acumulado de repeticiones de carga de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, dato necesario para el diseño de la estructura del pavimento.

5.4.2 CÁLCULO DEL EAL

Con los datos proporcionados en el Estudio de Trafico se determinó el número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas para el periodo de diseño, de acuerdo a la fórmula:

$$N_{rep} = 365x \sum IMD_t x FD_t x \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

Donde:

IMD : Índice Medio Diario

FD_t : Factor destructivo del tipo de vehículo

n : Periodo de diseño

i : Tasa de crecimiento

CUADRO N°01

Tipo de Vehículo	IMDA	Número de Vehículos por Año	%	Factor Camión (FC)	Factor de Crecimiento (10 años)	EAL de diseño (10 años)	
Auto	1525	556625	52.07	0.0004	11.10	2471.66	
Camioneta	224	81760	7.65	0.0022	11.10	1996.78	
Combi	777	283605	26.53	0.0032	11.10	10074.65	
Micro	46	16790	1.57	0.016	11.10	2982.20	
Bus	B2	97	35405	3.31	3.278	11.05	1282480.03
	B3-1	75	27375	2.56	1.768	11.05	534827.16
	B4-1	7	2555	0.24	2.267	11.05	64005.82
Camión	C2	127	46355	4.34	3.278	12.12	1841358.29
	C3	28	10220	0.96	2.418	12.12	299460.79
	C4	4	1460	0.14	1.828	12.12	32341.62
Semi Trayler	T2S2	5	1825	0.17	5.308	12.12	117388.77
	T2S3	3	1095	0.10	5.178	12.12	68708.26
	T3S2	3	1095	0.10	4.448	12.12	59021.69
	T3S3	5	1825	0.17	4.318	12.12	95494.48
TRAF. PESADO	3	1095	0.10	7.82	12.12	103765.66	
Total Vehículos	2929	1069085	100	EAL de Diseño Total =		4,516,377.86	
DD =	0.5		DL =	0.8	W 18 =	1,806,551.15	

NOTA: El factor camión fue calculado para un $p_t = 2.5$ y $SN=4$

Resumen del Cálculo de Ejes Equivalentes:

Del Conteo de Trafico de la Fuente Primaria $W_{18}=1'806,551.15$; Estación

A; en donde se detalla en el cuadro N° 01

Del Conteo de Trafico de la Fuente Primaria $W_{18}= 678,435.11$; Estación 3

Tráfico Generado; se detalla en el Cuadro N°02

CUADRO N° 02

Tipo de Vehículo		IMDA	Número de Vehículos por Año	%	Factor Camión (FC)	Factor de Crecimiento (10 años)	EAL de diseño (10 años)
Auto		1372	500780	69.12	0.0004	11.10	2223.68
Camioneta		101	36865	5.09	0.0022	11.10	900.33
Combi		351	128115	17.68	0.0032	11.10	4551.10
Micro		18	6570	0.91	0.016	11.10	1166.95
Bus	B2	45	16425	2.27	3.278	11.05	594964.96
	B3-1	35	12775	1.76	1.768	11.05	249586.01
	B4-1	3	1095	0.15	2.267	11.05	27431.07
Camión	C2	47	17155	2.37	3.278	12.12	681447.56
	C3	11	4015	0.55	2.418	12.12	117645.31
	C4	2	730	0.10	1.828	12.12	16170.81
Total Vehículos		1985	724525	100	EAL de Diseño Total =		1,696,087.78
DD =	0.5		DL =	0.8	W 18 =		678,435.11

Para el Cálculo total de Ejes Equivalente para el Proyecto en Referencia tomaremos de la Estación A y 3 Siendo en Total de ejes Equivalente de **W18=2'484,986.26**

De acuerdo al Proyecto en referencia está concebido como un área comercial donde se va concentrar el Flujo vehicular Pesado (Ómnibus y Camiones debido Mercado Central y el Terminal Terrestre) y Vehículo Livianos (Autos, Camionetas etc); y lo manifestado en el Item 5 Proyecciones del Tráfico para la Pavimentación de la Avenida Insurgentes se determina la Siguiete Distribución Vehicular:

Vías Colectoras el 50% por el uso de dos vías, el cual corresponde una carga de EAL; W18 = 1'242,493.13, para el cual denominaremos Sector 01 Av. Los Insurgentes.

5.4.3 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE (CBR de diseño)

Para la Av. Insurgentes Km.(00+000 al 00+240.01) el resumen del estudio de suelo se detalla en el cuadro N° 01; donde el CBR al 95% = 40.1 se debe mencionar que en este tramo existe un pavimento Rígido la calicata C-01 se ha efectuado cerca al Pavimento Rígido y la Calicata C8 se ha efectuado en la zona del Lado Izquierdo en la zona no pavimentada se detalla también que esta sección de vía está proyectado 04 carriles, presenta suelo blando donde el CBR al 95% = 3.3; conforme se detalla en el Cuadro N° 01; para este tramo se efectuara el Mejoramiento de la Sub rasante con la finalidad de obtener un CBR al 95% = 14 como mínimo

Cuadro N° 01

CALICATA	C-01	C8
PROGRESIVA (KM)	00+100 LD	00+020 LI
PROFUNDIDAD (m)	0.00 AL 0.20	0.00 AL 0.30
HUMEDAD NATURAL (%)	8.30	17.60
LL (%)	20.20	31.60
LP (%)	17.40	22.40
I.P. (%)	2.80	9.20
% PASA MALLA N° 200	15.90	89.10
CLASIFICACION AASHTO	A - 1- b (0)	A - 4 (8)
CLASIFICACION SUCS	GM	ML
NIVEL FREATICO (ml)		
PROFUNDIDAD (m)	0.20 AL 1.50	0.30 AL 1.60
HUMEDAD NATURAL (%)	17.4	17
LL (%)	28.3	30.6
LP (%)	17.8	19.4
I.P. (%)	10.5	11.2
% PASA MALLA N° 200	23.5	38.4
CLASIFICACION AASHTO	A -2 - 6 (0)	A-4 (8)
CLASIFICACION SUCS	GC	CL
NIVEL FREATICO (ml)		
HUMEDAD OPTIMA (%)	8.68	1.2
PROCTOR (MDS)	2.03	
CBR AL 100% DEL MDS	80.10	
CBR AL 95% DEL MDS	40.10	

CALCULO DE PASADAS - CBR 3.3%

CALCULO DEL NUMERO DE PASADAS DE VOLQUETES EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	Construcción del Anillo Vial Chaquicocha Tramo 8	
CARRETERA		
PROGRESIVA (km)	0+000 a 0+240	
CBR SUBRASANTE	3.30%	
TIPO DE CAMION	Volquete con Tolva de 8 m ³ - Min. 380 HP	

Cálculo del número de pasadas de volquetes - Tramo 0+000 a 0+240

Capacidad de volquete	8.00	m ³
Area a reforzar	3,600.00	m ² (240 m. de longitud aprox. y ancho a nivel de geomalla de 15.00m)
Espesor de Mejoramiento	0.25	m (Espesor asumido de material para cálculo de pasadas de volquetes)
Esponjamiento (asumido)	35	%
# Pases de Volquetes	152.00	veces

CARGADO	ton	FC	Frecuencia	N18	
CARGA SIMPLE	13.5	7.3465	152.00	1,116.67	
CARGA TANDEM	35.0	33.9469	152.00	5,159.93	
				6,276.60	Ejes de 8.2 Ton
DESCARGADO					
CARGA SIMPLE	6	0.2866	152.00	43.57	
CARGA TANDEM	10	0.2262	152.00	34.39	
				77.96	Ejes de 8.2 Ton

Pases ejes 8.2 Ton: 6,354.55

Resumen de CBR adoptados para el diseño del Pavimento:

Descripción	CBR	CBR ASUMIDO	Mr(psi)
Av. Insurgentes Km.(00+000 al 00+240.01);			
Zona donde Existe el Pavimento	40.1	14	13,819.75
Zona donde no Existe el Pavimento (*)	3.3	14	13,819.75

(*) Se efectuara Mejoramiento de Sub rasante con un CBR mínimo de 14%

5.4.4 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO

5.4.4.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO RIGIDO

METODO DE DISEÑO ADOPTADO

El pavimento rígido se diseñará empleando la metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) versión 1993, el cual proporciona la siguiente ecuación

$$\log_{10}(ESAL) = ZR * S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1.00 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32Pt) \log_{10} \left(\frac{S'_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J * \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c / K)^{0.25}} \right)} \right)$$

- El Tráfico (ESAL W18) que circulará por la vía durante un determinado número de años (período de diseño).

El mismo que requiere de los siguientes parámetros:

- Confiabilidad (R%)
- Desviación estándar (So)

- Módulo de reacción de la subrasante (k)
- Módulo elástico del concreto (E_c)
- Módulo de rotura del concreto (S'_c)
- Coeficiente de transferencia de carga (J)
- Coeficiente de drenaje (C_d)
- Serviciabilidad:
 - Inicial (P_o)
 - Final (P_t)
 - Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

Por lo tanto, tomando en cuenta las consideraciones antes mencionadas y las condiciones locales propias de la zona en estudio, se obtendrá la siguiente estructuración del Pavimento:

$R =$ Confiabilidad (Carretera secundaria) = 90%
 $Z_r =$ Standard Normal Deviate = -1.282
 $S_o =$ Overall Standard Deviation = 0.35
 $K =$ Módulo de reacción de sub rasante = 58 pci
 $E_c =$ Módulo elástico del concreto = 3,111,928.14 psi
 $S'_c =$ Módulo de rotura del concreto = 514.21 psi
 $J =$ Coeficiente de transferencia de carga = 2.8
 $C_d =$ Coeficiente de drenaje = 1.1
 $P_i =$ Serviciabilidad Inicial = 4.5
 $P_t =$ Serviciabilidad Final = 2.5
 $W_{18} = 1.2425 \times 10^6$
 $E_{sb} = 30,000$ psi Base Granular con Piedra Chancada
 $M_r = 14,256.94$ psi

Módulo Elástico del Concreto

$$E_c = 57000(f'_c)^{0.5} \text{ psi}$$

$$f'_c \text{ (psi)}$$

Factor de conversión de Kg/cm² a psi=14.19352

$$f'_c = 210 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\text{Factor} = 14.19352$$

$$f'_c = 2,981 \quad \text{psi}$$

$$E_c = 3,111,928.14 \text{ psi}$$

Módulo de Rotura del Concreto

$$Mr = a\sqrt{f'_c}$$

a = Valores varían entre 1.99 y 3.18, en nuestro caso empleamos 2.5

$$f'_c = 210 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$Mr = 36.23 \quad \text{kg/cm}^2$$

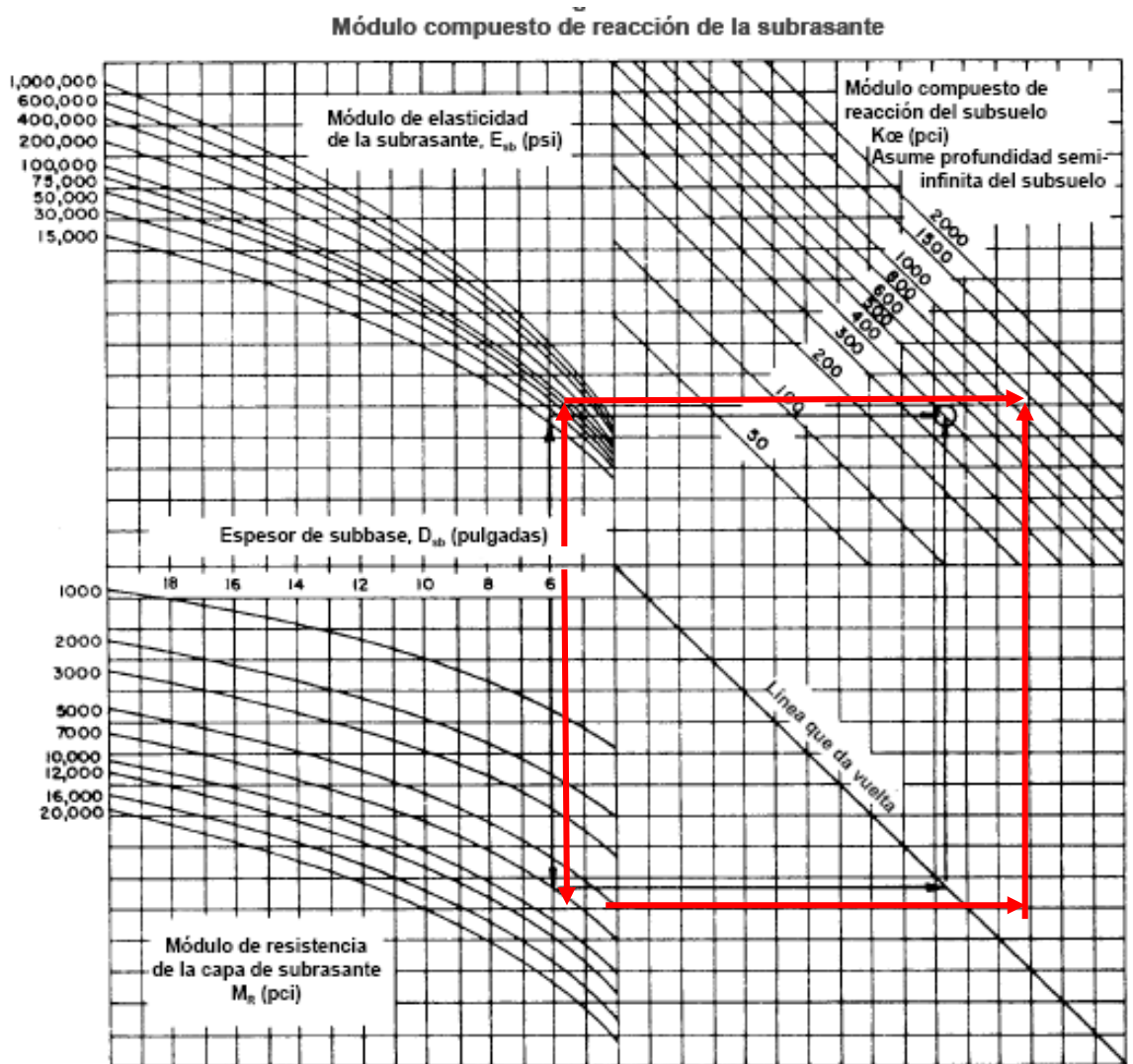
$$\text{Factor} = 14.19352$$

$$Mr = 514.21 \quad \text{psi}$$

A continuación se detallan los pasos a seguir para obtener el espesor del pavimento rígido:

1. Haciendo uso del nomograma de la Figura N° 01, en el que se tienen como variables de entrada el Módulo de resiliencia de la subrasante =14,256.94psi, el espesor de la sub base = 8" se obtiene y el coeficiente de elasticidad de la misma, se obtiene el Módulo de reacción compuesto de la subrasante. (Resultado: $K = 610$)

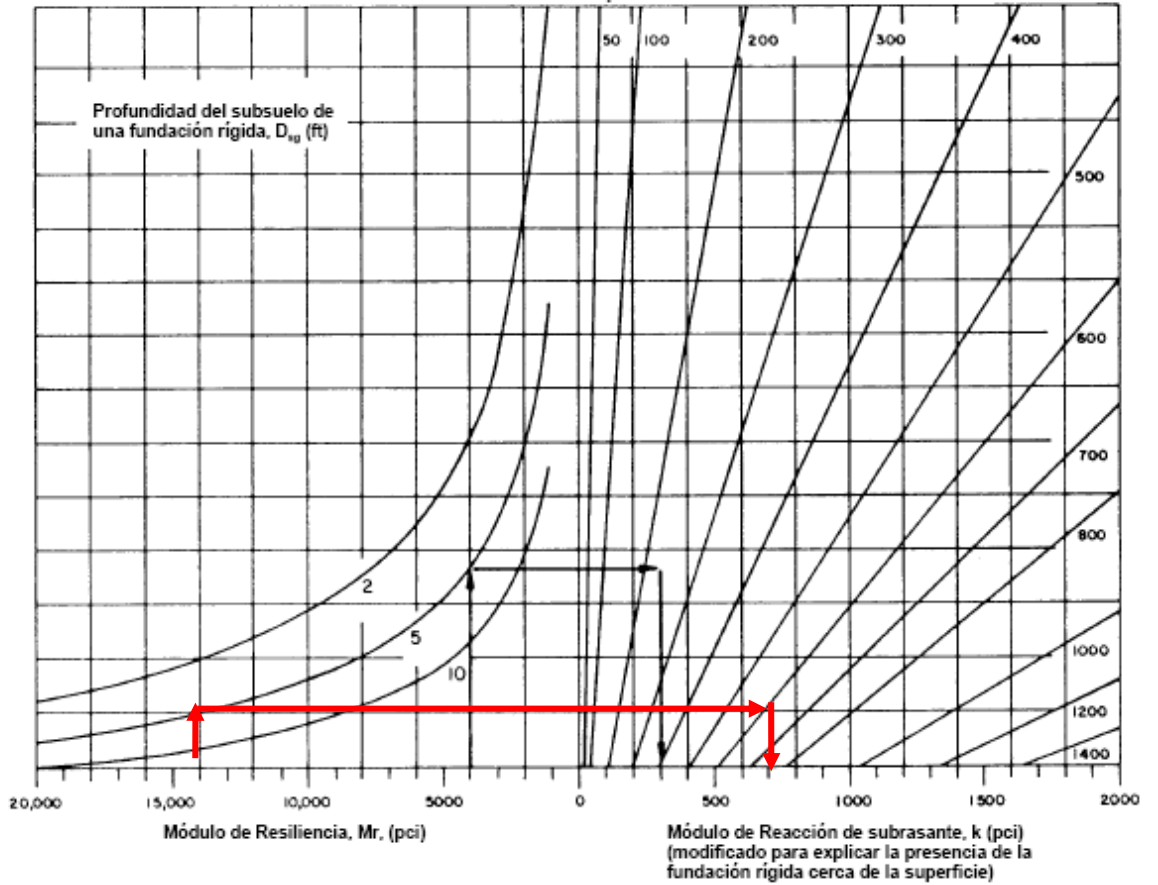
Figura N° 01



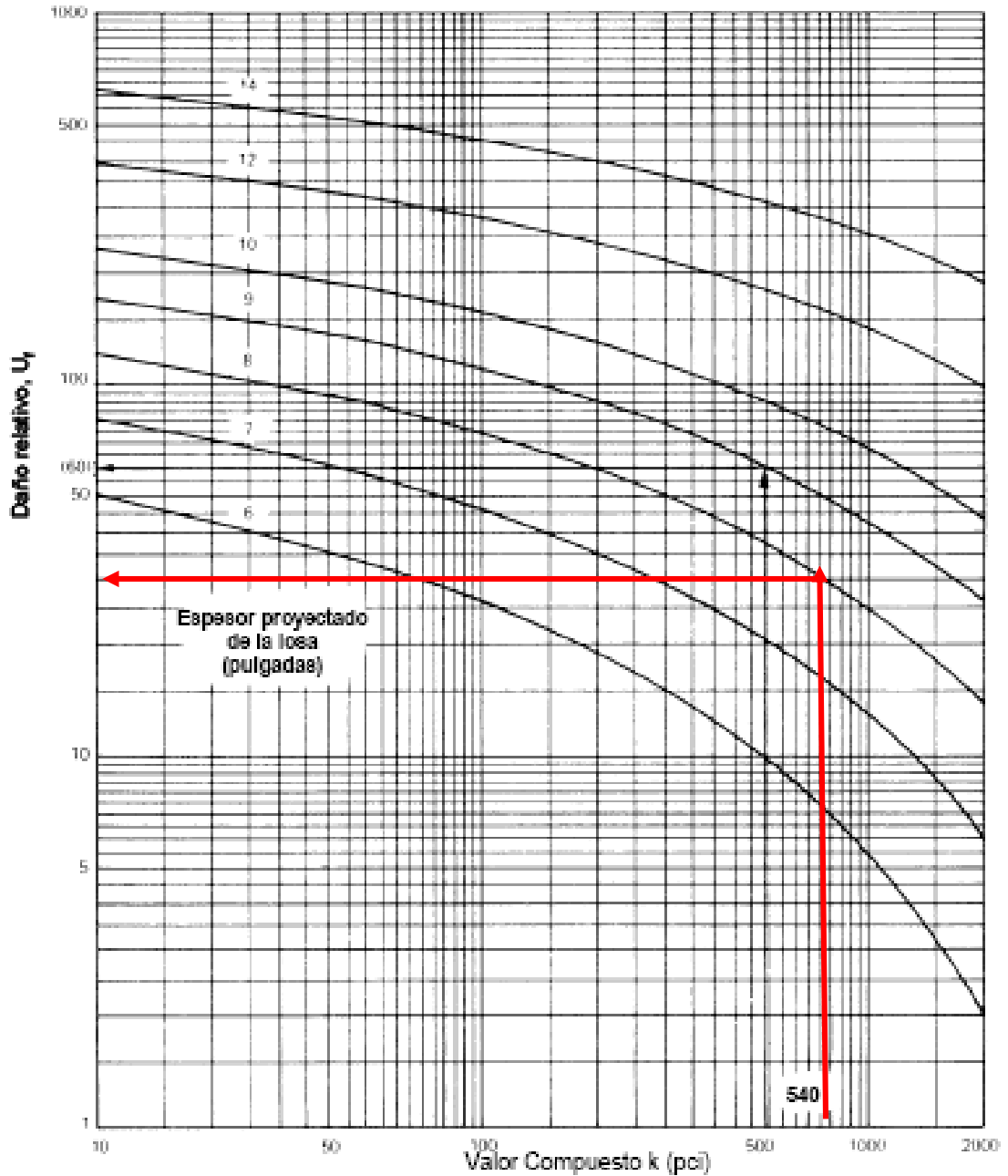
Si la subrasante está sobre un estrato de roca a menos de 3 metros de profundidad, el Módulo de reacción compuesto obtenido en el paso anterior, hay que corregirlo utilizando las curvas de la Figura N° 02. (Resultado: K corregido para una profundidad de 5 pies = 700)

FIGURA N°02

Cálculos del Módulo de reacción de la subrasante, para considerar efectos de la fundación rígida cerca de la superficie

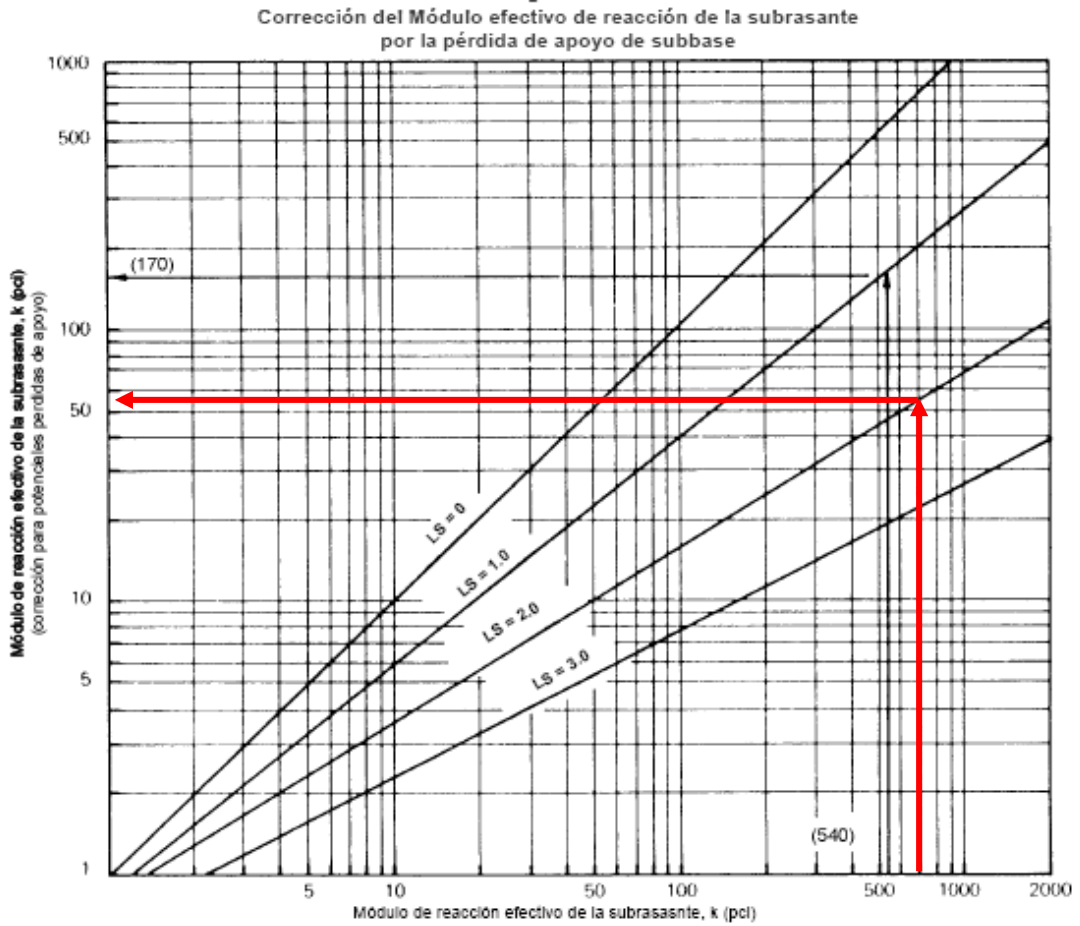


Cálculo del Daño relativo (U_r) en pavimento rígidos, en función del espesor de losa y Módulo de reacción de la subrasante



2. Para finalizar se corrige el valor promedio de k en función de la pérdida de soporte L_s por medio de la Figura N° 03. (Resultado: MODULO DE LA REACCION DEL SUELO DE APOYO $K=58pci$)

Figura N° 03

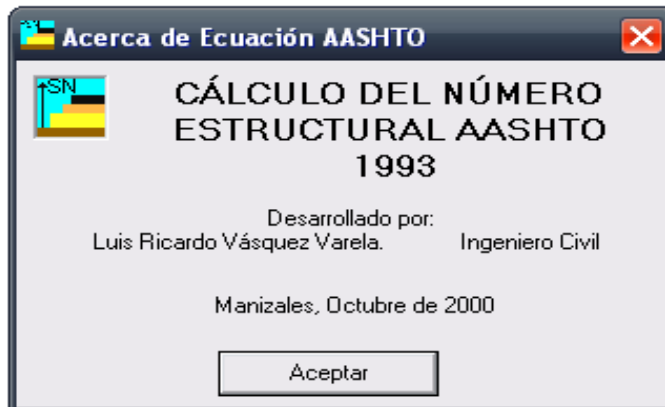


5.4.6 DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Método AASHTO 93

DOTOS DEL PAVIMENTO	
CONFIABILIDAD (R)	90%
DESVIACION ESTANDAR (SO)	0.35
MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO (MR)	514.21 psi
MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (Ec)	3,111,928.14 psi
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)	2.8
MODULO DE TRANSFERENCIA DEL SUELO DE APOYO (K)	58 psi
COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	1.1
INDICE DE SERVICIO INICIAL (P0)	4.5
INDICE DE SERVICIO FINAL (Pt)	2.5

Se considera que el pavimento cuenta con barras pasa juntas para la transferencia de carga, además de también considerar que el pavimento cuenta con soporte lateral.



Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So)
90 % $Z_r = -1.282$ So 0.35

Serviciabilidad inicial y final
PSI inicial 4.5 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
k 58 pci

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)	3111928.14	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	2.8
Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)	514.21	Coefficiente de drenaje - (Cd)	1.1

Tipo de Análisis
 Calcular D **W18 = 1242493.13**
 Calcular W18

Espesor de losa (plg)
D = 7.5

Calcular Salir

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO

METODO AASHTO 1993

PROYECTO : Mejoramiento de la Subrasante Utilizando Geomallas en la Avenida Insurgentes, Prov. Pasco - Pasco FECHA : jul-14

1. REQUISITOS DEL DISEÑO

a. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1.24E+06
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.5
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.5
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	90%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1.282
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.35

2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

a. RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO f_c (kg/cm ²)	210
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO f_c (psi)	2,980.64
b. MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO E_c (psi)	3,111,928.14
c. MODULO DE ROTURA S_c (psi)	514.21
d. MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE- K (pci)	58.00
e. TRANSFERENCIA DE CARGA (J)	2.8
f. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	1.1

3. CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA (Variar D Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)

D (pulg)	G_t	N18 NOMINAL	N18 CALCULO	Solver
7.430	-0.17609	6.09	6.09	1.21028941 16240000

4. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO

A. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (Df), pulgadas	8
B. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO (Df), centimetros	20
C. ESPESOR DE SUB BASE (SB), pulgadas	8
D. ESPESOR DE SUB BASE (SB), centimetros	20

Comentarios:

(*) HOJA DE CALCULO DESARROLLADA POR EL DR. CARLOS M. CHANG

CAPITULO VI

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

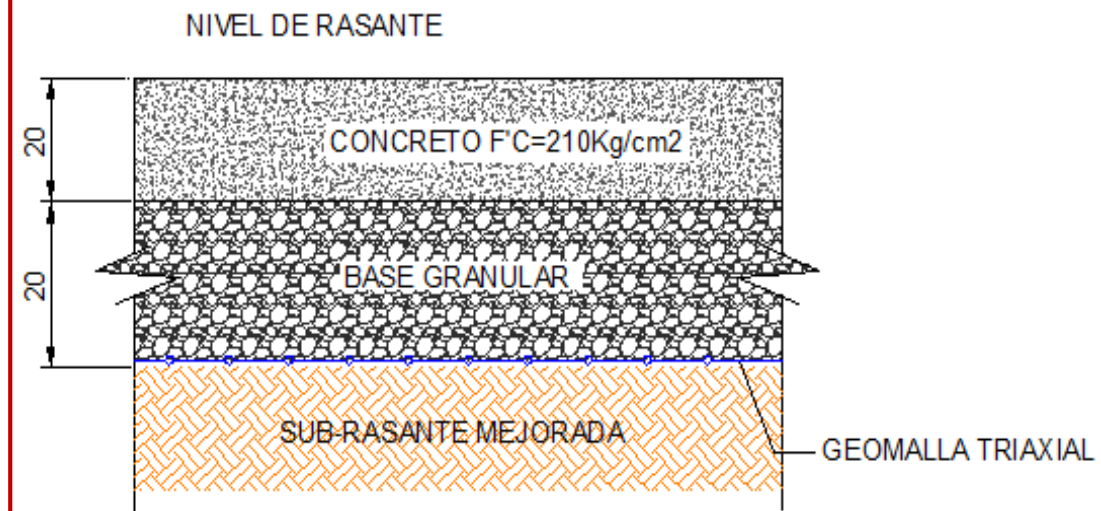
6.1 RESULTADOS:

EJES SENCILLOS EQS. DE 18 KIPS: 1.24×10^6 ESALS

ESPESOR DEL PAVIMENTO: 8 in (20.00 cms); Tomando $d = 20.00$ cm

TRAMO	CONCRETO HIDRAULICO	BASE GRANULAR
Av. Los Insurgentes	20 cm	20 cm

SECTOR 01: ESTRUCTURA DE PAVIMENTO A NIVEL DE RASANTE Y SUBRASANTE



6.2 MODULACION DE LOSAS

De acuerdo al Espesor encontrado y siguiendo el criterio AASHTO, CEMEX

le recomienda la siguiente modulación de losas:

SEPARACION MAXIMA DE JUNTAS TRANSVERSALES:	2.74 metros
RANGO DE SEPARACION DE JUNTAS LONGITUDINALES:	3.0 a 4.5 metros

6.3 PASAJUNTAS Y BARRAS DE AMARRE

PASAJUNTAS

Diámetro:	0.75 in (1.9 cms)
Longitud:	16 in (40.64 cms)
Separación:	12 in (30.48 cms)

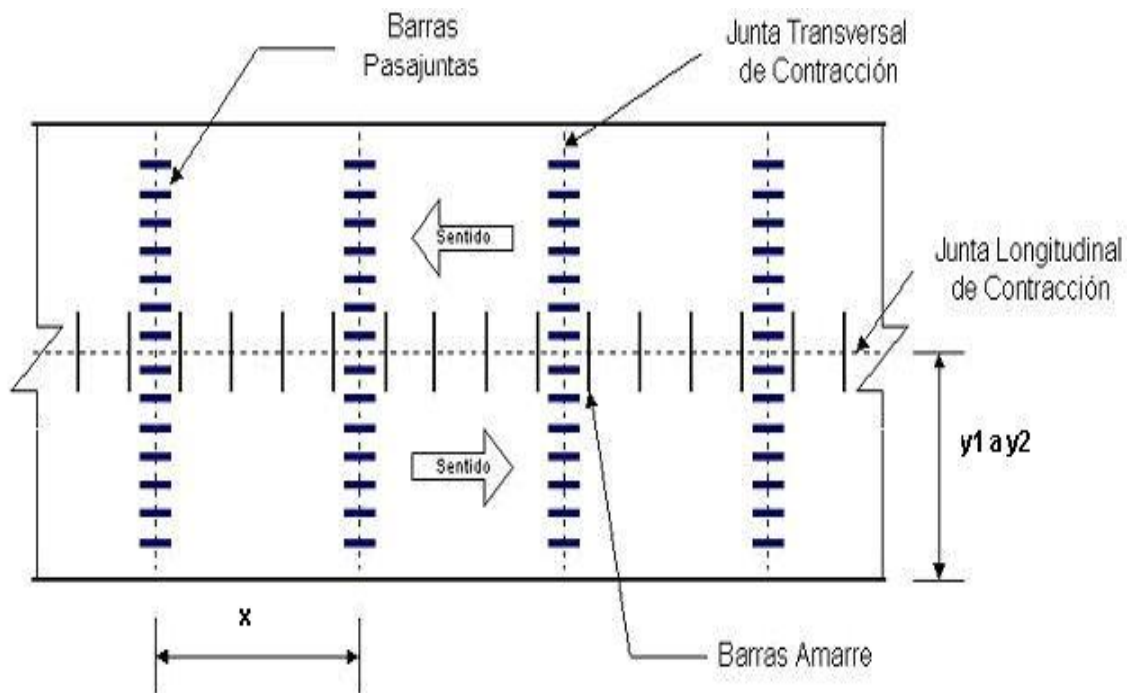
6.4 BARRAS DE AMARRE

Separación en cms, según la distancia al extremo libre.

Espesor Pavimento (cms)	Diámetro (in)	Longitud (cms)	Distancia al Extremo Libre (m)			
			3.05 m	3.66 m	4.27 m	7.32 m
hasta 14	1/2	64	76	76	76	64
hasta 18	1/2	71	76	76	76	51
hasta 21.6	1/2	79	76	76	71	41
hasta 25.4	5/8	81	91	91	91	56
hasta 30.5	5/8	91	91	91	79	46

6.5 CROQUIS ESQUEMATICO

$x = 2.74$ metros $y1 = 3.0$ metros $y2 = 4.5$ metros *

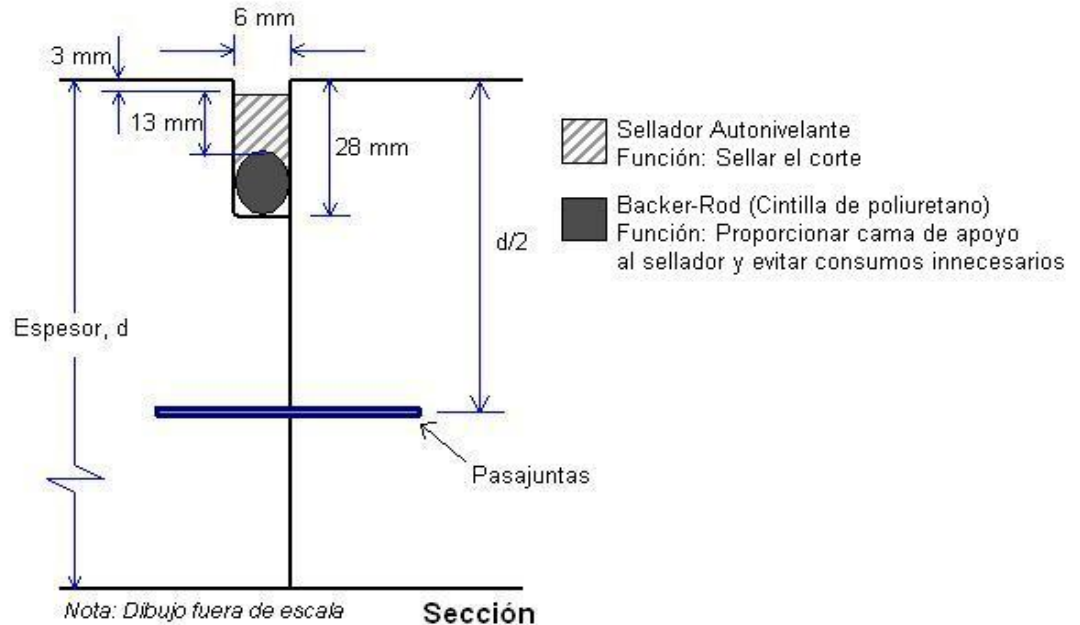


* La relación largo/ ancho de las losas debe estar entre 0.71 y 1.40

6.6 DETALLES DE JUNTAS:

- 1) DETALLE DE JUNTA DE CONTRACCION TRANSVERSAL ASERRADA CON DISCO DE DIAMANTE DE 1/8" DE ESPESOR.

3) DETALLE DE JUNTA DE CONSTRUCCION



Para el diseño del pavimento se ha efectuado el diseño de Pavimento, se ha utilizado el método del AASHTO 93. De los parámetros empleados en el cálculo del espesor de la estructura del pavimento obtenidos de los métodos empleados.

Se debe indicar que para la realización del presente estudio básico de suelos y diseño del pavimento, los datos referidos al tráfico de la carretera a proyectar.

Para cumplir adecuadamente con el Control de Calidad de la Obra (materiales y proceso constructivo), es indispensable el cumplimiento irrestricto de las Especificaciones Técnicas.

CONCLUSIONES

1. La colocación de una geomalla multiaxial polimérica entre las capas estructurales de un camino (pavimentado o no) produce grandes beneficios para el mismo ya que incrementa el módulo del material granular, mejora la capacidad portante del suelo y reduce las tensiones transmitidas a la subrasante.
2. Se emplearon las Geomallas Multiaxiales como mejoramiento de subrasantes en la Av Insurgente.
3. De acuerdo al perfil estratigráfico y consideraciones hidro-geológicas; se tratan de suelos marginales con estratigrafía heterogénea no recomendable para fundar pavimento, por lo cual se recomienda diseñar en las condiciones más extremas, en caso de la Av. Los Insurgentes Km. (00+000 al 00+240.01) se han efectuados 02 calicatas en la zona estabilizada por el pavimento rígido presenta una clasificación SUCS CG y en la zona natural presenta un suelo según su Clasificación SUCS CL.
4. La zona presenta lluvias e influencias notables de humedad por lluvias, granizadas y nieve; asimismo, gradientes térmicos con mínimos por debajo del punto de congelamiento (Muy importante en nuestros criterios de diseño.).
5. El pedraplén a considerar directamente sobre la geomalla **Multiaxial** en las zonas de depresiones estará compuesto por piedra de tamaño igual o mayor a 4" en una primera capa de 50cm, luego una piedra igual o mayor a 2.5" en una capa de 35cm y finalmente 15cm de afirmado de la cantera Yanamate

6. Se usara la geomalla biaxial **Multiaxial** para mejoramiento de subrasante en los siguientes tramos, también
 - Av. Los Insurgentes Km. (00+000 al 00+050) y Km. (00+160 al 00+240)
7. La base emulsionada deberá asegurar como mínimo un coeficiente estructural de capa de **0.30** y podrá ser elaborada a partir de una emulsión de rotura lenta CSS- 1h. se ha efectuado el diseño con la cantera de Sacrafamilia
8. El Bicapa deberá ser elaborado con una emulsión modificada con polímeros de rotura controlada CRS-2p.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de las geomallas por que Las geomallas presentaron alta resistencia a los daños por instalación generados por las cargas dinámicas impuestas por los vehículos pesados, aun compactando relleno inferior y angular sobre ellas. Esto permitió el uso de rellenos locales de baja calidad y costo.
2. Se recomienda su uso Desde el punto de vista ambiental, debido a que genera menos explotación de canteras, menos uso de equipos para obtención, transporte y compactación de material de mejoramiento, lo que se traduce en una disminución de gases contaminantes emitidos al medio ambiente.
3. Se recomienda calcular o diseñar los espesores de mejoramiento ajustando el CBR en el campo.
4. Se recomienda ejecutar el proyecto de acuerdo a lo diseñado en el proyecto.

BIBLIOGRAFIA

1. Giroud, J.P. and Noiray, L. (1981) "Geotextile-reinforced unpaved road design", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 107, 1233-1254.
2. Giroud, J.P. and Han, J. (2004) "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 775, 775-786.
3. Giroud, J.P. and Han, J. (2004) "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 775, 787-797.
4. Especificaciones Generales de Construcción con Geosintéticos. Geosistemas Pavco S.A., 2008.
5. Sanjay Kumar Shukla, Jian Hua Yin. Fundamentals of Geosynthetics of Engineering. General Description and functions of Gesoynthetics, University Of Hong Kong. pp. 1-43.
6. Nigle E. Wrigley. The durability and aging of geosynthetics. Group Manufacturing and Technical Director, Netlon Limited.
7. Paul Garnica Anguas y Ángel Correa. Conceptos Mecanicistas en Pavimentos. Publicación Técnica No. 258. Sanfandila, Querétaro.2004.
8. Javier Santalla. Aumento de la vida útil del asfalto mediante el empleo de geocompuestos antireflexión de fisuras. Huesker Geosintéticos, S.A.
9. Montestruque, G. Simulación a través de Método de Elementos Finitos la inclusión de geomalla como sistema Anti Reflexión de Fisuras.

- a. Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Catálogo de deterioros en pavimentos flexibles de carreteras mexicanas. Publicación Técnica No. 21. Querétaro, Qro. 1991.
10. Elsing, A., Asphalt Layer Polymer Reinforcement: Long term experience, new design method, recent developments.
11. De Vischer, J. Comparative low-temperature thermal cracking investigations on different reinforcing interface system.
12. Andrés Marín de la plaza. Empleo de geosintéticos en el refuerzo e impermeabilización de firmes. Nuevas tecnologías para la Conservación de Firmes. Técnico/ Departamento de Geosintéticos. COMPOSAN construcción Pp. 449- 458.
13. Timoshenko, S. and J. N. Goodier. Plane Stress and Plane Strain. Theory of Elasticity, McGraw-Hill, New York. 1951



Se observa la ubicación de equipo de Refracción Sísmica y tendido de los cables Multicanal y geófonos.





Se observa los trabajos preliminares en la Av. Los Insurgentes



Estudios de suelos para la colocación de las geomallas en la Av. Los Insurgentes



Se observa excavación de material para luego ser reemplazado por material de préstamo.



Se observa el reemplazo del material de afirmado en la Av. Los Insurgentes



Se observa la Nivelación del material de reemplazo.



Se observa la colocación del material de reemplazo.



Determinación de la compactación del suelo en la Av Los Insurgentes.



Tendido de las geomallas triaxiales, en la Av. Los insurgentes.



Tendido de las geomallas triaxiales, en la Av. Los insurgentes.



Se observa la geomalla triaxial colocada en la Av. Los Insurgentes



Se observa el vaciado del concreto en la pavimentación de la Av. Los Insurgentes



Se observa el acabado (peinado) del pavimento en la Av. Los Insurgentes





Se observa el acabado de la pavimentación, y así mismo el curado respectivo



Se observa la culminación de la pavimentación de la Av. Los Insurgentes.