



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

TESIS

**“GEOMALLAS BIAXIALES PARA MEJORAR LA
CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE TRAMO Km 00+000 – Km 36+850 DE LA
CARRETERA IMPERIAL PAMPAS-HUANCAYO
2017”**

PRESENTADA POR EL BACHILLER.

JOSÉ LUIS, BARRIOS CANORIO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – FEBRERO

ABRIL, 2017

DEDICATORIA:

Dedico Esta tesis A. Dios por haberme dado la vida Y guiarme por el buen camino. Para concluir mi formación profesional. A mis padres, hermanos(as), tios (as) primos (as) y Mi madrina (Zulema Canorio Baquerizo) y amigos quienes sin su apoyo y consejos constantes no hubiera podido terminar esta tesis.

GRACIAS POR TODO...

AGRADECIMIENTO

Yo agradezco primeramente a mis padres que han dado todo el esfuerzo para que yo ahora este culminando esta etapa de mi vida y darles las gracias por apoyarme en todos los momentos difíciles de mi vida tales como la felicidad la tristeza pero ellos siempre han estado junto a mí y gracias a ellos soy lo que ahora soy y con el esfuerzo de ellos y mi esfuerzo ahora puedo ser una gran profesional y seré un gran orgullo para ellos para todos los que confiaron en mí.

RESUMEN

La presente investigación tiene como título: “GEOMALLAS BIAXIALES PARA MEJORAR LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO Km 00+000 – Km 36+850 DE LA CARRETERA IMPERIAL PAMPAS-HUANCAYO 2017”, siendo el problema, ¿Cuál la influencia de las geomallas biaxiales en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017? Cuyo objetivo es Determinar la influencia de las geomallas biaxiales en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017.

Con dicho objetivo se describe las características y utilidades de las geomallas, el diseño de espesores para pavimento flexible con geomallas, para luego analizar las partidas en donde influyen estos dos métodos de estabilización del suelo de la subrasante. En primer lugar, tenemos la partida de mejoramiento de subrasante donde la influencia es directa, e indirectamente se influye en las partidas de las capas del pavimento como, la subbase granular, base granular y carpeta asfáltica; ya que al realizar la estabilización del suelo a nivel subrasante con geomallas, tendremos espesores de las capas del pavimento flexible, que no serán iguales a que realizar la estabilización mecánica del suelo de la subrasante

Considerando estas partidas y calculando los metrados para cada una de estas, se calcula el costo obtenido de la estabilización del suelo a nivel subrasante utilizando geomallas y el costo la estabilización mecánica del suelo de la subrasante. Así como también el tiempo de realización en que difiere las partidas analizadas.

El aporte estructural de las geomallas se nota en el número estructural, que es un número abstracto que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento para las condiciones como la calidad del suelo, condiciones del tráfico, la variación de la serviciabilidad durante la vida útil del pavimento y las condiciones ambientales. De los resultados obtenemos que se presenta una diferencia

considerable en cuanto a costo, teniendo así, un costo mayor en las partidas considerando la estabilización mecánica del suelo de la subrasante.

Palabras claves: pavimento, geomallas, estabilización, subrasante.

ABSTRACT

This research has as a title: "BIAXIAL GEOGRID to improve structural FLEXIBLE pavement section Km 00 + 000 - Km 36 + 850 from the IMPERIAL PAMPAS-HUANCAYO 2017", being the problem, which the influence of the biaxial geogrids in the structural capacity of resilient floor coverings on the imperial road pampas - Huancayo 2017? Whose objective is to determine the influence of the biaxial geogrids in the structural capacity of resilient floor coverings on the imperial road pampas - Huancayo 2017?

With this objective is described characteristics and utilities of geonets, thicknesses for geogrid flexible pavement design, to then analyse headings where influenced by these two methods of the subgrade soil stabilization. Firstly, we have the departure of improvement of subgrade where the influence is direct, and indirectly influences in the headings of the layers of the pavement as the sub-base granular, base granular and asphalt; already performing the sub-surface level with geogrid soil stabilization, we will have thickness of flexible pavement layers, that they will not be equal to perform the mechanical stabilization of the subgrade soil.

Considering these items and calculating the measurements for each of these, is calculated the cost obtained at sub-surface level soil stabilization using geogrids and cost mechanical stabilization of the subgrade soil. As well as also the time of realization that differs analyzed items.

The structural contribution of the geogrid is noticed in the structural issue, which is an abstract number that expresses the structural capacity required by the pavement for conditions such as the quality of the soil, the traffic, the variation of the serviciabilidad during the life of the pavement and the environmental conditions. The results we obtain that it presents a considerable difference in terms of cost, so, most items cost whereas the mechanical stabilization of the subgrade soil.

Key words: geogrid, stabilization, subgrade and pavement.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA:	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	2
DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.1. ESPACIAL.....	3
1.1.2. TEMPORAL	4
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1.3. PROBLEMA GENERAL	4
1.1.4. PROBLEMA ESPECÍFICO.....	4
OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1.5. OBJETIVO GENERAL	5
1.1.6. OBJETIVO ESPECIFICO.....	5
FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1.7. HIPÓTESIS GENERAL.....	5
1.1.8. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	5
VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6

1.1.9. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	6
1.1.10. VARIABLE DEPENDIENTE	6
1.1.11. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE	6
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.1.12. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.1.13. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.1.14. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	9
1.1.15. DISEÑO DE INVESTIGACION	10
POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.1.16. POBLACIÓN	11
1.1.17. MUESTRA.....	11
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	11
1.1.18. TÉCNICAS.....	11
1.1.19. INSTRUMENTOS	11
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1.20. JUSTIFICACIÓN	12
1.1.21. IMPORTANCIA	12
LIMITACIONES	13
VIABILIDAD	13
1.1.22. TÉCNICA:	13
1.1.23. ECONÓMICA:.....	13
1.1.24. SOCIAL.....	14
1.1.25. OPERATIVA:.....	14
MARCO TEÓRICO	15

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.1.26. INTERNACIONALES:	15
1.1.27. NACIONALES:	16
BASES TEÓRICAS.....	16
1.1.28. REFERENCIAS HISTÓRICAS.....	16
1.1.29. MARCO LEGAL	18
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	20
1.1.30. GEOSINTÉTICOS.....	20
GEOMALLAS BIAXIALES	34
1.1.31. GENERALIDADES.....	34
1.1.32. INTRODUCCIÓN	34
1.1.33. MECANISMOS DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS	36
PAVIMENTO FLEXIBLE	44
1.1.34. GENERALIDADES.....	44
1.1.35. SUB RASANTE.....	45
1.1.36. SUB-BASE	47
1.1.37. BASE	49
1.1.38. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE	51
COSTOS EN OBRAS DE PAVIMENTACION.....	65
1.1.39. COSTOS DIRECTOS	65
1.1.40. COSTOS INDIRECTOS	75
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	78
CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO	78

1.1.41. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.	78
1.1.42. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.	78
1.1.43. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	78
1.1.44. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:	79
1.1.45. VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .	80
ANALISIS CUANTITAVO DE LAS VARIABLES	81
1.1.46. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA IMPERIAL – PAMPAS (TRAMO KM 00+000 – KM 36+850) METODO AASHTO	81
1.1.47. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA IMPERIAL – PAMPAS (TRAMOS KM 00+000 – KM 36+850) METODO AASHTO CON GEOMALLAS.	86
1.1.48. RESUMEN DE ESPESORES	100
1.1.49. ANÁLISIS DE COSTOS	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
CONCUSIONES	118
RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: GEOTEXTIL	21
ILUSTRACIÓN 2: GEOMALLAS.....	22
ILUSTRACIÓN 3: GEOCOMPUESTOS.....	23
ILUSTRACIÓN 4: GEOMEMBRANAS.....	24
ILUSTRACIÓN 5: GEOMALLAS MONO-ORIENTADAS.....	26
ILUSTRACIÓN 6: GEOMALLAS COEXTRUÍDAS BI-ORIENTADAS	27
ILUSTRACIÓN 7: ESTABILIDAD DE TALUDES CON GEOMALLAS	28
ILUSTRACIÓN 8: REFUERZO DE SUBRASANTE	29
ILUSTRACIÓN 9: REFUERZO DE CAPAS DE RODADURA.....	30
ILUSTRACIÓN 10: SECCIÓN TÍPICA DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO ASFALTICO.....	35
ILUSTRACIÓN 11: CONFINAMIENTO LATERAL GENERADO POR LA GEOMALLA EN UN MATERIAL GRANULAR ..	36
ILUSTRACIÓN 12: VISTA EN PLANTE DE LA SECCIÓN DE LA VÍA UTILIZADA EN EL ENSAYO.....	39
ILUSTRACIÓN 13: VISTA EN CORTE DE LA SECCIÓN DE LA VÍA DE ENSAYO.....	41
ILUSTRACIÓN 14: CURVAS DE ISO-DEFORMACIONES (CBR Vs. NÚMERO DE CICLOS EN SECCIONES REFORZADAS Y NO REFORZADAS EN EL FONDO DE LA VÍA).....	43
ILUSTRACIÓN 15: INCREMENTO DEL FACTOR DE TRÁFICO Vs. CBR PARA DOS PROFUNDIDADES DE AHUELLAMIENTO.....	44
ILUSTRACIÓN 16: ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN PAVIMENTOS TÍPICOS	45
ILUSTRACIÓN 17: LCR vs. CBR DE LA SUBRASANTE.....	64
ILUSTRACIÓN 18: ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN PAVIMENTOS TÍPICOS	68
ILUSTRACIÓN 19: HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.....	74
ILUSTRACIÓN 20: EJEMPLO DE ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.....	75
ILUSTRACIÓN 21	88
ILUSTRACIÓN 22: SECCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CONSIDERADA PARA EL ANÁLISIS.....	101
ILUSTRACIÓN 23: COSTOS DE LAS PARTIDAS ANALIZADAS POR SECTORES	105
ILUSTRACIÓN 24: COSTOS DE LAS PARTIDAS ANALIZADAS	106
ILUSTRACIÓN 25: SECCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CONSIDERADA PARA EL ANÁLISIS.....	107
ILUSTRACIÓN 26: COSTO DE LAS PARTIDAS ANALIZADAS POR SECTORES PARA LA ESTABILIZACIÓN CON GEOMALLA TIPO A.....	113
ILUSTRACIÓN 27: COSTO POR PARTIDAS	114
ILUSTRACIÓN 28: COSTO DE LAS PARTIDAS ANALIZADAS POR SECTORES PARA LA ESTABILIZACIÓN CON GEOMALLA TIPO A.....	115

ILUSTRACIÓN 29: COSTO POR PARTIDAS	115
ILUSTRACIÓN 30: COSTOS POR PARTIDAS SEGÚN TIPO DE ESTABILIZACIÓN	117
ILUSTRACIÓN 31: COSTOS TOTALES SEGÚN TIPO DE ESTABILIZACIÓN.	117
ILUSTRACIÓN 32: COSTOS TOTALES SEGÚN TIPO DE ESTABILIZACIÓN.	119

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PROPIEDADES DE LAS GEOMALLAS ESTRUCTURALES	32
TABLA 2: NORMATIVIDAD GEOMALLAS CAPAS GRANULARES	33
TABLA 3: TIPOS DE GEOMALLAS TENAX CONSIDERADOS PARA EL REFUERZO DE VÍAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	42
TABLA 4: ESPECIFICACIONES GENERALES PARA SUB-BASES.....	48
TABLA 5 GRANULOMETRÍA DE LAS DIFERENTES SUB-BASES.	48
TABLA 6: ESPECIFICACIONES GENERALES PARA BASES – AREGADO GRUESO	50
TABLA 7: ESPECIFICACIONES GENERALES PARA BASES – AREGADO FINO.....	50
TABLA 8: GRANULOMETRÍA DE LAS DIFERENTES BASES.	51
TABLA 9: VALORES RECOMENDADOS DE NIVEL DE CONFIABILIDAD PARA UNA SOLA ETAPA DE DISEÑO (10 O 20 AÑOS) SEGÚN EL RANGO DE TRÁFICO.....	54
TABLA 10: VALORES RECOMENDADOS DE NIVEL DE CONFIABILIDAD PARA DOS ETAPAS DE DISEÑO DE 10 AÑOS CADA UNA SEGÚN EL RANGO DE TRÁFICO.....	55
TABLA 11: COEFICIENTE ESTADÍSTICO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR) PARA UNA SOLA ETAPA DE DISEÑO (10 O 20 AÑOS) SEGÚN EL RANGO DE TRÁFICO Y NIVEL DE CONFIABILIDAD.....	56
TABLA 12: ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (PI) SEGÚN EL RANGO DE TRÁFICO.....	57
TABLA 13: ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pf) SEGÚN EL RANGO DE TRÁFICO.....	58
TABLA 14: COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO AI.....	60
TABLA 15: VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE MI PARA BASES Y SUBBASES GRANULARES NO TRATADAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	62
TABLA 16: TARIFA TÉCNICA DE EQUIPO MECÁNICO PARA LA INDUSTRIA. (COSTO EXPRESADO EN SOLES Y SIN IGV).....	72
TABLA 17: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SECTOR 1(TRAMO Km.0+000 – Km. 5+780)	81
TABLA 18: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SECTOR 2(TRAMO Km.5+780 – Km. 17+720)	82
TABLA 19:PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SECTOR 3(TRAMO Km.17+720 – Km. 36+850)	82
TABLA 20:NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 1- UNA ETAPA (TRAMO Km.0+000 – Km. 5+780)	83
TABLA 21: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 1 – DOS ETAPAS (TRAMO Km.0+000 – Km. 5+780)	84
TABLA 22: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 2 – UNA ETAPA (TRAMO Km.5+780 – Km. 17+720)	84
TABLA 23: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 2 – DOS ETAPAS (TRAMO Km.5+780 – Km. 17+720)	85

TABLA 24: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 3 – UNA ETAPA (TRAMO KM.17+720 – KM. 36+850)	85
TABLA 25: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 3 – DOS ETAPAS (TRAMO KM.17+720 – KM. 36+850)	85
TABLA 26: CBRs DE LOS TRAMOS A MEJORAR POR SECTORES	86
TABLA 27: MODULO DE RESILIENCIA POR SECTORES.	86
TABLA 28: ESPESORES CALCULADOS A PARTIR DE LOS CBRs SEGUN PERIODO DE DISEÑO.	87
TABLA 29: VALOR DEL LCR PARA CADA TIPO DE GEOMALLA.....	88
TABLA 30: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 1 – 20 AÑOS.....	91
TABLA 31: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 2 – 20 AÑOS.....	92
TABLA 32: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 3 – 20 AÑOS.....	93
TABLA 33: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 1 – 10 AÑOS 1ERA ETAPA.....	94
TABLA 34: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 1 – 10 AÑOS 2DA ETAPA.....	95
TABLA 35: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 2 – 10 AÑOS 1ERA ETAPA.....	96
TABLA 36: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 2 – 10 AÑOS 2DA ETAPA.....	97
TABLA 37: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 3 – 10 AÑOS 1ERA ETAPA.....	98
TABLA 38: NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA SECTOR 3 – 10 AÑOS 2DA ETAPA.....	99
TABLA 39: ESPESORES DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO SEGÚN LA ESTABILIZACIÓN MECÁNICA DEL SUELO DE LA SUBRASANTE.....	101
TABLA 40: ANCHOS EN LA SUPERFICIE DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	102
TABLA 41: METRADO PARA LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LAS ZONAS DE MEJORAMIENTO	102
TABLA 42: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LA PARTIDA DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE	103
TABLA 43: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LA PARTIDA SUBBASE GRANULAR.	103
TABLA 44: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA LA PARTIDA DE BASE GRANULAR.....	104
TABLA 45: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA LA PARTIDA DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	104
TABLA 46: COSTOS POR PARTIDAS ANALIZADAS Y POR SECTORES DE LA CARRETERA.	105
TABLA 47: ESPESORES DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO SEGÚN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS TIPO A	107
TABLA 48: ESPESORES DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO SEGÚN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS TIPO B	108
TABLA 49: ANCHOS EN LA SUPERFICIE DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	108
TABLA 50: ANCHOS EN LA SUPERFICIE DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	109
TABLA 51: METRADO PARA LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LAS ZONAS DE MEJORAMIENTO	109
TABLA 52: METRADO PARA LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LAS ZONAS DE MEJORAMIENTO	110
TABLA 53: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LA PARTIDA DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON GEOMALLAS TIPO A.....	110

TABLA 54: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LA PARTIDA DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON GEOMALLAS TIPO B.....	111
TABLA 55: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LA PARTIDA SUBBASE GRANULAR.	111
TABLA 56: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA LA PARTIDA DE BASE GRANULAR.....	112
TABLA 57: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA LA PARTIDA DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	112
TABLA 58: COSTOS POR PARTIDAS ANALIZADAS Y POR SECTORES DE LA CARRETERA.....	113
TABLA 59: COSTOS POR PARTIDAS ANALIZADAS Y POR SECTORES DE LA CARRETERA.....	114
TABLA 60: RESUMEN DE LOS COSTOS PARA TODOS LOS TRAMOS DE MEJORAMIENTO	116
TABLA 61: RESUMEN DE LOS COSTOS PARA TODOS LOS TRAMOS DE MEJORAMIENTO	118

INTRODUCCIÓN

Mucha gente no imagina los beneficios económicos y sociales que genera la construcción de una carretera. La red vial en el Perú está compuesta por más de 163,480 km de carreteras. La carretera Imperial Pampas, forma parte de la iniciativa de mejoramiento de la red vial, el proyecto consiste en la rehabilitación y mejoramiento de la carretera División Pampas-Huancayo, teniendo una longitud de 36.85 Kilómetros y ancho de calzada de 6.60m con bermas de 0.90 a 2.00m.

Según en el Manual de Carreteras EG – 2013, para que el pavimento se apoye sobre la subrasante, se requiere que los últimos 0.60 m de la capa de suelos debajo del nivel de la subrasante tenga un CBR \geq 6% de lo contrario se mejorara o reforzara el suelos, siendo en la mayoría de los casos elegidos sistemas convencionales, sin embargo también menciona la utilización de geomallas, no se precisa el diseño, ni el aporte estructural de las geomallas, siendo su diseño y utilización un campo limitado.

La presente investigación tiene como título: “GEOMALLAS BIAXIALES PARA MEJORAR LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA IMPERIAL PAMPAS-HUANCAYO” cuyo análisis tiene como objetivo: Determinar la influencia del uso de geomallas biaxiales en el comportamiento estructural, el costo y tiempo de un proyecto de pavimento flexible.

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Mucha gente no imagina los beneficios económicos y sociales que genera la construcción de una carretera, sobre todo, cuando conecta zonas con altos potenciales productivos, tanto en el marco industrial, comercial, turístico y agrícola de una nación. Una obra vial bien planificada se traduce en reducciones de los costos operativos de los vehículos, en tiempo y contaminación del ambiente, así como las facilidades para el desplazamiento de los usuarios y en consecuencia menos accidentes y más impulso económico de las zonas por donde atraviesa. Por tanto, es una obligación del estado mantener y ampliar la red vial actual.

La red vial en el Perú está compuesta por más de 163,480 km de carreteras, organizada en tres grandes grupos: las carreteras longitudinales, las carreteras de penetración y las carreteras de enlace. Estas rutas están a cargo de PROVIAS, organismo descentralizado del ministerio de Transportes y Comunicaciones, quien tiene la función mantener y ampliar dichas vías. El ministerio tiene como finalidad reducir la brecha de infraestructura vial, priorizando las carreteras con más demanda de tráfico, entre las que se encuentra la carretera Imperial – Pampas.

La carretera Imperial Pampas, forma parte de esta iniciativa de mejoramiento de la red vial, el proyecto consiste en la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Dv. Imperial – Pampas, es uno de los proyectos más importantes que se han ejecutado en los últimos años en el centro del

Perú, esta tiene una longitud de 36.14 kilómetros y ancho de calzada de 6.6 metros con bermas de 0.9 a 2 metros. El proyecto contempla un volumen de excavación de aproximadamente 1´666,247 m³, 39.4 kilómetros de cunetas, 11.9 kilómetros de canales, un pontón, muros, alcantarillas y otras obras de arte.

Según en el Manual de Carreteras EG – 2013, para que el pavimento se apoye sobre la subrasante, se requiere que los últimos 0.60 m de la capa de suelos debajo del nivel de la subrasante tenga un CBR \geq 6% de lo contrario el Ingeniero Responsable considerara la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos, siendo en la mayoría de los casos elegidos sistemas convencionales; sin embargo también menciona la utilización de geomallas, no se precisa el diseño, ni el aporte estructural de las geomallas, siendo su diseño y utilización un campo limitado.

La presente investigación tiene como título: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE GEOMALLAS BIAXIALES COMO REFUERZO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CARRETERA IMPERIAL PAMPAS - HUANCAYO 2017” cuyo análisis tiene como objetivo: Determinar la influencia del uso de geomallas biaxiales en el comportamiento estructural, el costo y tiempo de un proyecto de pavimento flexible.

DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. ESPACIAL

La investigación está desarrollada para Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Imperial PAMPAS – HUANCAYO; Tramo

Km 00+000 – Km 36+850 ubicada en la provincia de Tayacaja, Región Huancavelica la cual forma parte de la Ruta nacional N° PE-3SD.

1.1.2. TEMPORAL

La evaluación de influencia de geomallas biaxiales se desarrollará en una etapa posterior a proceso de ejecución, porque evaluaremos el impacto en costo de proyecto y tiempo de ejecución del proyecto.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.3. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál la influencia de las geomallas biaxiales en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017?

1.1.4. PROBLEMA ESPECÍFICO

- ¿Cuál es influencia del tipo de subrasante en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles?
- ¿Cuál es la influencia del tipo de geomalla en la capacidad estructural de pavimentos flexibles?
- ¿Cuál es la influencia de costo en la determinación de refuerzo estructural en pavimentos flexibles?

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.5. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de las geomallas biaxiales en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017.

1.1.6. OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar la influencia del tipo de subrasante en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles.
- Determinar la influencia del tipo de geomalla en la capacidad estructural de pavimentos flexibles.
- Determinar la influencia de costo en la determinación de refuerzo estructural en pavimentos flexibles.

FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.7. HIPÓTESIS GENERAL

¿Las geomallas biaxiales influyen en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017?

1.1.8. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ¿El tipo de subrasante influencia en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles?
- ¿El tipo de geomalla influencia en la capacidad estructural de pavimentos flexibles?

- ¿Cuál es la influencia de costo en la determinación de refuerzo estructural en pavimentos flexibles?

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.9. VARIABLE INDEPENDIENTE

- CBR subrasante
- Tipo de geomalla biaxial
- Costo de la geomalla.

1.1.10. VARIABLE DEPENDIENTE

- Capacidad estructural del pavimento flexible

1.1.11. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p>¿Cuál la influencia de las geomallas biaxiales en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017?</p>	<p>Determinar la influencia de las geomallas biaxiales en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017.</p>	<p>¿Las geomallas biaxiales influyen en la capacidad estructural de pavimentos flexibles en la carretera imperial pampas - Huancayo 2017?</p>	<p><u>VARIABLES DE ESTUDIO</u></p> <p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • CBR Subrasante. • Tipo de geomalla biaxial. • Costo de geomalla.

<p>a) ¿Cuál es influencia del tipo de subrasante en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles?</p> <p>b) ¿Cuál es la influencia del tipo de geomalla en la capacidad estructural de pavimentos flexibles?</p> <p>c) ¿Cuál es la influencia de costo en la determinación de refuerzo estructural en pavimentos flexibles?</p>	<p>a) Determinar la influencia del tipo de subrasante en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles.</p> <p>b) Determinar la influencia del tipo de geomalla en la capacidad estructural de pavimentos flexibles.</p> <p>c) Determinar la influencia de costo en la determinación de refuerzo estructural en pavimentos flexibles.</p>	<p>a) ¿El tipo de subrasante influencia en la determinación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles?</p> <p>b) ¿El tipo de geomalla influencia en la capacidad estructural de pavimentos flexibles?</p> <p>c) ¿Cuál es la influencia de costo en la determinación de refuerzo estructural en pavimentos flexibles?</p>	<p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • CBR • SN número estructural. • Costo <p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad estructural del pavimento flexible. <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • SN número estructural
---	--	--	---

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.12. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo Aplicada la cual es una investigación técnica destinada conocimiento de algún aspecto de la realidad o a la verificación de la realidad¹, partiendo de este concepto nosotros investigaremos el conocimiento de la aplicación de geomallas biaxiales para mejorar la capacidad estructural del pavimento flexible.

1.1.13. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación es orientada Correlacional debido a nuestro análisis será de forma orientada al conocimiento de la influencia de la geomalla biaxial en la capacidad estructural del pavimento flexible. Además, la investigación orientada correlacional es una investigación teórica destinadas al conocimiento de algún aspecto de la realidad o a la verificación de hipótesis (ANDER-EGG, 2011).

1.1.14. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se enfoca en el método Cualitativo, cual utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación (ROBERTO HERNANDEZ SAMPIERI, 2010). En el análisis de la influencia de geomallas biaxiales en la capacidad estructural se tendrá un enfoque cualitativo, porque al plantear el uso de un nuevo material podremos

Deducir las ventajas y desventajas que tendríamos en comparación al uso de métodos tradicionales.

1.1.15. DISEÑO DE INVESTIGACION

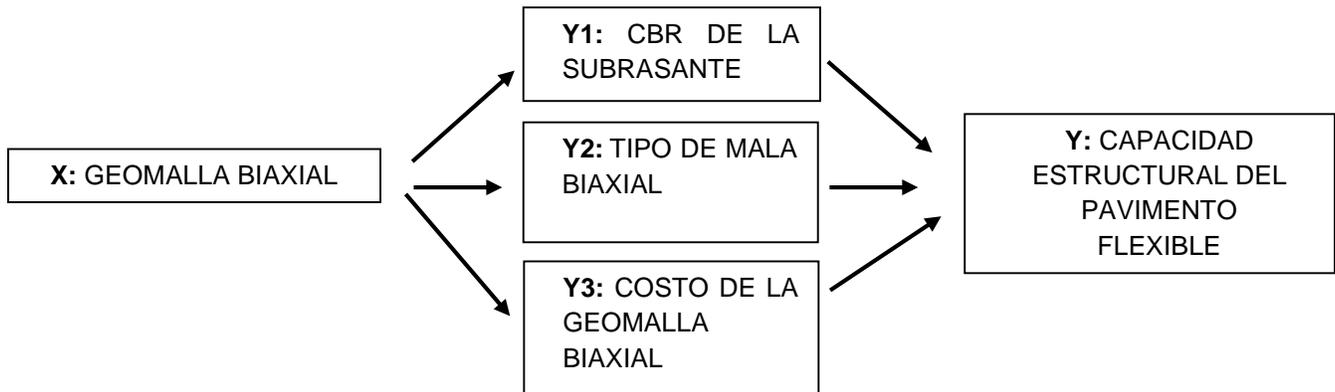
Se realiza la relación entre las variables, observando el comportamiento de una para predecir el comportamiento de la otra además de lograr resultados específicos expresados de manera No Experimental - descriptivo siguiendo un enfoque Transversal de acuerdo a las características de información empleada (ROBERTO HERNANDEZ SAMPIERI, 2010).

EL ESQUEMA QUE CORRESPONDE A ESTE DISEÑO ES:



VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE DEPENDIENTE



POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.16. POBLACIÓN

Las carreteras asfaltadas con pavimento flexible, de la red Regional de Huancavelica.

1.1.17. MUESTRA

La carretera imperial pampas-Huancayo tramo km 00+000 – km 36+850.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.1.18. TÉCNICAS

Se requerirá una revisión del estudio de la carretera y rediseño con las nuevas consideraciones.

1.1.19. INSTRUMENTOS

- Estudio de suelos de la carretera.
- Programas para el cálculo de los aportes estructurales.
- Programas para diseño de geomallas.
- Programas para determinación de costos en carreteras.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.20. JUSTIFICACIÓN

A diferencia de los suelos, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos.

La presente investigación se justifica debido a que es necesario brindar a la comunidad la utilización de nuevos materiales para la estabilización de pavimentos en carreteras. Actualmente la complejidad de los métodos de diseños y el desconocimiento de las ventajas que brindan los nuevos materiales, hace que la mayoría opte por los métodos tradicionales, a pesar de que estos puedan ser más caros y de un comportamiento inferior.

Además, se justifica en la necesidad de mejorar el comportamiento estructural de los pavimentos, brindando alternativas a zonas donde se tiene suelos con baja capacidad de soporte y escases de materiales granulares, que son tradicionalmente el método más usado en este procedimiento. Sin tomar en cuenta los efectos económicos en el proyecto.

1.1.21. IMPORTANCIA

Tomando en cuenta lo que significa una carretera en buen estado, es importante que esta tenga un buen desempeño a lo largo de su vida útil, lo cual se asegura con un buen comportamiento estructural, la existencia de nuevos materiales que se puedan utilizar, que brinden ventajas técnicas y económicas, refuerza esta idea y da a los ingenieros más herramientas para asegurar este fin.

LIMITACIONES

El presente trabajo de investigación se centra en la evaluación de la carretera imperial Pampas-Huancayo tramo Km 00+000 – Km 36+850, ubicada en la provincia de Tayacaja, Región Huancavelica la cual forma parte de la Ruta nacional N° PE-3SD y los resultados son útiles solo para este proyecto, sin embargo, la metodología puede aplicarse para cualquier proyecto similares.

VIABILIDAD

1.1.22. TÉCNICA:

Dentro de los recursos tecnológicos que se tiene para la realización de la mejora de capacidad estructural del pavimento se tiene la geomalla que su compra puede realizarse en Lima – Perú. Los riesgos son a nivel ambiental, por ser un polímero, en cuanto a la funcionalidad este material puede facilitar en el proceso constructivo y mejorar así el rendimiento en el mejoramiento de la capacidad estructural.

1.1.23. ECONÓMICA:

El costo que implica el mejoramiento en la capacidad estructural del pavimento, podría ser más económico si utilizamos geomallas biaxiales, por el procedimiento constructivo y por el ahorro de tareas que al utilizar geomallas biaxiales ya se reducirían considerablemente.

1.1.24. SOCIAL

La colocación de geomalla biaxial requiere mano de obra calificada, en este sentido favorece al personal que instalara la geomalla ya que contara con una capacitación técnica para su capacidad de operación. De esta forma el personal tendrá nuevas capacidades para ofrecer en el mercado laboral. De esta manera se mejoraría la condición social al percibir mejores salarios y contar con una capacitación técnica.

1.1.25. OPERATIVA:

La puesta en marcha de la geomallas en el presente podría conllevarnos a la utilización en forma masificada de este innovador material, teniendo mayores rendimientos en capacidad estructural de pavimentos flexibles.

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Investigaciones y publicaciones referentes a este estudio aún no han sido presentadas como tal, sin embargo, podemos mencionar estudios:

1.1.26. INTERNACIONALES:

- a) APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, ADOLFO FIORINE GARCÍA, UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATAMELA, FACULTAD DE INGENIERÍA Departamento de Ingeniería Civil, Guatemala, NOVIEMBRE 2007.
- b) UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, Erick Arnoldo Caballeros Torres, Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil, Guatemala, octubre de 2006.
- c) APLICACIÓN DE LA NORMA AASHTO 2002 EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES QUEDNOW Gálvez, Jorge Tomas.: Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 135 pp
- d) "THE HANDBOOK OF GROUNDWATERENGINEERING" 2° EDITION Jacques W. Delleur (Editor-in-Chief), CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.
- e) "EXPERIMENTAL FRICTION EVALUATION OF SLIP-PAGE BETWEEN GEOMEMBRANES, GEOTEXTILES, AND SOILS" Martin J.P., koerner R.M.

1.1.27. NACIONALES:

- a) EVALUACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD PARA CAMINOS DE BAJO TRÁNSITO ESTABILIZADOS CON ADITIVO PROES. Edson Atarama-Mondragón, UNIVERSIDAD DE PIURA, FACULTAD DE INGENIERÍA Departamento de Ingeniería Civil, Piura, marzo de 2015.
- b) ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL USO DE GEOMALLAS COMO REFUERZO DE BASES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES, Daniel Alberto Orrego Cabanillas, pontificia universidad católica del Perú, Lima, junio del 2014.

BASES TEÓRICAS

1.1.28. REFERENCIAS HISTÓRICAS

PAVIMENTOS FLEXIBLES, PROBLEMÁTICA, METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y TENDENCIAS INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. QUERÉTARO, 1998. 145 PP

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte en el considera la problemática general del comportamiento de los pavimentos flexibles. Se discute el papel fundamental que juegan las características del comportamiento mecánico de los materiales utilizados dentro del comportamiento, considerando el efecto del tránsito, climáticos y del efecto del agua. Después se describen los 4 métodos de diseño más utilizados en México, en la última parte, se presenta un panorama general y un análisis crítico de algunas de las investigaciones que sobre el comportamiento y diseño de pavimentos se están llevando a cabo a nivel internacional.

MANUAL CENTROAMERICANO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS. GUATEMALA, NOVIEMBRE 2002. 289 PP AGENCIA DE LOS ESTADOS

UNIDOS PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL Y SECRETARÍA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA:

Este estudio fue desarrollado a través del convenio de donación USAID/SIECA No. 0596-0184.20, siendo parte del Programa “mejora de la capacidad de la región para mitigar los efectos transnacionales de desastres”, procedió elaborar una serie de normas y manuales para: Planificar, Construir, Mejorar, Mantener y Fortalecer la red vial centroamericana, reduciendo su vulnerabilidad ante los desastres naturales. El MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS” coadyuvará a construir mejores y más durables superficies de rodaduras, para seguridad y comodidad de los usuarios.

CAJIGAS SILVA, GERMÁN, MEDICIÓN EN CAMPO DEL APORTE DE GEOMALLAS BIAXIALES EN EL MEJORAMIENTO DE SUB RASANTES BLANDAS: BOGOTÁ, COLOMBIA, 21 PP.

Guatemala es un país que presente una topografía variada. La red vial sufre un constante deterioro debido a que ésta, cuenta con un rango inferior de resistencia a carga vehicular comparado con otros países. Por tal motivo, es necesario proponer una solución práctica para poder construir vías más resistentes y eficientes. Como una alternativa, en el diseño de pavimentos flexibles se encuentra la geomalla, utilizada recientemente en proyectos de ingeniería, pero sobre todo de infraestructura vial como refuerzo de la estructura del pavimento flexible, reduciendo espesores de las capas, prolongando la vida útil de la misma y logrando un pavimento más eficiente.

ELABORACIÓN DE DOCUMENTO DE APOYO, AL CURSO TIPOLOGÍA DE PAVIMENTOS DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL. INGENIERA

CIVIL DAMARIS NOEMI MONZÓN MÉNDEZ., GUATEMALA, OCTUBRE 2010

En Guatemala, no existe una bibliografía que compile toda la información de los temas tratados en el curso Tipología de Pavimentos, la elaboración de un documento de apoyo al curso permitirá abordar cada contenido de manera sencilla proporcionando los fundamentos teóricos para la correcta utilización de los mismos.

GEOSYNTHETIC MATERIALS ASSOCIATION. GEOSYNTHETIC REINFORCEMENT OF THE AGREGATE BASE AND SUBBASE COURSES OF PAVEMENT STRUCTURES: ESTADOS UNIDOS, JUNIO 2000. 281 PP. VERSIÓN EN INGLÉS.

Se aborda el refuerzo con geosintético de la base o sub-base de las estructuras de pavimento. Los beneficios del refuerzo de la base primaria son mejorar la vida útil y / u obtener un rendimiento equivalente con una sección estructural reducida. Se presentan el procedimiento de diseño recomendado y las especificaciones del material. También se aborda el uso de refuerzo geosintético para ayudar a la construcción en subrasante de baja resistencia.

1.1.29. MARCO LEGAL

MANUAL DE CARRETERAS Especificaciones técnicas generales para la construcción.

El Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S.

N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local. Manual de ensayos del ministerio.

MANUAL DE CARRETERAS suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, es un organismo del Poder Ejecutivo que cuenta con personería jurídica de derecho público y constituye un pliego presupuestal, el mismo que conforme a lo señalado en la Ley N° 29370 – Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, tiene entre sus funciones, la de formular, planear, dirigir, coordinar, ejecutar, fiscalizar, supervisar y evaluar la política nacional y sectorial, bajo su competencia, aplicable a todos los niveles del gobierno.

MTC Manual de Ensayo de Materiales.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento.

El “Manual de Ensayo de Materiales” forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

1.1.30. GEOSINTÉTICOS

(American Society for Testing and Materiales, 1997) Ha definido un geosintético como un producto planar fabricado de un material polímero usado con suelo, roca, tierra, u otro material relacionado con la geotecnia como un parte integral de un proyecto de ingeniería civil, estructura, o sistema. Geosintético es un producto en el cual, al menos uno de sus componentes este hecho a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en el mundo de la construcción y la edificación como son: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones medioambientales, entre otras. La fabricación de los geosintéticos comprende procedimientos principalmente de extrusión, tecnología textil y/o ambas tecnologías: Textil y plástica.

Los geosintéticos se derivan de fibras artificiales, compuestos básicamente de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, siendo los 2 primeros los de mayor utilización en la actualidad.

2.3.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

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

2.3.1.2 GEOTEXTILES

Es un geosintético permeable hecho de materiales textiles (National Highway Institute, 1998). Son mantas de fibras o hilos tejidos, no tejidos, atados o cosidos. Las mantas son flexibles y permeables y generalmente tienen la apariencia de un tejido. Los geotextiles son usados en aplicaciones de separación, filtración, drenaje, refuerzo y control de erosión. Son materiales flexibles y permeables a los fluidos fabricados de fibras sintéticas como el poliéster o polipropileno. Sus características los hacen capaces de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros (ver ilustración 1).

Ilustración 1: Geotextil



Fuente: Departamento de Ingeniería de Geosistemas Pavco

2.3.1.3 GEOMALLAS

Geosintéticos primarios usados para refuerzo, están formados por una red regular de elementos de resistencia a la tracción con aberturas de tamaño suficiente para dispositivo de seguridad con alrededor de material de relleno (National Highway Institute, 1998).

Son materiales geosintéticos que tienen una apariencia de malla abierta (ver ilustración 2). La principal aplicación de los geomallas es el refuerzo de suelos. Son estructuras tridimensionales, pero con la característica de ser mono o bi-orientadas. Están fabricadas en polietileno de alta densidad, utilizando un proceso de extrusión. Tienen una mayor adherencia al terreno y una mayor durabilidad en el medio que los geotextiles. Dado a que las geomallas es una parte esencial de este trabajo, le daremos mayor amplitud a sus propiedades en capítulos posteriores.

Ilustración 2: Geomallas.

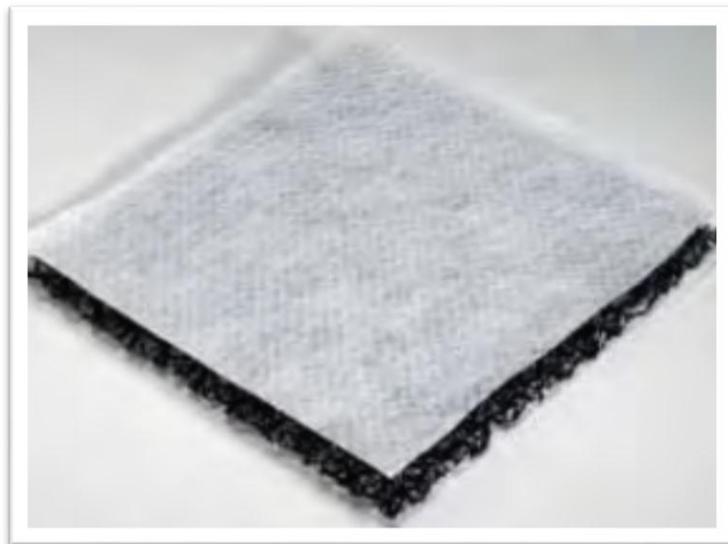


Fuente: Danilo Galecio Castillo TDM, 2009

2.3.1.4 GEOCOMPUESTOS

Son geosintéticos hechos de una combinación de dos o más tipos de geosintéticos. Diseñado específicamente para estabilización de suelos donde se requiere tanto refuerzo como separación de una base granular y un subsuelo muy fino. Uniendo un geotextil no tejido a una geomalla, lo que permite una gran interacción con el suelo reforzado, completa separación de los diferentes tipos de suelo, una efectiva acción de filtración, gran resistencia a la tensión como un alto módulo elástico, gran resistencia a los daños durante la instalación y un excelente comportamiento a los agentes atmosféricos (ver ilustración 3). Algunos ejemplos son: geotextil-geored; geotextil-geomalla; geored-geomembrana.

Ilustración 3: Geocompuestos



Fuente: BASF The Chemical Company

2.3.1.5 GEOMEMBRANAS

Las geomembranas son geosintéticos de baja permeabilidad utilizados como barreras de líquidos (National Highway Institute, 1998). Son láminas continuas y flexibles elaboradas de un o más materiales sintéticos. Estos son relativamente impermeables y son usados como revestimientos de contenedores de fluidos y gases y como barreras de vapor. Son láminas poliméricas impermeables fabricados en cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD). Son recubrimientos sintéticos impermeables a fluidos y partículas cuya función es la de revestir canales, lagunas, depósitos de agua, además controlan la erosión (ver ilustración 4).

Se instalan en depósitos de hormigón o acero de cualquier dimensión para confinamiento de químicos, residuos sólidos o químicos e industriales y prolongar la duración de los tanques.

Ilustración 4: Geomembranas.



Fuente: AQUAPRUF S.A.

2.3.1.6 GEOMALLAS

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

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

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

La principal función de las geomallas coextruídas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla está ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros en suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal.

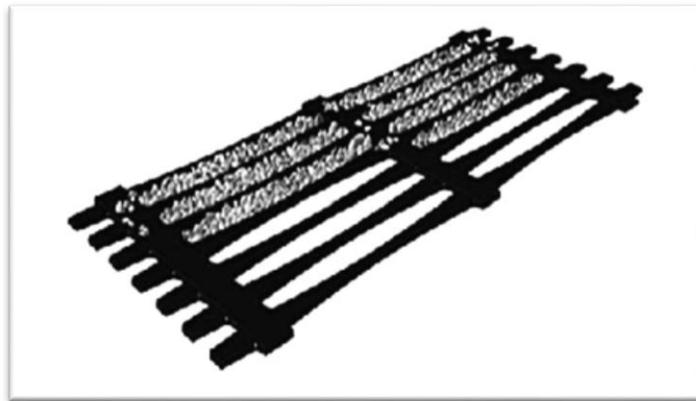
Las geomallas usadas dentro de un sistema de pavimento realiza dos de las principales funciones de los geosintéticos: separación y refuerzo (Department of the army U.S. Army Corps of Engineers, 2003).

2.3.1.6.1. CLASIFICACIÓN

Como se mencionó anteriormente se dividen en dos tipos. Los cuales se enuncian a continuación.

2.3.1.6.2. GEOMALLAS COEXTRUÍDAS MONO-ORIENTADAS

Ilustración 5: Geomallas mono-orientadas



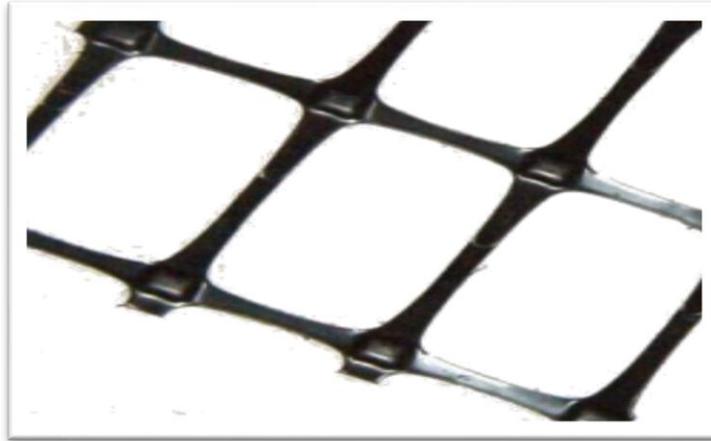
Fuente: Beltrán B., 2013

Las geomallas mono-orientadas, son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional (ver ilustración 5).

Este tipo de geomallas coextruídas de HDPE, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160KN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.

2.3.1.6.3. GEOMALLAS COEXTRUÍDAS BI-ORIENTADAS

Ilustración 6: Geomallas coextruídas bi-orientadas



Fuente: Tello Villarruel, David TDM Perú

Este tipo de geomallas son estructuras bidimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal (ver ilustración 6).

Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Este tipo de geomallas coextruídas se componen de elementos y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento.

Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles.

2.3.1.6.4. FUNCIONES Y APLICACIONES

El uso de las geomallas coextruídas bi-orientadas y mono-orientadas, en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo. (Ver ilustración 7). Esta función se realiza cuando la geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementado con una trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas mono-orientadas se enuncian a continuación:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.
- Estabilización de suelos blandos.

Ilustración 7: Estabilidad de taludes con geomallas



Fuente: Texdelta, Geotextiles, Geosintéticos y Fibras de Refuerzo

- Reparación de deslizamientos.
- Ampliación de cresta de taludes.
- Reparación de cortes en taludes.

- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados o recubiertos con concreto.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas bidireccionales se enuncian a continuación:

- Terraplenes para caminos y vías férreas.
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados (ver ilustración 7).

Ilustración 8: Refuerzo de subrasante



Fuente: Tensar

- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos (ver ilustración 9).
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril.
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.

Ilustración 9: Refuerzo de capas de rodadura.



Fuente: Alaudae Ingeniería y Servicios.

El principal criterio de escogencia del tipo de geomalla es básicamente estudiando cómo se generan y transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por ejemplo, en muros en suelo reforzado, sabemos que los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura. Mientras que, para refuerzo en estructuras de pavimento, los esfuerzos verticales generados por el tráfico, son disipadas en varias direcciones, por lo que el diseño de la geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal.

2.3.1.6.5. NORMAS DE ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE LAS GEOMALLAS

Las Geomallas Estructurales serán una estructura de malla integralmente formada, fabricada de polipropileno resistente a la tensión con peso molecular y características moleculares que generen:

- (a) Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural, cuando la Geomalla se someta a tensión mecánica durante la instalación.
- (b) Alta resistencia a la deformación cuando la Geomalla se someta a esfuerzos de trabajo
- (c) Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural, cuando la Geomalla se someta a condiciones medioambientales a largo plazo.

Las Geomallas Estructurales resistirán la aplicación de esfuerzos de trabajo por entramamiento mecánico positivo con:

- (a) Suelos compactados o materiales para relleno;
- (b) Secciones contiguas en traslapos y empotramientos en suelos compactados o materiales para relleno
- (c) Conectores mecánicos rígidos como bodkins, pasadores o ganchos.

Las Geomallas Estructurales tendrán rigidez flexura suficiente para lograr una instalación eficaz in-situ sobre suelos blandos o húmedos y la resistencia torsional suficiente para resistir el movimiento en el plano de suelos compactados o materiales para relleno, cuando éstos están sujetos a desplazamientos laterales rotacionales por la aplicación de cargas. Las Geomallas Estructurales presentarán completa continuidad de todas las propiedades a lo largo de su estructura y serán convenientes para el refuerzo de suelos compactados o materiales para relleno mejorando su capacidad de carga en aplicaciones como sistemas de mejoramiento de fundaciones (ver tabla 01). Las Geomallas Estructurales tendrán adicionalmente las características enlistadas en la siguiente tabla. Dichas características se obtuvieron de los ensayos: GRI-GG2-87, ASTM D5732-95, ASTM D5818, ASTM D6637, EPA 9090 de la norma americana (ver tabla 02).

(1) Según USCOE (Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos).

Tabla 1: *Propiedades de las geomallas estructurales*

PROPIEDAD	MÉTODO ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
			TIPO I	TIPO II
TAMAÑO DE ABERTURA: MD {Sentido Máquina} XD (Sentido Contrario Máquina)	ASTM D 4751	Pulg. Pulg.	1.0 nom. 1.3 nom.	1.0 nom. 1.3 nom.
ESPESOR: COSTILLA JUNTA	ASTM D 1777 - (64) ASTM D 1777-(64)	Pulg. Pulg.	0.03 nom. 0.11 nom.	0.05 nom. 0.16 nom.
MODULO INICIAL REAL EN USO: MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	226.4(15,170) 360.1 (24,685)	481.2(32,980) 652.5 (44,725)
CAPACIDAD A LA TENSION AL 2% DE ELONGACIÓN MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	4.09 (280) 6.57 (450)	5.98 (410) 9.78 (670)
CAPACIDAD A LA TENSION AL 5% DE ELONGACIÓN MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	8.46 (580) 13.42 (920)	11.82 (810) 19.55 (1,340)
CAPACIDAD DE LAS JUNTAS MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	11.2 (765) 17.1 (1,170)	17.2 (1,180) 25.9 (1,778)
RIGIDEZ FLEXURAL	ASTM D 1388 - 96 Opción A	Mg/cm	250,000	750,000
RIGIDEZ TORSIONAL	US PRELIMINAR	COE kg-cm/deg	3.2	6.5
RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN A LARGO PLAZO	EPA INMERSIÓN	900%	100	100

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y comunicaciones, 2002

Tabla 2: *Normatividad geomallas capas granulares*

NORMA	PROPIEDADES MECANICAS
ASTM D6637	Resistencia a la tensión 2% deformación (SL/T)(2)(*)
ASTM D6637	Resistencia a la tensión 5% deformación (SL/ST) (2) (*)
ASTM D6637	Resistencia a la tensión pico (SL/ST) (2) (*)
GRI-GG2	Eficiencia en los nodos (3) (*)
ASTM D6637	Rigidez flexural (4) (*)
US ARMY COE	Rigidez torsional (J) (5) (*)
NORMA	PROPIEDADES FISICAS
Medido	Tamaño de abertura (SL/ST) (2) (*)
CW 02215	Espesor de costillas (SL/ST) (2) (*)
ASTM D1777	Area abierta
ASTM D6637	Resistencia a los daños de instalación (6) (*)
ASTM D4355-05	Resistencia a la degradación a largo plazo (7)

Fuente: Beltrán B., 2013

2.3.1.6.6. DIMENSIONES Y DESPACHOS

Las Geomallas Estructurales se entregarán individualmente en el sitio de trabajo en forma de rollo, cada uno identificado y nominalmente midiendo 3.0 m (9.8 pies) ó 4.0 m (13.1 pies) de ancho y 75.0 metros (246,06 pies) de largo. Para pedidos especiales, las Geomallas Estructurales pueden ser cortadas a longitudes o anchuras determinadas para satisfacer los diseños de ingeniería específicos.

GEOMALLAS BIAXIALES

1.1.31. GENERALIDADES

Los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapa, los cuales están diseñados para absorber y disipar los esfuerzos generados por el tráfico, por lo general estas estructuras poseen capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores.

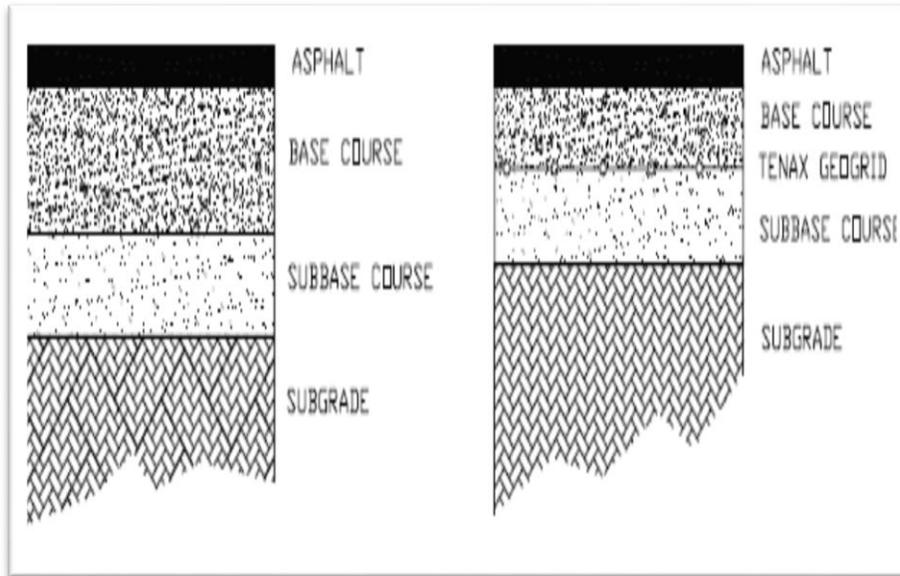
Tradicionalmente un pavimento flexible trabaja distribuyendo la carga aplicada hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante. Este tipo de pavimentos lo conforma una capa bituminosa apoyada sobre una capa de base que puede ser piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados (con cementos, cal o asfalto) y una de subbase con material de menor calidad. Existen diferentes metodologías de diseño para pavimentos flexibles incluyendo métodos empíricos, métodos limitando la fuerza de corte, métodos limitando la deflexión, métodos regresivos y métodos mecánicos - empíricos. El método AASHTO es un método de regresión basado en resultados empíricos obtenidos por la AASHTO Road Test en los años 50. Esta metodología es la empleada como punto de partida para el desarrollo de la inclusión de geomalla de refuerzo.

1.1.32. INTRODUCCIÓN

La metodología que se presenta a continuación se basa en la versión de 1993 del método de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO (ver ilustración 10). La cual ha sido modificada para explicar la contribución estructural de las geomallas biaxiales coextruídas,

según la investigación desarrollada por Filippo Montanelli, Aigen Zhao y Pietro Rimoldo, Ingenieros investigadores de TENAX CORP.

Ilustración 10: Sección típica de estructuras de pavimento asfáltico.



Fuente: Design of flexible road pavements with tenax geogrids

La modificación del método de la AASHTO empleando geomallas biaxiales coextruídas para refuerzo de pavimentos flexibles, se realizó con base en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo a escala real por los autores mencionados.

Los datos recolectados fueron analizados y con base a ellos se desarrolló una metodología aplicable a geomallas de alto módulo de tensión y caracterizadas por su capacidad de trabazón con los agregados y alta resistencia en sus juntas.

1.1.33. MECANISMOS DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS

A través de múltiples investigaciones (Giroud y Noiray, 1981; Giroud et al. 1985; Berg et al, 2000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes.

1.1.33.1. CONFINAMIENTO LATERAL DE LA BASE O SUBBASE

El cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. El confinamiento lateral de los materiales granulares, para nuestro caso, la sub-base granular, se desarrolla por la fricción y trabazón de las geomallas con el material granular (ver ilustración 11). Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla (Palma, 2012).

Ilustración 11: Confinamiento lateral generado por la geomalla en un material granular



Fuente: Tenax geomallas

1.1.33.2. MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE

Se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia.

Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto.

1.1.33.3. *MEMBRANA TENSIONADA*

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

Mediante el confinamiento lateral que es el mecanismo de mayor importancia se tienen los siguientes beneficios:

- Se restringe el desplazamiento lateral del material granular. Las geomallas permiten la interacción por cortante entre el material granular y estas. Cuando la subbase granular trata de desplazarse lateralmente, la carga por cortante es transmitida desde los agregados hacia la geomalla generando tensión en esta y por la alta rigidez de la geomalla se retarde el desarrollo de la deformación por tensión del material adyacente a esta, hecho que sucederá de manera continua en la zona donde se encuentra unos diferentes tipos de estructura. Menor deformación de la subbase o base granular se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía.
- Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una

adecuada interacción entre esta y la geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales dinámicas recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.

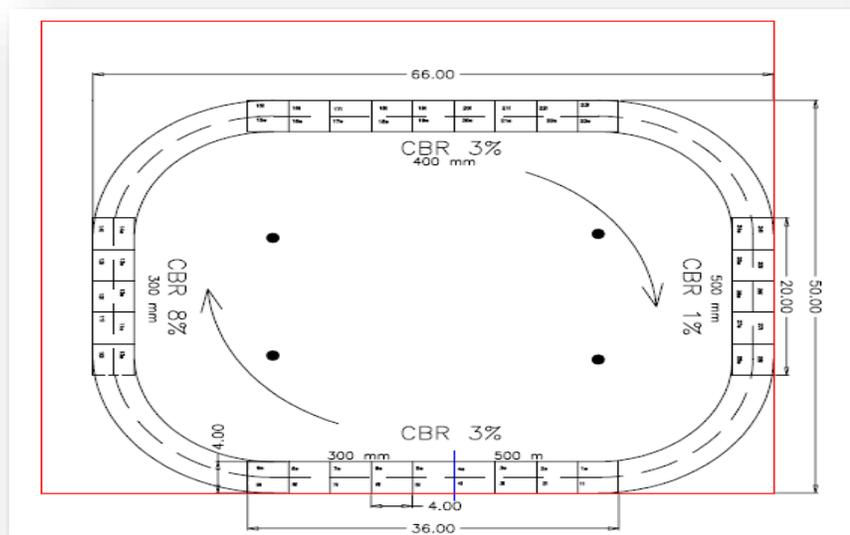
- Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante en sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o subbase resulta en una distribución de los esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante. En términos generales, el esfuerzo vertical en la subbase o subrasante directamente por debajo de la geomalla y de la carga aplicada debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base. Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.
- Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante la disminución de la deformación por corte transmitida desde la base o subbase hacia la subrasante a medida que el cortante de la base transmite las cargas tensionales hacia el refuerzo, sumado a los menores esfuerzos verticales genera un estado de esfuerzos menos severo que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante (Palma, 2012).

1.1.33.4. ENSAYO A ESCALA REAL DE UNA ESTRUCTURA REFORZADA CON GEOMALLA BIAXIAL COEXTRUÍDA

Las conclusiones y los resultados empíricos fueron obtenidos durante el análisis de una estructura de pavimento con secciones reforzadas y no reforzadas, utilizadas para realizar el ensayo de

pavimento a escala real. Las variables que se estudiaron fueron las siguientes: Resistencia de la subrasante (CBR), espesor de la capa de grava, tipo de geosintético, número de ejes equivalentes (ESAL). Para verificar la capacidad de refuerzo de la geomalla en la base, se construyó una vía con una sección de 210 m aplicando procesos de laboratorio para poder obtener datos confiables y reproducibles para mediciones “in situ” y para realizar la comparación entre secciones reforzadas y no reforzadas (ver ilustración 12). La vía es similar a un semi-óvalo que tiene secciones rectilíneas de 36 y 20 m de longitud y curvas con un radio de 17 m como se muestra en la figura.

Ilustración 12: Vista en plante de la sección de la vida utilizada en el ensayo.



Fuente: *Design of flexible road pavements with tenax geogrids*

Los bordes extremos de las curvas fueron realizados ligeramente dando un efecto de “parabólica” para facilitar el paso de los vehículos en las curvas evitando la desaceleración.

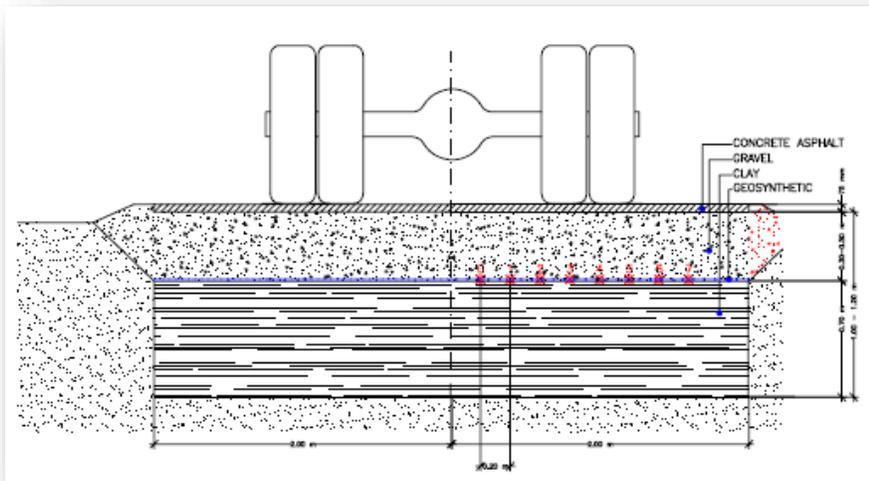
Para analizar varias condiciones, e tomaron diferentes valores de CBR en la subrasante (1%, 3% y 8%).

Las dimensiones de las capas de refuerzo fueron de 2.2 m por 4.6 m para dejar 0.20 m de traslapo a lo largo de la vía en el eje central y 0.30m de traslapo a lo ancho de la sección de la vía entre capas de refuerzo adyacentes. Más de 56 secciones diferentes fueron instaladas con y sin refuerzo, teniendo diferentes valores de resistencia en la subrasante, y espesores de base. Para la sección típica de la vía se excavó una zanja donde se colocó una subrasante de espesor 0.7 m y CBR de 1% ,3% y 8%. Posteriormente, se colocó la geomalla y por último se rellenó con espesores entre 0.3 m y 0.5 m con grava seleccionada y debidamente compactada. Para la capa de concreto asfáltico se mantuvo un espesor constante de 7.5 mm a lo largo de toda la sección de la vía.

Más de 160 ejes equivalentes fueron aplicados por un vehículo que transitaba en un sólo sentido. El vehículo seguía un camino definido por las líneas centrales demarcadas en la carpeta asfáltica, de esta forma se garantizaba que las llantas circularan siempre por el mismo lugar.

El vehículo utilizado en el ensayo, fue un camión estándar con eje Tándem en la parte trasera y un eje sencillo en la parte delantera. Los ejes fueron cargados con 90 KN y 45 KN respectivamente (ver ilustración 13). El camión mantenía una velocidad constante de 20 Km/h a lo largo de su trayecto, de esta forma cada vuelta era completada cada 60 segundos aproximadamente.

Ilustración 13: Vista en corte de la sección de la vía de ensayo.



Fuente: *Design of flexible road pavements with tenax geogrids*

Las conclusiones obtenidas en el ensayo de las secciones reforzadas y no reforzadas, fueron realizadas a través de gráficos (en función de la resistencia del suelo de la subrasante, número de ciclos y coeficiente de las capas) estos gráficos permiten a los Ingenieros diseñar correctamente, estructuras de pavimento flexible utilizando refuerzo con geomallas coextruídas. Los datos empíricos conseguidos se pueden aplicar exclusivamente a los tipos de geomalla TENAX aquí especificados:

- **Geomallas Tenax LBO SAMP** (geomallas rígidas con valores de esfuerzo y módulo de resistencia altas, caracterizadas por una excelente capacidad de efecto “interlock”)

Los tipos de geomalla considerados han sido divididos en dos clases basándose en los valores de su resistencia a la tensión:

- Tipo A, con un valor de resistencia a la tensión de 20 KN/m
- Tipo B, con un valor de resistencia a la tensión de 30 KN/m

En la siguiente tabla se listan las diferentes clases de geomalla TENAX de acuerdo a los tipos A y B (ver tabla 03).

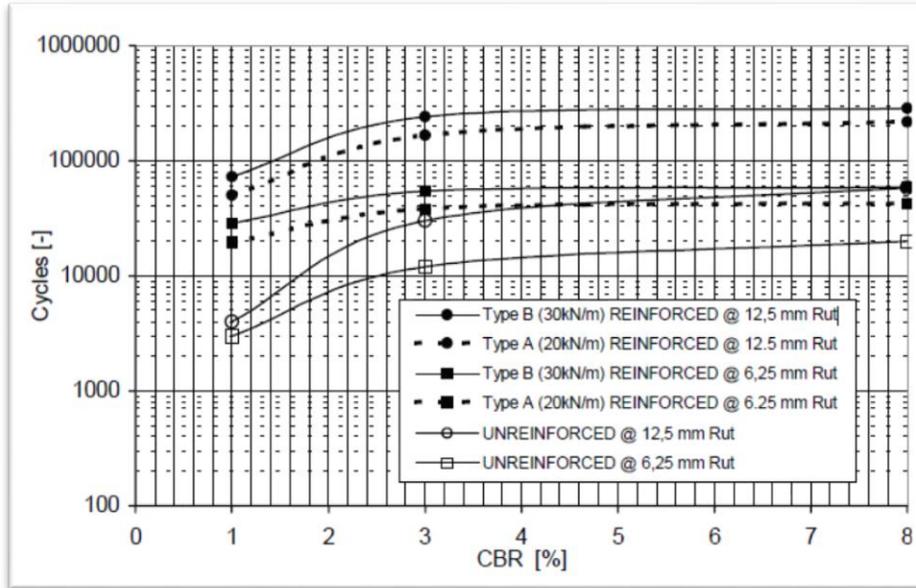
Tabla 3: Tipos de geomallas Tenax considerados para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles

TYPE A	TYPE B
Characteristic Tensile Strength 20KN/m	Characteristic Tensile Strength 30KN/m
LBO 210 SAMP – LBO 202 SAMP	LBO 301 SAMP
LBO 220 SAMP	LBO 330 SAMP
MS 220	MS 330 – MS 500

Fuente: Design of flexible road pavements with tenax geogrids.

En la figura se especifican las curvas de iso-deformaciones las cuales muestran el incremento en la vida útil de servicio de la vía con una estructura reforzada (ver ilustración 14). Por medio de esta gráfica se evalúa el aumento de la vida útil de diseño (en términos del incremento del número de pasadas) al instalarse una geomalla TENAX como refuerzo en la sección de la vía.

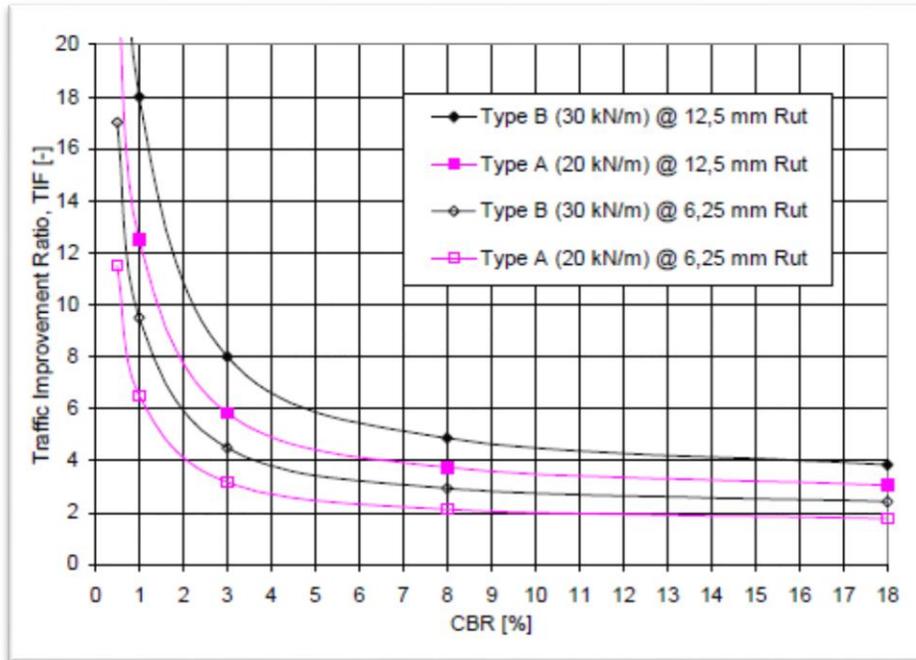
Ilustración 14: Curvas de iso-deformaciones (CBR Vs. Número de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas en el fondo de la vía).



Fuente: Design of flexible road pavements with tenax geogrids

En la siguiente figura se listan las curvas de Traffic Improvement Ratio (mejoramiento del índice de tráfico) provenientes de las geomallas TENAX determinadas anteriormente. El TIF (Traffic Improvement Ratio) es la proporción de número de ciclos de carga, en secciones reforzadas y no reforzadas aplicados en el fondo de la vía. El TIF para periodos de servicio largos, aumenta de forma considerable los valores de CBR y números estructurales bajos (ver ilustración 15).

Ilustración 15: Incremento del factor de Tráfico Vs. CBR para dos profundidades de ahuellamiento.



Fuente: Design of flexible road pavements with tenax geogrids

La siguiente sección contiene la metodología de diseño paso a paso para la estimación del número estructural requerido y el diseño de la estructura usando las ecuaciones del método AASHTO para pavimentos flexibles, y la introducción del Layer Coefficient Ratio (LCR) de la geomalla biaxial, el cual cuantifica la contribución estructural de la geomalla a la estructura de pavimento.

PAVIMENTO FLEXIBLE

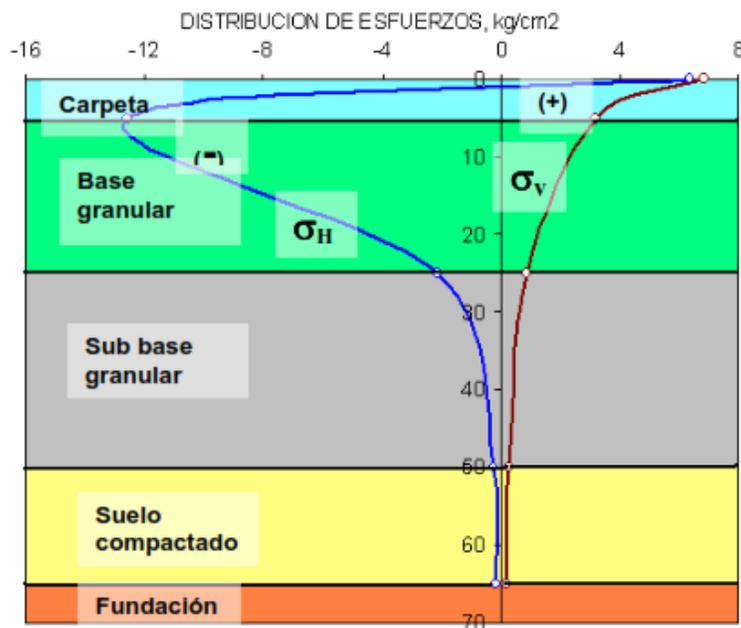
1.1.34. GENERALIDADES

La estructura que se apoya sobre el terreno de fundación o sub rasante, formado por capas de diferentes calidades y espesores además que obedecen a un diseño estructural se denominan pavimentos; una estructura típica del pavimento está formada por carpeta asfáltica y capas de material seleccionado colocadas sobre

sub rasante compactada y sub rasante natural, el objetivo es distribuir las cargas provenientes del tránsito, con el fin de que las presiones verticales sean menores a las admisibles por la estructura del pavimento. (Montejo Fonseca, 2006)

La llanta no solo genera esfuerzos verticales también horizontales, cabe señalar que una estructura de pavimento (carpeta asfáltica, base y sub base granular) los esfuerzos horizontales se disipan a través de la carpeta asfáltica, pasando de un valor positivo en la superficie hasta un negativo en su fibra inferior. (Ver ilustración 16)

Ilustración 16: Esquema de la distribución de esfuerzos en pavimentos típicos



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos.

1.1.35. SUB RASANTE

La sub rasante es definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento.” Alfonso Montejó Fonseca “ingeniería de pavimentos” 2006”

La capa sub rasante es quien otorga el espesor del pavimento a diseñar, el espesor está ligado con la calidad de la sub rasante. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento–retracción). Los cambios de volumen de un suelo de sub rasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar el problema es mediante la estabilización del suelo con algún aditivo, con cal o materiales adecuados, son suelos de preferencia granular con menos de tres por ciento de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR), que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentren en el tramo o sección que se esté trabajando y que, además, no sean adecuados para sub rasante.

De acuerdo a la capacidad de soporte de la sub rasante (CBR), se distinguen seis categorías: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

S0: Sub rasante Inadecuada $CBR < 3\%$

S1: Sub rasante Pobre $3\% \leq CBR < 6\%$

S2: Sub rasante Regular $6\% \leq CBR < 10\%$

S3: Sub rasante Buena $10\% \leq CBR < 20\%$

S4: Sub rasante Muy buena $20\% \leq CBR < 30\%$

S5: Sub rasante Extraordinaria $CBR \geq 30\%$

1.1.36. SUB-BASE

La sub-base es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento con el fin de que las sub rasantes las pueda soportar. (Torres, 2006)

Es una capa constituida por agregados pétreos convenientemente graduados y compactados, construida sobre la sub-rasante, y sobre la cual puede construirse la base cuando sea necesaria. Sus funciones son:

- ✓ Servir de drenaje al pavimento.
- ✓ Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub - rasante.
- ✓ Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos en épocas de helada.

Las sub bases deben de cumplir especificaciones detalladas en la Tabla 4.

Tabla 4: *Especificaciones Generales para Sub-bases.*

ENSAYO	< 3000 msnm	> 3000 msnm
CBR	50% máx.	50% máx.
ABRASIÓN LOS ANGELES	40% mín.	40% mín.
LIMITE LIQUIDO	25% máx.	25% máx.
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	6% máx.	4% máx.
EQUIVALENTE DE ARENA	25% mín.	35% mín.

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. TOMO I.

Según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. TOMO I, las Sub-bases son de 4 clases de gradación, el uso está sujeto a obligación contractual, además te indica que para zonas con altitud que sea igual o superior 3000 msnm se hará uso de la Gradación "A", sus características se pueden ver en Tabla

Tabla 5 *Granulometría de las diferentes Sub-bases.*

Tamiz	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100

9,5 mm.(3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. TOMO I

1.1.37. BASE

Esta capa absorbe los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub - base y por medio de esta el terreno de fundación. Por lo general en la capa base se emplea piedra triturada o chancada, grava o mezclas estabilizadas. Las bases pueden ser granulares, o bien estar constituidas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro ligante.

El material pétreo que se emplea en la base, debe tener los siguientes requisitos (Ver tabla 6).

Tabla 6: Especificaciones Generales para Bases – Aregado Grueso

ENSAYOS	< 3000 msnm	> 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturada	40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas o alargadas	15% máx.	15% máx.

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. TOMO I

Tabla 7: Especificaciones Generales para Bases – Aregado Fino

ENSAYOS	< 3000 msnm	> 3000 msnm
INDICE DE PLASTICIDAD	4% máx.	2% mín.
EQUIVALENTE DE ARENA	35% mín.	45% mín.

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. TOMO I

Según el MOP-001- F-2002. TOMO I las Bases de cumplir requisitos granulométricos según la gradación sea conveniente a usar en el proyecto (ver Tabla 8)

Tabla 8: *Granulometría de las diferentes Bases.*

Tamiz	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm.(3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. TOMO I*

1.1.38. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE

1.1.38.1. MÉTODO ASHHTO 93 DEL MANUAL DE CARRETERAS PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

El método ASHHTO desarrollado a finales de los años 50, ha tenido varias versiones de sus guías de diseño siendo la versión

del año 1993 la que se emplea actualmente para el diseño de pavimento (AASHTO, 1993)

Este método se ha optado, para el pre dimensionamiento de las secciones del pavimento, el procedimiento de diseño es el siguiente (COMUNICACIONES, 2013):

- ✓ Cálculo del Tráfico de diseño.
- ✓ Determinación del módulo resiliente efectivo de diseño.
- ✓ Cálculo del número estructural.
- ✓ Cálculo de los espesores de diseño.

a. Periodo de diseño

El periodo de Diseño para pavimentos flexibles de diseños será hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, periodo de diseños por dos etapas de 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años; el periodo de diseño será ajustado de acuerdo a las especificaciones del proyecto.

b. Variables

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

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

Desviación estándar normal *Desviación estándar global* *Número estructural*
Ejes equivalentes *Módulo de resiliencia*

A partir de esta ecuación se encuentran estas definiciones:

- ESAL, Numero Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 18000 lb (80 KN) para el periodo de diseño, corresponde al Número de Repeticiones de EE de 8.2tn.
- Módulo de Resilencia (Mr), es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante. La capacidad del suelo se mide mediante las pruebas de CBR y Módulo de Resilencia, dependiendo de los equipos disponibles. Para el cálculo del Módulo de Resilencia se efectuará la siguiente ecuación recomendada por MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide):

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

- Confiabilidad (%R), este criterio representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte durante el periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto en el diseño de la estructura del pavimento. La probabilidad de confiabilidad se encuentra en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento. Según AASHTO es suficiente considerar que el comportamiento del pavimento con el tráfico, sigue una ley de distribución normal, en consecuencia, pueden aplicarse conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada (AASHTO, 1993)

El Manual de Carretera Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos otorga valores recomendados de confiabilidad, como se detalla (Ver tabla 9 y tabla 10)

Tabla 9: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	<i>Tp0</i>	75,000	150,000	65.00%
	<i>Tp1</i>	150,001	300,000	70.00%
	<i>Tp2</i>	300,001	500,000	75.00%
	<i>Tp3</i>	500,001	750,000	80.00%
	<i>Tp4</i>	750,001	1,000,000	80.00%
Resto de Caminos	<i>Tp5</i>	1,000,001	1,500,000	85.00%
	<i>Tp6</i>	1,500,001	3,000,000	85.00%
	<i>Tp7</i>	3,000,001	5,000,000	85.00%
	<i>Tp8</i>	5,000,001	7,500,000	90.00%
	<i>Tp9</i>	7,500,001	10,000,000	90.00%
	<i>Tp10</i>	10,000,001	12,500,000	90.00%
	<i>Tp11</i>	12,500,001	15,000,000	90.00%
	<i>Tp12</i>	15,000,001	20,000,000	95.00%
	<i>Tp13</i>	20,000,001	25,000,000	95.00%
	<i>Tp14</i>	25,000,001	30,000,000	95.00%
	<i>Tp15</i>	>30000000		95.00%

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimento R.D. N° 10-2014-MTC/14

Tabla 10: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según el rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)		
				1era Etapa (1)	2da Etapa (2)	TOTAL (1)*(2)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	75,000	150,000	81%	81%	65.00%
	Tp1	150,001	300,000	84%	84%	70.00%
	Tp2	300,001	500,000	87%	87%	75.00%
	Tp3	500,001	750,000	89%	89%	80.00%
	Tp4	750,001	1,000,000	89%	89%	80.00%
Resto de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	92%	92%	85.00%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	92%	92%	85.00%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	92%	92%	85.00%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	95%	95%	90.00%
	Tp9	7,500,001	10,000,000	95%	95%	90.00%
	Tp10	10,000,001	12,500,000	95%	95%	90.00%
	Tp11	12,500,001	15,000,000	95%	95%	90.00%
	Tp12	15,000,001	20,000,000	97%	97%	95.00%
	Tp13	20,000,001	25,000,000	97%	97%	95.00%
	Tp14	25,000,001	30,000,000	97%	97%	95.00%
	Tp15	>30000000		97%	97%	97%

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimento R.D. N° 10-2014-MTC/14

- Desviación Estándar Normal (Zr), este coeficiente representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal, el Manual de Carreteras sugiere valores (Ver tabla 11)

Tabla 11: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el rango de Tráfico y Nivel de Confiabilidad.

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación Estándar Normal (Z_r)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	100,001	150,000	-0.385
	Tp1	150,001	300,000	-0.524
	Tp2	300,001	500,000	-0.674
	Tp3	500,001	750,000	-0.842
	Tp4	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	Tp7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	Tp9	7,500,001	10,000,000	-1.282
	Tp10	10,000,001	12,500,000	-1.282
	Tp11	12,500,001	15,000,000	-1.282
	Tp12	15,000,001	20,000,000	-1.645
	Tp13	20,000,001	25,000,000	-1.645
	Tp14	25,000,001	30,000,000	-1.645
	Tp15	>30000000		-1.645

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimento R.D. N° 10-2014-MTC/14

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

El Manual de Carreteras Suelos, Geotecnia y Pavimentos recomienda optar el valor de 0.45.

- Variación del Índice de Serviciabilidad (Δ PSI), indica la comodidad de circulación ofrecida al usuario. El índice de Serviciabilidad es directamente proporcional al deterioro de la vía, si esta decrece por deterioro, PSI también decrece. La variación del Índice de Serviciabilidad es la diferencia entre Serviciabilidad Inicial (vía recientemente construida, su índice según rango de tráfico de puede ver tabla 12) y Serviciabilidad Final o Terminal (vía que ha alcanzado algún tipo de rehabilitación o construcción, su índice según rango de tráfico de puede ver tabla 13).

Tabla 12: Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i) según el rango de Tráfico.

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i) Según Rango de Trafico
Caminos de Bajo Volumen de Transito	<i>Tp0</i>	100,001	150,000	3.80
	<i>Tp1</i>	150,001	300,000	3.80
	<i>Tp2</i>	300,001	500,000	3.80
	<i>Tp3</i>	500,001	750,000	3.80
	<i>Tp4</i>	750,001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	<i>Tp5</i>	1,000,001	1,500,000	4.00
	<i>Tp6</i>	1,500,001	3,000,000	4.00
	<i>Tp7</i>	3,000,001	5,000,000	4.00
	<i>Tp8</i>	5,000,001	7,500,000	4.00

	<i>Tp9</i>	7,500,001	10,000,000	4.00
	<i>Tp10</i>	10,000,001	12,500,000	4.00
	<i>Tp11</i>	12,500,001	15,000,000	4.00
	<i>Tp12</i>	15,000,001	20,000,000	4.20
	<i>Tp13</i>	20,000,001	25,000,000	4.20
	<i>Tp14</i>	25,000,001	30,000,000	4.20
	<i>Tp15</i>	>30000000		4.20

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimento R.D. N° 10-2014-MTC/14

Tabla 13: Índice de Serviciabilidad Final (Pf) según el rango de Tráfico.

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (PT) Según Rango de Trafico
Caminos de Bajo Volumen de Transito	<i>Tp0</i>	100,001	150,000	2.00
	<i>Tp1</i>	150,001	300,000	2.00
	<i>Tp2</i>	300,001	500,000	2.00
	<i>Tp3</i>	500,001	750,000	2.00
	<i>Tp4</i>	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	<i>Tp5</i>	1,000,001	1,500,000	2.50
	<i>Tp6</i>	1,500,001	3,000,000	2.50
	<i>Tp7</i>	3,000,001	5,000,000	2.50
	<i>Tp8</i>	5,000,001	7,500,000	2.50
	<i>Tp9</i>	7,500,001	10,000,000	2.50

	<i>Tp10</i>	10,000,001	12,500,000	2.50
	<i>Tp11</i>	12,500,001	15,000,000	2.50
	<i>Tp12</i>	15,000,001	20,000,000	3.00
	<i>Tp13</i>	20,000,001	25,000,000	3.00
	<i>Tp14</i>	25,000,001	30,000,000	3.00
	<i>Tp15</i>	>30000000		3.00

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimento R.D. N° 10-2014-MTC/14

c. Coeficiente de Aporte Estructural

Según AASHTO la ecuación SN no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria.

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

a_1, a_2, a_3 = coeficiente estructural de las capas superficial, base y subbase, respectivamente.

d_1, d_2, d_3 = espesores (cm) de las capas superficial, base y subbase, respectivamente.

m_1, m_2 = coeficiente de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

El manual de Carreteras otorga valores para coeficiente estructural y de drenaje (Ver tabla 14 y tabla 15).

Tabla 14: Coeficiente Estructural de las Capas de Pavimento a_i

Componente del pavimento	Coeficiente	Valor Coeficiente Estructural a_i (cm)	Observación
Capa Superficial			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a1	0.17 /cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a1	0.125 /cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Micropavimento 25mm	a1	0.13 /cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a1	0.25 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contra curvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm	a1	0.15 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considera por no tener aporte estructural			

BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.052 /cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 10'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.054 /cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $> 10'000,000$ EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a2	0.115 /cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a2	0.07 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a2	0.08 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a3	0.047 /cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a3	0.05 /cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $> 15'000,000$ EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimento R.D. N° 10-2014-MTC/14

Tabla 15: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m_1 para Bases y SubBases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

Calidad Del Drenaje	$P = \%$ del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercan a la saturación			
	Menor que 1%	1%-5%	5%-25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimento R.D. N° 10-2014-MTC/14

1.1.38.2. MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLA COEXTRUIDAS

La contribución de la geomalla en la estructura de un sistema de pavimentos flexibles puede cuantificarse con el incremento al esfuerzo del coeficiente de la capa de la base de la vía.

Por lo anterior, se presenta la ecuación:

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

Donde LCR tiene un valor superior a uno. Este valor es determinado basándose en los resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de las geomallas, como se describe en la siguiente ecuación. SN r

(número estructural de la sección reforzada) y SN_u (número estructural de la sección no reforzada) utilizados en la ecuación fueron evaluados bajo condiciones de pavimento iguales. Por ejemplo, igual profundidad de la base, valor de CBR en subrasante, profundidad de ahuellamiento, pero utilizando diferentes períodos de vida de servicio.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2 D_2} + 1$$

Basándose en la ecuación se puede calcular el valor de LCR el cual se obtuvo de los ensayos realizados a la sección típica de la vía. En la Figura 6.9 se presenta el LCR basado en los ensayos de pavimentos empíricos con y sin refuerzo de geomallas. El valor de LCR oscila entre 2 a 1.5 dependiendo básicamente del valor de CBR de la subrasante, ESAL y profundidad de ahuellamiento de la vía.

La contribución estructural de la geomalla de refuerzo es casi constante cuando el valor de CBR de la subrasante es superior a 3% mientras que para un valor de 1% en el CBR de la subrasante la contribución estructural de la geomalla es significativamente más alta.

La reducción en espesor de la base puede ser evaluada con el uso de una geomalla asumiendo que no existe una capa de sub-base.

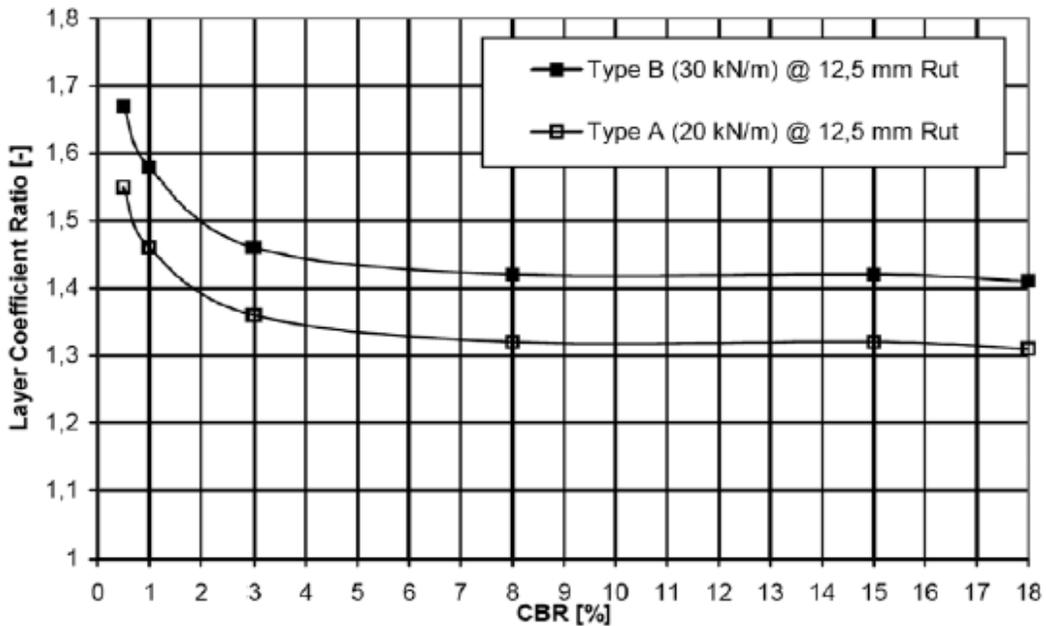
$$D_2 = \frac{SN_r - a_1 D_1 m_2}{LCR a_2 m_2}$$

Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación,

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2}{a_1}$$

Usando el siguiente gráfico de diseño es posible calcular el espesor de D2 de la base en una vía reforzada en pavimentos flexibles. De acuerdo a los valores (D 1, a 1, D 2, a 2, m 2) de una sección no reforzada es posible determinar el SN (número estructural) ara una sección reforzada considerando que el CBR de la subrasante es proporcional al valor de LCR dado la gráfica de diseño. Posteriormente puede determinarse el espesor D 2 (Ahorro relativo en costos) para un refuerzo de vía en pavimentos flexibles.

Ilustración 17: LCR vs. CBR de la subrasante.



Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

COSTOS EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

1.1.39. COSTOS DIRECTOS

Costo directo es la sumatoria de la mano de obra, equipos, herramientas y materiales necesarios para la realización de un proceso productivo (Ibañez, 2011).

Nuestro producto es una carretera en construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento en donde existen un sin número de actividades que se ejecutan en base a las especificaciones técnicas, planos y diversos estudios propios de este producto. Saber cuál es el costo directo de una carretera es sencillo si se tienen los metrados y los costos unitarios de cada una de las partidas (actividades). Los metrados varían de acuerdo a la magnitud de la obra y los costos unitarios se calculan mediante un análisis bien detallado. Los costos unitarios pueden representarse por la siguiente fórmula matemática.

$$C.U. = Mj + Ne + Oh + Pm$$

Donde:

j, e, h, m : son variables (costo de mano de obra, equipo, herramientas y materiales)

M, N, O, P : son variables condicionadas (cantidades, consumidas de mano de obra, equipo, herramientas y materiales)

Las variables condicionadas pueden convertirse en constantes para una obra específica o para un rango de obras promedio.

a. Mano de obra

El costo de la mano de obra está determinado por categorías (capataz, operario, oficial y peón)

Si bien es cierto que el gobierno ha unificado el jornal básico para todos los departamentos del Perú, el costo de la mano de obra varia conforme a la dificultad o facilidad de la realización de la obra, el riesgo o la seguridad en el proceso constructivo, las condiciones climáticas, costumbres locales, etc.

El costo de la mano de obra es la sumatoria de los siguientes rubros que están sujetos a las disposiciones legales vigentes.

- Jornal básico
- Leyes sociales
- Bonificaciones

Categorías de los trabajadores de construcción civil

El D.S. de fecha 02-03-45 establece las categorías de los trabajadores de construcción civil, asimismo las labores que deben realizar cada uno de ellos.

OPERARIO

Son los albañiles, carpinteros, tierreros, pintores, electricistas, gasfiteros, plomeros, almaceneros, chóferes, mecánicos, y demás trabajadores calificados en una especialidad en el ramo. En esta misma categoría se consideran a los maquinistas que desempeñan las funciones de los operarios mezcladores, concreteros, wincheros, etc.

OFICIAL

Son los trabajadores que realizan las mismas actividades que los operarios, pero en calidad de ayudantes o auxiliares.

Los guardianes están considerados en esta categoría. Los trabajadores oficiales son aquellos que no han alcanzado calificación en el tramo de una especialidad; no pudiendo ejecutar los trabajos que correspondan a operarios. Los trabajadores que efectuarán los oficiales serán de pañeteado para tarrajeo, asentado de ladrillos pasteleros en la rama de albañilería. En carpintería, los oficiales efectuarán los trabajos de desencofrado.

PEON

Los trabajadores no calificados que son ocupados indistintamente en diversas tareas de la industria de la construcción.

CAPATAZ

En lo que respecta a capataces no existe ningún dispositivo legal que establece su categoría como tal. Pero se puede clasificar de la siguiente forma:

- **Capataz A**

Se refiere al capataz general de la obra

- **Capataz B**

Los trabajadores que dirigen las cuadrillas optimas en materia de concretos, encofrados, armaduras, pavimentos, excavaciones con utilización de explosivos y excavaciones especiales.

- Capataz C

Los trabajadores que dirigen las cuadrillas optimas en materia de movimiento de tierras y obras preliminares.

Ingeniero Jorge Blanco nos otorga el costo de valor de hora hombre para afiliados al SPP para obreros en condiciones normales (ver ilustración 18)

Ilustración 18: Esquema de la distribución de esfuerzos en pavimentos típicos

CÁLCULO DEL VALOR DE LA HORA HOMBRE DEL 01/06/2015 AL 31/05/2016 PARA OBREROS AFILIADOS AL SPP														
INGRESOS PARA OBREROS EN CONDICIONES NORMALES		Operario	Oficial	Peón	Operador Equipo Mediano	Operador Equipo Pesado	Operador Electromecánico	Topografo						
Jornal Básico	JB	S/. 58.60	S/. 48.50	S/. 43.30	S/. 58.60	S/. 58.60	S/. 58.60	S/. 58.60						
Bonificaciones														
Bonificación Unificada de Construcción	BUC 32%	S/. 18.75	30% S/. 14.55	30% S/. 12.99	32% S/. 18.75	32% S/. 18.75	32% S/. 18.75	32% S/. 18.75						
Bonificación por Alta Especialización	BAE 0%	S/. -	0% S/. -	0% S/. -	8% S/. 4.69	10% S/. 5.86	15% S/. 8.79	9% S/. 5.27						
Bonificación por Movilidad ⁽¹⁾		S/. 7.20	S/. 7.20	S/. 7.20	S/. 7.20	S/. 7.20	S/. 7.20	S/. 7.20						
Leyes Sociales														
Sobre el Jornal Básico	123.82%	S/. 72.56	123.82% S/. 60.05	123.82% S/. 53.61	123.82% S/. 72.56	123.82% S/. 72.56	123.82% S/. 72.56	123.82% S/. 72.56						
Sobre las Bonificaciones Afectas	13.00%	S/. 2.44	13.00% S/. 1.89	13.00% S/. 1.69	13.00% S/. 3.05	13.00% S/. 3.20	13.00% S/. 3.58	13.00% S/. 3.12						
Overol		S/. 0.53	S/. 0.53	S/. 0.53	S/. 0.53	S/. 0.53	S/. 0.53	S/. 0.53						
ESSALUD Vida		S/. 0.20	S/. 0.20	S/. 0.20	S/. 0.20	S/. 0.20	S/. 0.20	S/. 0.20						
Costo Diario	Día	S/. 160.28	S/. 132.92	S/. 119.52	S/. 165.58	S/. 166.90	S/. 170.21	S/. 166.23						
Costo por hora-hombre	HH	S/. 20.04	S/. 16.62	S/. 14.94	S/. 20.70	S/. 20.86	S/. 21.28	S/. 20.78						

⁽¹⁾ La Bonificación por Movilidad no genera ningún beneficio social

Fuente: Ingeniero Jorge Blanco

b. Materiales

En la ejecución de una carretera se integran materiales semi elaborados, elaborados, mano de obra, herramientas y equipos.

El costo de los materiales necesarios para la construcción de carreteras, son componentes básicos dentro de un Análisis de costos unitarios. No deberán incluir el Impuesto general a las ventas (IGV), asimismo deberán ser determinados teniendo en cuenta los gastos que se requiere para ser colocados al pie de la obra, por tal razón el

costo utilizado además de su costo exfabrica, debe ser incrementado con los siguientes rubros:

- Costo de flete
- Costo de manipuleo
- Costo de almacenamiento
- Costo por mermas
- Costo de viáticos

COSTO DE FLETE

El flete es el costo del transporte desde su lugar de fabricación o expendido hasta el almacén de la obra, el mismo que deberá ser ubicado en el centro de gravedad de la Obra. Para calcular el costo del flete debe aplicar los dispositivos legales vigentes (a la fecha que se van a elaborar los costos unitarios) del que son publicados en el diario Oficial “El Peruano”

Para el cálculo de los fletes se emplea la publicación de las Normas legales del Diario Oficial “El Peruano”, Pág. 315450 - Pág. 315456, donde se aprueba el Decreto Supremo N° 010-2006-MTC, que aprobó la Tabla de Valores Referenciales para la aplicación del Sistema de pago de Obligaciones Tributarias en el servicio de Transporte de Bienes realizados por Vía Terrestre.

MANIPULEO

Manipular materiales es recoger y depositar, mover en un plano horizontal o vertical o ambos casos a la vez y por cualquier medio, materiales o productos de cualquier clase en estado bruto semi acabado o completamente acabado.

Calcular el costo de manipuleo de materiales es complicado debido a que realmente se necesita un análisis bien profundo para cada uno de los materiales necesitados, que el trato es diferente.

ALMACENAMIENTO

Almacenar es un servicio auxiliar en la construcción de las obras. Sus deberes son:

1. Recibir, para su salvaguarda y protección, todos los materiales necesarios para la construcción vial.
2. Proporcionar materiales y suministros, mediante solicitudes autorizados por el Ingeniero Residente.
3. Llevar los registros de almacén necesarios
4. Hacerse cargo de los materiales en el curso de la construcción
5. Mantener el almacén limpio y en orden, teniendo un lugar para cada cosa y manteniendo cada cosa en su lugar.

Según el libro de Walter Ibáñez el costo de almacenamiento se estima en un monto no mayor del 2% del costo del material.

MERMAS Y DESPERDICIOS

Merma es la porción de un material que se consume naturalmente. Desperdicios son pérdidas irre recuperables e inutilizables de los materiales, desechos. Se presentan en el proceso de transporte desde el centro abastecedor hasta el

almacén de la obra, en el proceso constructivo, etc., en fin son costos que deben de considerarse dentro del costo de un material. Según el libro de Costos y tiempos en Carreteras de Walter Ibáñez se considera el 5% del costo del material en el centro abastecedor (para aquellas que lo requieran).

VIÁTICOS

Es la subvención por concepto de gastos de viaje, que se le abona al personal de seguridad que salvaguarda el transporte de explosivos (dinamita, fulminante, guía, etc.) a la obra. Para fines de cálculo se considera el 30% del precio del material en el centro abastecedor.

c. Equipos

Este es un elemento muy importante y tiene una gran incidencia en el costo de las carreteras, sobre todo en las actividades de movimiento de tierra y pavimentos.

Para calcular el costo de alquiler horario de los equipos hay que tener presente dos elementos fundamentales.

- *Costo de posesión.*- Donde incluye depreciaciones, intereses, capital, obligaciones tributarias, seguros, etc.
- *Costo de operación.*- Donde incluye combustibles, lubricantes, filtros, neumáticos, mantenimiento, operador y elementos de desgaste

ALQUILER DE EQUIPO MECÁNICO

El costo de alquiler horario mecánico, para los diversos proyectos de carretera debe estar determinado por la oferta y la demanda, pero con fines de ilustración.

A continuación vamos a transcribir la tarifa de equipo mecánico aprobado por el comité técnico conformado por profesionales de la Cámara Peruana de la Construcción y del Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Tabla 16: Tarifa Técnica de equipo mecánico para la industria. (Costo expresado en Soles y sin IGV)

N°	Equipo	Potencia	Capacidad	Peso (Kg)	Vida Útil Años	VPI (n+1)/Zn	Vida Útil Horas	Valor de Adquisición			Valor Residual		Costo de Posesión Total (A)	Costo Operación Total (B)	Costo Horario (A+B)
								US	S/.	%	S/.				
Equipos para Perforación															
1	Compresoras Neumáticas	44 HP	PCM	845	6	0.58	12,000	27,399	90,417	16	14,466.67	13.18	31.69	44.87	
2	Compresoras Neumáticas	76 HP	125-175 PCM	1,515	6	0.58	12,000	27,400	90,420	17	15,371.40	13.11	41.38	54.49	
3	Compresoras Neumáticas	120 HP	PCM	1,800	6	0.58	12,000	38,900	128,370	17	21,822.90	18.6	58.18	76.78	
4	Compresoras Neumáticas	150 HP	PCM	3,500	6	0.58	12,000	61,000	210,300	17	34,221.00	29.18	72.65	101.83	
5	Compresoras Neumáticas	196 HP	PCM	5,000	6	0.58	12,000	47,000	155,400	17	26,367.00	22.47	82.34	104.81	
6	Compresoras Neumáticas	223 HP	PCM	4,688	6	0.58	12,000	68,500	226,050	17	38,428.50	32.77	97.44	130.21	
7	Compresoras Neumáticas	240 HP	700-800 PCM	6,500	6	0.58	12,000	72,500	239,250	17	40,672.50	34.69	104.36	139.05	
8	Martillos Neumáticos		KG	24	1.5	0.83	3,000	2,300	7,590	8	607.20	3.16	2.53	5.69	
9	Martillos Neumáticos		KG	29	1.5	0.83	3,000	2,500	8,250	8	660.00	3.42	2.75	6.17	
10	Motoperforadora	1400 RPM	185 CC	26	2	0.75	3,000	4,974	16,413	8	1,313.03	7.16	5.47	12.63	
11	Perforadora sobre orugas		660-690 PCM	6,000	6	0.58	12,000	145,000	478,500	25	119,625.00	66.22	51.29	117.51	
Equipos para movimiento de Tierra															
12	Cargadores sobre oruga	110-135 HP	2.0-2.25 Yd3	16,275	6	0.58	12,000	196,250	647,625	25	161,906.25	88.63	104.84	193.47	
13	Cargadores sobre oruga	150-180 HP	2.0-2.75 Yd3	18,387	6	0.58	12,000	219,100	723,030	25	180,757.50	100.06	123.42	223.48	
14	Cargadores sobre oruga	190-335 HP	3.2-3.75 Yd3	25,173	6	0.58	12,000	346,229	1,142,556	25	285,638.93	158.12	168.79	326.91	
15	Cargadores sobre oruga	245 HP	4.0-6.0 Yd3	28,000	6	0.58	12,000	420,000	1,386,000	25	346,500.00	191.81	203.07	394.88	
16	Cargadores Retroexcavador	62 HP	1 Yd3	8,000	5	0.60	10,000	84,000	277,200	25	69,300.00	42.4	59.88	102.28	
17	Cargadores sobre llantas	80-95 HP	1.0-1.75 Yd3	9,031	5	0.60	10,000	140,000	462,000	25	115,500.00	70.47	86.74	157.21	
18	Cargadores sobre llantas	100-115 HP	2.0-2.35 Yd3	10,308	5	0.60	10,000	88,602	292,387	25	73,096.65	44.76	74.78	119.54	
19	Cargadores sobre llantas	100-125 HP	2.5 Yd3	11,500	5	0.60	10,000	130,446	430,472	25	107,617.95	65.9	90.12	156.02	
20	Cargadores sobre llantas	125-155 HP	3.0 Yd3	16,584	5	0.60	10,000	160,000	528,000	25	132,000.00	80.58	109.3	189.88	
21	Cargadores sobre llantas	160-195 HP	3.5 Yd3	18,585	5	0.60	10,000	180,000	594,000	25	148,500.00	90.57	127.38	217.95	
22	Cargadores sobre llantas	200-250 HP	4.0-4.1 Yd3	20,826	6	0.58	12,000	238,000	785,400	25	196,350.00	108.32	148.51	256.83	
23	Cargadores sobre llantas	200-260 HP	4.6 Yd3	22,000	6	0.58	12,000	338,000	1,115,400	25	278,850.00	153.99	177.46	331.45	
24	Cargadores sobre llantas	260-300 HP	5.0-5.50 Yd3	31,105	6	0.58	12,000	518,000	1,709,400	25	427,350.00	236.19	241.5	477.69	
25	Cargadores sobre llantas	375 HP	8.0 Yd3	49,738	6	0.58	12,000	542,338	1,789,715	25	447,428.85	247.3	275.19	522.49	
26	Retroexc. Sobre Orugas	58 HP	0.50-1.3 Yd3	9,000	5	0.60	10,000	84,000	277,200	25	69,300.00	42.38	58.78	101.16	
27	Retroexc. Sobre Orugas	80-110 HP	0.75-1.60 Yd3	17,300	5	0.60	10,000	131,080	432,564	25	108,141.00	66.21	84.9	151.11	
28	Retroexc. Sobre Orugas	115-165 HP	1.10-2.75 Yd3	23,400	5	0.60	10,000	199,000	656,700	25	164,175.00	100.52	121.31	221.83	
29	Retroexc. Sobre Orugas	170-250 HP	2.0-3.8 Yd3	33,800	5	0.60	10,000	338,000	1,115,400	25	278,850.00	170.73	188.43	359.16	
30	Retroexc. Sobre Orugas	325 HP	Yd3	61,600	5	0.60	10,000	475,000	1,567,500	25	391,875.00	239.92	266.55	506.47	
31	Tractores sobre Orugas	60-70 HP		6,711	5	0.60	10,000	121,000	399,300	25	99,825.00	61.12	72.84	133.96	
32	Tractores sobre Orugas	75-100 HP		9,090	5	0.60	10,000	138,000	455,400	25	113,850.00	69.71	85.14	154.85	
33	Tractores sobre Orugas	105-135 HP		12,300	5	0.60	10,000	266,000	877,800	25	219,450.00	134.36	137.6	271.96	
34	Tractores sobre Orugas	140-160 HP		14,900	5	0.60	10,000	338,000	1,115,400	25	278,850.00	170.73	170.17	340.90	

35	Tractores sobre Orugas	190-240 HP		20,520	6	0.58	12,000	420,000	1,386,000	25	346,500.00	191.81	193.93	385.74
36	Tractores sobre Orugas	270-295 HP		21,863	7.5	0.57	15,000	587,000	1,937,100	25	484,275.00	239.67	226.48	466.15
37	Tractores sobre Orugas	335-410 HP		37,170	7.5	0.57	15,000	737,189	2,432,724	25	608,180.93	300.99	286.51	587.50
38	Tractores sobre Orugas	650 HP		70,320	7.5	0.57	15,000	1,251,205	4,128,977	25	1,032,244.13	510.85	438.24	949.09
39	Tractores sobre Orugas	200-250 HP		20,500	5	0.60	10,000	375,000	1,237,500	25	309,375.00	188.96	206.65	395.61
40	Tractores sobre Orugas	300-350 HP		30,380	5	0.60	10,000	586,000	1,933,800	25	483,450.00	295.08	306.57	601.65
41	Tractores sobre Orugas	400-450 HP		46,355	5	0.60	10,000	911,288	3,007,250	25	751,812.60	459.3	452.85	912.15
Equipo de Compactación														
42	Vibrador de concreto	4 HP	1.25 Plg.		2	0.75	4,000	1,700	5,610	8	448.80	1.84	1.48	3.32
43	Vibrador de concreto	4 HP	1.5 Plg.		2	0.75	4,000	1,750	5,775	8	462.00	1.89	1.52	3.41
44	Vibrador de concreto	4 HP	2.4 Plg.		2	0.75	4,000	1,850	6,105	8	488.40	1.99	1.61	3.60
45	Compactador Vib. Tipo Plancha	4 HP		95	2	0.75	4,000	2,100	6,930	8	554.40	2.27	11.51	13.78
46	Compactador Vib. Tipo Plancha	5.8 HP		145	2	0.75	4,000	2,200	7,260	8	580.80	2.38	11.6	13.98
47	Rod. Liso Vibrat. Manual	10.8 HP	0.8-1.1 Tn.	800	5	0.60	10,000	14,500	47,850	25	11,962.50	7.33	14.57	21.90
48	Rodillo Vib. Liso Autopropulsado	101-135 HP	10-12 Tn.	11,100	5	0.60	10,000	113,000	372,900	25	93,225.00	56.77	85.84	142.61
49	Rodillo Vib. Liso Autopropulsado	136-170 HP	15-17 Tn.	13,700	5	0.60	10,000	150,000	495,000	25	123,750.00	75.46	108.24	183.70
50	Rodillo Neumático Autopropulsado	81-100 HP	5.5-20 Tn.	5,500	6	0.58	12,000	150,000	495,000	25	123,750.00	68.43	81.74	150.17
51	Pata de Cabra Vib. Auto	100-135 HP	11-13 Tn.	11,300	6	0.58	12,000	133,000	438,900	25	109,725.00	60.5	86.05	146.55
52	Pata de Cabra Vib. Auto	136-180 HP	15-17 Tn.	15,300	6	0.58	12,000	185,000	610,500	25	152,625.00	84.24	112.4	196.64
Equipo para Obras de Concreto														
53	Dosificadora Concreto	M.E. 40	50 M3/Hr.	17,000	10	0.55	20,000	96,200	317,460	25	79,365.00	34.62	27.6	62.22
54	Dosificadora Concreto	M.E. 45	50-90 M3/Hr.	20,000	10	0.55	20,000	148,400	489,720	25	122,430.00	53.4	36.22	89.62
Equipo para Refine y Afirmando														
55	Motoniveladora	125 HP		11,515	7.5	0.57	15,000	201,000	663,300	25	165,825.00	81.99	96.15	178.14
56	Motoniveladora	130-135 HP		12,365	7.5	0.57	15,000	216,000	712,800	25	178,200.00	88.12	101.78	189.90
57	Motoniveladora	145-150 HP		13,540	7.5	0.57	15,000	262,000	864,600	25	216,150.00	106.9	116.25	223.15
58	Motoniveladora	180-200 HP		18,370	7.5	0.57	15,000	281,000	927,300	25	231,825.00	114.54	132.92	247.46
Vehículos														
59	4x4 Pick-up Cabina Simple	148 HP	3 Pasaj.	2,740	4	0.63	8,000	19,916	65,722.80	25	16,430.70	11.48	66.49	77.97
60	4x4 Pick-up Cabina Simple	84 HP	5 Pasaj.		4	0.63	8,000	15,630	51,579	25	12,894.75	8.99	45.29	54.28
61	4x4 Pick-up Cabina Simple	54 HP	5 Pasaj.		4	0.63	8,000	16,891	55,740	25	13,935.08	9.72	45.81	55.53
62	Camion Imprimador	210 HP	200 gln.	13,500	6	0.58	12,000	75,281	248,427	25	62,106.83	34.36	97.84	132.20
63	Semi-trailer 6x4	330 HP	36 Tn.	42,600	6	0.58	12,000	94,000	310,200	25	77,550.00	42.87	139.1	181.97
64	Semi-trailer 6x4	330 HP	40 Tn.	54,420	6	0.58	12,000	94,000	310,200	25	77,550.00	42.85	139.19	182.04
65	Volquete 6x4	330 HP	10 M3	26,000	6	0.58	12,000	82,000	270,600	25	67,650.00	37.34	135.99	173.33
66	Volquete 6x4	330 HP	15 M3	26,000	6	0.58	12,000	105,000	346,500	25	86,625.00	47.86	142.32	190.18
Equipo Diverso														
67	Grupo electrógeno	380 HP	250 Kw	2,700	6	0.58	12,000	41,000	135,300	25	33,825.00	18.73	126.31	145.04
68	Grupo electrógeno	480 HP	300 Kw	3,500	6	0.58	12,000	43,000	141,900	25	35,475.00	19.64	156.75	176.39
69	Montacargas	68 HP	3000 Kls	5,200	5	0.60	10,000	30,440	100,452	25	25,113.00	15.35	41	56.35
70	Montacargas	80 HP	5000 kls	8,150	5	0.60	10,000	50,000	165,000	25	41,250.00	25.23	50.95	76.18
71	Montacargas	94 HP	7500 Kls	9,150	5	0.60	10,000	68,000	224,400	25	56,100.00	34.32	60.96	95.28
Equipos komatsu														
72	Tractor sobre Orugas	155 HP	3.4		5	0.60	10,000	225,301	743,493	25	185,873.33	113.8	134.43	248.23
73	Tractor sobre Orugas	190 HP	3.8		5	0.60	10,000	294,299	971,187	25	242,796.68	123.87	151.19	275.06
74	Tractor sobre Orugas	310 HP	8.8		5	0.60	10,000	513,483	1,694,494	25	423,623.48	172.9	138.75	311.65
75	Motoniveladora	135 HP			7.5	0.57	15,000	156,004	514,813	25	128,703.30	63.63	89.17	152.80
76	Motoniveladora	160 HP			7.5	0.57	15,000	202,233	667,369	25	166,842.23	82.5	106.6	189.10
77	Motoniveladora	190 HP			7.5	0.57	15,000	221,909	732,300	25	183,074.93	90.42	119.92	210.34
78	Motoniveladora	200 HP			7.5	0.57	15,000	257,091	848,400	25	212,100.08	104.78	130.58	235.36
79	Excavadora sobre Orugas	168 HP	1.2		5	0.60	10,000	261,569	863,178	25	215,794.43	132.12	150.18	282.30
80	Excavadora sobre Orugas	242 HP	1.8		5	0.60	10,000	310,926	1,026,056	25	256,513.95	157.05	188.31	345.36
81	Excavadora sobre Orugas	330 HP	2.5		5	0.60	10,000	416,429	1,374,216	25	343,553.93	210.34	250.12	460.46
82	Excavadora sobre Orugas	385 HP	3.5		5	0.60	10,000	578,164	1,907,941	25	476,985.30	292.04	318.05	610.09
83	Minicargador	70 HP	0.5		6	0.58	12,000	56,217	185,516	25	46,379.03	25.65	50.08	75.73
84	Cargadores sobre llantas	187 HP	3.5		6	0.58	12,000	217,773	718,651	25	179,662.73	118.89	142.9	261.79
85	Cargadores sobre llantas	261 HP	4.0		6	0.58	12,000	300,065	990,215	25	247,553.63	136.66	175.77	312.43
86	Retroexcavadora	87 HP	1.0		5	0.60	10,000	93,587	308,837	25	77,209.28	47.27	70.2	117.47
87	Rodillo liso	150 HP	10 TN		5	0.60	10,000	115,623	381,556	25	95,388.98	58.41	96.23	154.64
88	Rodillo pata de cabra	150 HP	10 TN		6	0.58	12,000	133,128	439,322	25	109,830.60	60.56	95.41	155.97
Equipos Productores de agregados														
89	Chancadora primaria 15x24"	M.E. 30	46-70 Tn/Hr	19,000	10	0.55	20,000	119,487	394,307	25	98,576.78	43	34.61	77.61
90	Chancadora Primaria 30x42"	M.E. 150		21,000	10	0.55	20,000	551,682	1,820,551	25	455,137.65	198.54	104.92	303.46
91	Chancadora Secundaria 24" S	M.E. 30	46-70 Tn/Hr	22,000	10	0.55	20,000	197,874	652,984	25	163,246.05	71.2	47.55	118.75
92	Chancadora Secundaria 36" S	M.E. 75	46-70 Tn/Hr	23,000	10	0.55	20,000	220,871	728,874	25	182,218.58	79.48	51.34	130.82
93	Chancadora Secundaria c/cono 4 1/4"	M.E. 200			10	0.55	20,000	289,608	955,706	25	238,926.60	104.22	61.68	165.90
94	Chancadora Cónica + Zaranda	200 HP			10	0.55	20,000	629,364	2,076,901	25	519,225.30	226.5	117.73	344.23
Equipos para pavimentación														
95	Cocina de Asfalto		320 Gln	2,100	5	0.60	10,000	3,814	12,586	25	3,146.55	38.68	38.68	77.36
96	Planta de Asfalto en Caliente		46-70 Tn/Hr	46,800	10	0.55	20,000	752,307	2,482,613	25	620,653.28	1213.61	1213.61	2427.22
97	Planta de Asfalto en Caliente (Cifalli)		46-70 Tn/Hr		10	0.55	20,000	1,273,783	4,203,484	25	1,050,870.98	1658.34	1658.34	3316.68
98	Pavimentadora sobre Orugas		10	12,000	10	0.55	20,000	232,756	768,095	25	192,023.70	82.97	82.97	165.94
99	Pavimentadora sobre Orugas		10	12,000	10	0.55	20,000	472,000	1,557,600	25	389,400.00	156.5	156.5	313.00
100	Recicladora en frío		295 Kw	22,900	7.5	0.57	15,000	735,441	2,426,955	25	606,738.83	365.46	365.46	730.92
101	Fresadora		421 Kw	30,000	7.5	0.57	15,000	884,265	2,918,075	25	729,518.63	460.88	460.88	921.76

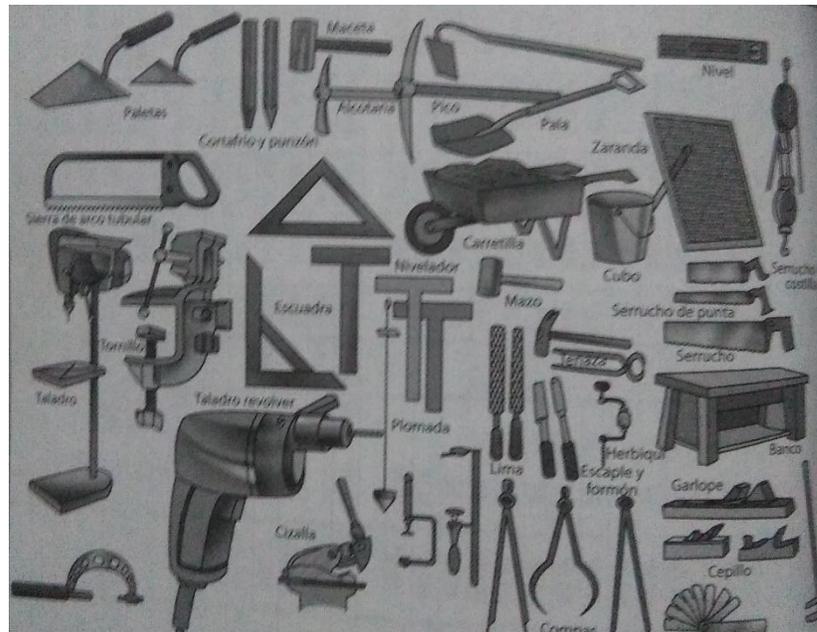
Fuente: Costos y tiempo en carreteras Walter Ibáñez.

d. Herramientas

Se refiere a cualquier utensilio pequeño que va a servir al personal en la ejecución de trabajos simples y/o complementarios a los que se hace mediante la utilización de quipo pesado. En la construcción de carreteras se utilizan herramientas tales como: Cizalla para fierro de Construcción, Cortadoras, Lijadoras eléctricas de disco, Motosierras, Pulidoras, taladros (manuales y eléctricos), galopas, cepillos, tornos, esmeriles, palas, picos, carretillas, etc. (Ibañez, 2011)

Dado que el rubro de herramientas en un Análisis de costos Unitarios es difícil determinarlo, además de que incide muy poco, en el presente documento se está considerando un porcentaje promedio del 3-5% de la mano de obra, cuyo porcentaje ha sido calculado en base a criterios técnicos y a la experiencia en ejecución de carreteras según el libro de Costos y Tiempos en carreteras de Walter Ibañez.

Ilustración 19: Herramientas utilizadas en la construcción de carreteras.



Fuente: Costos y tiempos en carreteras Walter Ibañez.

e. Análisis de costos unitarios

Existen rubros en los presupuestos, que por ser netamente diferenciados y de considerable incidencia en el monto de ejecución de obra deberán ser considerados debidamente separados.

Las partidas genéricas que intervienen en los trabajos de construcción, mejoramiento y/o rehabilitación de una carretera son:

- 1.00 Obras preliminares
- 2.00 Explanaciones
- 3.00 Pavimento
- 4.00 Obras de Arte y Drenaje
- 5.00 Señalización
- 6.00 Varios

En la ilustración 20 se muestra el análisis de costos unitarios para el encofrado y desencofrado de losa de una pavimentación convencional.

Ilustración 20: Ejemplo de Análisis de costos unitarios

Partida	01.06.01 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA						
Rendimiento	m2/DIA	20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m2		40.22	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	1.0000	0.4000	20.04	8.02
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.4000	16.62	6.65
							14.67
	Materiales						
02040100010001	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 8		kg		0.3500	4.00	1.40
02041200010004	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 2 1/2"		kg		0.2300	4.00	0.92
0231010001	MADERA TORNILLO		p2		5.0000	4.50	22.50
							24.82
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	14.67	0.73
							0.73

Fuente: Elaboración propia

1.1.40. COSTOS INDIRECTOS

Son aquellos costos que no tiene relación directa en la ejecución de una carretera, pero son indispensables incluirlos en el presupuesto porque se refieren a la sumatoria de los diversos gastos

técnico – administrativos necesarios para el correcto desarrollo de un proyecto (Ibañez, 2011). Estos costos pueden clasificarse en dos rubros: Gastos Generales Fijos y Gastos Generales Variables.

a. Gastos Generales Fijos

Integrados por los siguientes cargos:

- Campamentos de obra (para el Contratista y el Supervisor)
- Gastos administrativos que incluyen los costos de la licitación, gastos legales, carteles de obra, gastos de inspección a obra y publicaciones derivadas del proceso.
- Liquidación de Obra
- Tasa del Servicio

b. Gastos Generales Variables

Que corresponden a:

- Costos de la dirección técnica y administrativa en obra conformada por los sueldos y remuneraciones del personal profesional, técnico, administrativo y auxiliar a utilizar en la ejecución de la obra. Estos costos incluyen los cargos por leyes y beneficios sociales.
- Gastos de alimentación y pasajes del personal.
- Gastos administrativos de la oficina central y costos de personal del Contratista que interviene indirectamente en la obra y que no ha sido cargado ni en los precios unitarios ni en los de dirección y administración de la obra. Los sueldos y

remuneraciones han sido igualmente deben ser afectados con sus Leyes Sociales.

- Costo de los equipos no incluidos en los Costos Directos, tales como camionetas, ambulancias, grupo electrógeno para el campamento, equipos de laboratorio.
- Equipos de pruebas no destructivas (viga Benkelman y rugosímetro), equipos de comunicación y de computo.
- Gastos financieros conformados por los costos de las cartas fianza que debe entregar el Contratista.
- Gastos de pólizas de seguros exigidos por la Entidad, conformados por el costo de las primas que debe abonar el Contratista a fin de tener asegurada la obra, los empleados, obreros y profesionales.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

1.1.41. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación reúne las características metodológicas de una investigación aplicada, ya que busca la aplicación de los conocimientos teóricos en determinadas situaciones concretas y analiza las consecuencias prácticas. Además, estamos más cerca de las variables formuladas hipotéticamente como “reales” y, en consecuencia, tenemos mayor validez externa (posibilidad de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes).

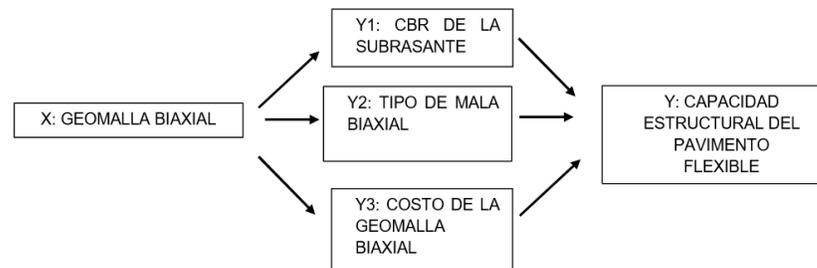
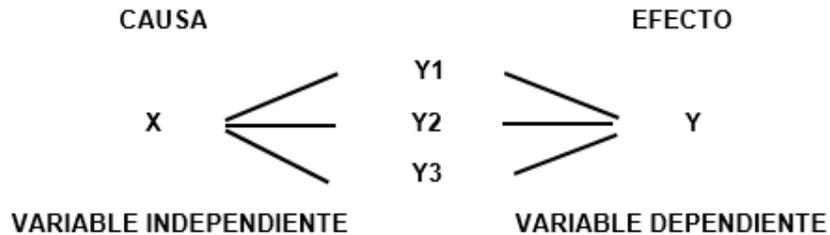
1.1.42. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas descriptivas comparativas, porque está orientada al desarrollo e interpretación de investigaciones anteriores adaptados a una aplicación real y compara los costos y tiempos que incurren las partidas analizadas para los dos tipos de estabilización del suelo de la subrasante.

1.1.43. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

Se realiza la relación entre las variables, observando el comportamiento de una para predecir el comportamiento de la otra además de lograr resultados específicos expresados de manera No Experimental - descriptivo siguiendo un enfoque Transversal de acuerdo a las características de información empleada (ROBERTO HERNANDEZ SAMPIERI, 2010).

EL ESQUEMA QUE CORRESPONDE A ESTE DISEÑO ES:



1.1.44. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

Llamamos datos a los elementos básicos de la información primaria que se obtiene directamente de la realidad, para nuestro caso los datos son obtenidos de los estudios realizados en el expediente técnico.

1.1.44.1. Técnicas:

La principal técnica de recolección de datos fue la referencia del estudio definitivo de la obra “ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL-PAMPAS” y datos tomados de la corrección del mismo para la ejecución de la obra ya que la mayor ventaja de esta es su relación directa con la realidad. Una vez identificado los datos necesarios del expediente, realizamos los cálculos de los espesores por el método de AASHTO considerando las geomallas, con estos espesores y los obtenidos del expediente, pasaremos a calcular los metrados correspondientes a las partidas analizadas. También calcularemos los análisis de costos unitarios de estas partidas analizadas, y así, procederemos con el cálculo del costo de las partidas analizadas para realizar la comparación

entre la estabilización del suelo de la subrasante con geomallas y la estabilización mecánica del suelo de la subrasante.

1.1.44.2. Instrumentos:

Los instrumentos que se utilizaron para la presente investigación fueron los siguientes: El expediente técnico de la obra: " ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS", y programas necesarios para el procesamiento de datos como Microsoft Excel y S10 Costos y presupuestos.

1.1.45. VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.45.1. Validez De Conocimiento

Para la validación de los instrumentos de investigación se relaciona con la validación racional puesto que la metodología está dada y los estudios realizados en el expediente son conocidos, así como el método que incluye las geomallas en el diseño de espesores, ya fueron estudiadas por otros investigadores y en algunos casos están normados y en la presente investigación se harán uso de ellos.

1.1.45.2. Validación De Constructo

La metodología AASHTO del diseño de espesores que incluye geomallas, consiste en incluir el factor LCR a la ecuación del número estructural, para que mediante de una serie de procedimientos se obtenga los espesores necesarios influenciados por la resistencia de las geomallas, para las consideraciones de diseño especificadas.

ANALISIS CUANTITAVO DE LAS VARIABLES

1.1.46. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA IMPERIAL – PAMPAS (TRAMO KM 00+000 – KM 36+850) METODO AASHTO

Para el diseño de espesores se debe de conocer los parámetros de diseño vistos anteriormente para método AASHTO 93 quienes se detallan en la tabla 19 para sector 1, tabla 20 para sector 2 y tabla 21 para sector 3; cabe resaltar el periodo de diseño cual ha de diseñar, el período de diseño empleado para el cálculo de la estructura del pavimento es de 20 años. Se efectuarán dos diseños para dicho periodo, el primero en una etapa de 20 años y el segundo en dos etapas de 0 -10 años y de 10 a 20 años, la Primera Etapa está referida a la colocación de una superficie de rodadura a nivel de carpeta asfáltica y la Segunda Etapa se refiere a la colocación de un recapeo consistente en una carpeta asfáltica en caliente cuando la vía cumpla 10 años de servicio.

Tabla 17: *Parámetros de diseño para Sector 1(Tramo Km.0+000 – Km. 5+780)*

Parámetros de Diseño	0-20 años	0-10 años	10-20 años
Número de ejes equivalentes	9.10E+06	3.72E+06	5.38E+06
Módulo Resilente, Mr (psi)	23479.93	23479.39	23479.39
Nivel de Confianza, R (%)	90	90	90
Desviación estándar normal, Zr	-1.282	-1.282	-1.282
Desviación estándar, So	0.45	0.45	0.45
Serviciabilidad Inicial	4.20	4.20	4.20
Serviciabilidad Final	2.00	2.00	2.00
Δ PSI	2.20	2.20	2.20

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Tabla 18:
Parámetros de diseño para Sector 2(Tramo Km.5+780 – Km. 17+720)

Parámetros de Diseño	0-20 años	0-10 años	10-20 años
Número de ejes equivalentes	9.10E+06	3.72E+06	5.38E+06
Módulo Resiliente, Mr (psi)	28619.51	28619.51	28619.51
Nivel de Confianza, R (%)	90	90	90
Desviación estándar normal, Zr	-1.282	-1.282	-1.282
Desviación estándar, So	0.45	0.45	0.45
Serviciabilidad Inicial	4.20	4.20	4.20
Serviciabilidad Final	2.00	2.00	2.00
Δ PSI	2.20	2.20	2.20

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Tabla 19: Parámetros de diseño para Sector 3(Tramo Km.17+720 – Km. 36+850)

Parámetros de Diseño	0-20 años	0-10 años	10-20 años
Número de ejes equivalentes	9.10E+06	3.72E+06	5.38E+06
Módulo Resiliente, Mr (psi)	22138.12	22138.12	22138.12
Nivel de Confianza, R (%)	90	90	90
Desviación estándar normal, Zr	-1.282	-1.282	-1.282
Desviación estándar, So	0.45	0.45	0.45
Serviciabilidad Inicial	4.20	4.20	4.20
Serviciabilidad Final	2.00	2.00	2.00
Δ PSI	2.20	2.20	2.20

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Con los datos detallados en las anteriores tablas, hay que realizar el cálculo de número estructural, el cual es un valor adimensional que representa una equivalencia numérica de la capacidad estructural del pavimento y se calcula resolviendo la siguiente ecuación:

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

Donde:

W18: Número de repeticiones de eje equivalente (ESAL)

ZR : confiabilidad

So : desviación estándar

SN : número estructura

Δ PSI: Pérdida de serviciabilidad

MR : módulo resiliente de la subrasante

Ya conocido el número estructural, se procede a estructurar el pavimento conformado por las capas de subbase granular, base granular y carpeta asfáltica, mediante la siguiente expresión los datos obtenidos se detallan en las tablas 22, tabla 23 y tabla 24:

$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i m_i \qquad SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3.$$

Donde:

a_i: coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales

D_i: Espesores

m_i: coeficientes de drenaje

Tabla 20: Número Estructural Requerido para Sector 1- una etapa (Tramo Km.0+000 – Km. 5+780)

Número Estructural Requerido			SN	3.10
Carpeta asfáltica	---	a ₁ = 0.42	D ₁ (Pulg.)	4
Base Granular 1	m ₂ = 1.0	a ₂ = 0.14	D ₂ (pulg.)	6
Base Granular 2	m ₃ = 1.0	a ₃ = 0.14	D ₃ (pulg.)	5
Espesor total del pavimento			(pulg.)	15
Número estructural Propuesto			SN'	3.22

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Tabla 21: Número Estructural Requerido para Sector 1 – dos etapas (Tramo Km.0+000 – Km. 5+780)

Número Estructural Requerido			SN	2.73	2.88
Carpeta asfáltica	---	$a_1 = 0.42$	D ₁ (pulg.)	3.5	-
Base Granular 1	$m_2 = 1.0$	$a_2 = 0.14$	D ₂ (pulg.)	6	-
Base Granular 2	$m_3 = 1.0$	$a_3 = 0.14$	D ₃ (pulg.)	4	-

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Tabla 22: Número Estructural Requerido para Sector 2 – una etapa (Tramo Km.5+780 – Km. 17+720)

Número Estructural Requerido			SN	2.91
Carpeta asfáltica	---	$a_1 = 0.42$	D ₁ (pulg.)	4
Base Granular 1	$m_2 = 1.0$	$a_2 = 0.14$	D ₂ (pulg.)	6
Base Granular 2	$m_3 = 1.0$	$a_3 = 0.14$	D ₃ (pulg.)	3
Espesor total del pavimento			(pulg.)	13
Número estructural Propuesto			SN'	2.94

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Tabla 23: Número Estructural Requerido para Sector 2 – dos etapas (Tramo Km.5+780 – Km. 17+720)

Número Estructural Requerido			SN	2.55	2.69
Carpeta asfáltica	---	$a_1 = 0.42$	D_1 (pulg.)	3.5	-
Base Granular 1	$m_2 = 1.0$	$a_2 = 0.14$	D_2 (pulg.)	6	-
Base Granular 2	$m_3 = 1.0$	$a_3 = 0.14$	D_3 (pulg.)	3	-
Espesor total del pavimento			(pulg.)	12.5	-
Número estructural Propuesto			SN'	2.73	-

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Tabla 24: Número Estructural Requerido para Sector 3 – una etapa (Tramo Km. 17+720 – Km. 36+850)

Número Estructural Requerido			SN	3.16
Carpeta asfáltica	---	$a_1 = 0.42$	D_1 (pulg.)	4
Base Granular 1	$m_2 = 1.0$	$a_2 = 0.14$	D_2 (pulg.)	6
Base Granular 2	$m_3 = 1.0$	$a_3 = 0.14$	D_3 (pulg.)	5
Espesor total del pavimento			(pulg.)	15
Número estructural Propuesto			SN'	3.22

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

Tabla 25: Número Estructural Requerido para Sector 3 – dos etapas (Tramo Km. 17+720 – Km. 36+850)

Número Estructural Requerido			SN	2.78	2.94
Carpeta asfáltica	---	$a_1 = 0.42$	D_1 (pulg.)	3.5	-
Base Granular 1	$m_2 = 1.0$	$a_2 = 0.14$	D_2 (pulg.)	6.0	-
Base Granular 2	$m_3 = 1.0$	$a_3 = 0.14$	D_3 (pulg.)	4.0	-
Espesor total del pavimento			(pulg.)	13.5	-
Número estructural Propuesto			SN'	2.87	-

Fuente: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS

1.1.47. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA IMPERIAL – PAMPAS (TRAMOS KM 00+000 – KM 36+850) METODO AASHTO CON GEOMALLAS.

Para poder realizar el cálculo de espesores debemos de tener en cuenta el CBR de diseño para los tramos en mejora de cada sector.

Tabla 26: CBRs de los tramos a mejorar por sectores

CBR DISEÑO	
SECTOR 1	7.66%
SECTOR 2	8.55%
SECTOR 3	5.88%

Posterior calcular el Mr (módulo de resiliencia) para cada sector en estudio mediante la siguiente ecuación:

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

Tabla 27: Modulo de resiliencia por sectores.

	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
CBR diseño	7.66%	8.55%	5.88%
MR	9404	10089	7939

Se procede a calcular el número estructural según metodología AASHTO de la estructura. Utilizando la ecuación del número estructural e igualando al logaritmo en base 10 del ESAL. Los espesores de cada capa deben manejarse en pulgadas.

Para nuestro caso.

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

Tabla 28: Espesores calculados a partir de los CBRs segun periodo de diseño.

(t = 10 años) 1era etapa	SN =	3.72	3.63	3.90
	CBR diseño	7.66%	8.55%	5.88%
	D ₁ =	2.8	3.2	3.2
	D ₂ =	10	8	10
	D ₃ =	10	10	10
(t = 20 años)	SN =	4.22	4.14	4.49
	CBR diseño	7.66%	8.55%	5.88%
	D ₁ =	3.4	3.2	3.4
	D ₂ =	10	10	12
	D ₃ =	12	12	12
(t = 10 años) 2da etapa	SN =	3.90	3.81	4.16
	CBR diseño	7.66%	8.55%	5.88%
	D ₁ =	3.2	3	3.8
	D ₂ =	10	10	10
	D ₃ =	10	10	10

Luego se calcula la estructura sustituyendo la base granular.

Con el número estructural inicial, se realiza una sustitución de la base granular por subbase granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial. Este nuevo espesor se denomina D 3'.

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

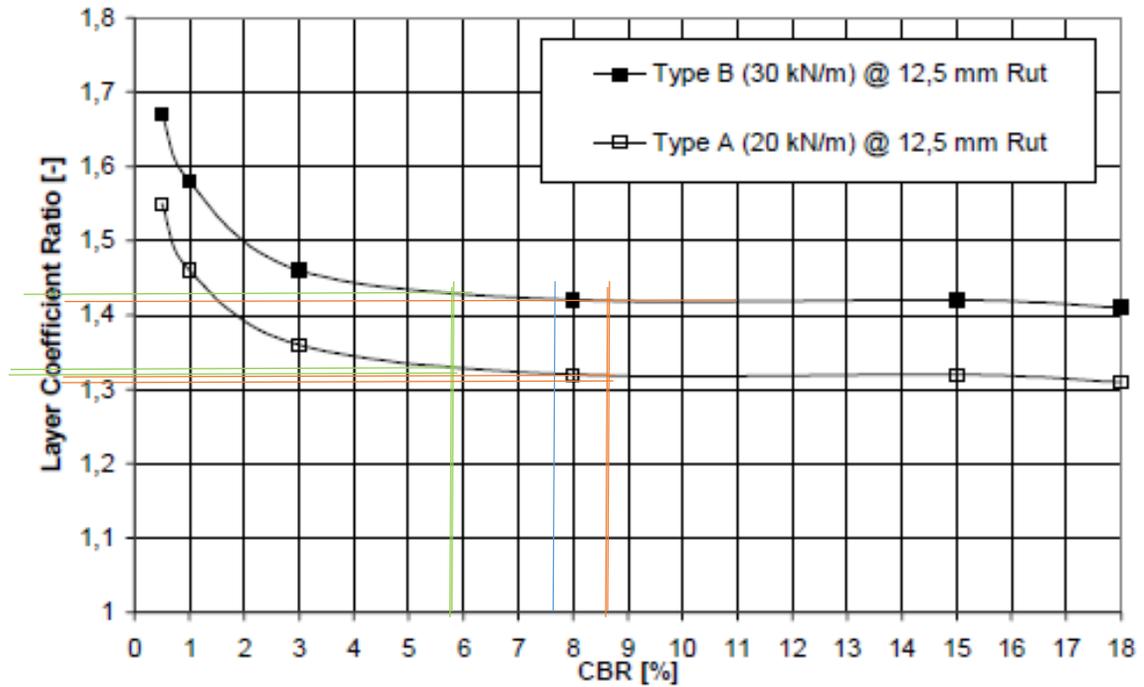
$$D_3' = \frac{SN - a_1 D_1}{a_3 m_3}$$

Luego se calcula de nuevo el espesor de la capa de subbase con refuerzo

Empleando una geomalla de 20 KN/m (Tipo A) y 30 KN/m (Tipo B), en este caso aportado por la geomalla bi-axial LBO 202 para una subrasante con CBR = 7.66%, 8.55% y 5.88% se obtiene de la Figura 3.8 un valor de LCR o coeficiente de aporte de la geomalla a la capa

Ilustración 21

Monograma de CBR vs Coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular.



Fuente: Design of Flexible Road Pavements with Tenax Geogrids

Tabla 29: Valor del LCR para cada tipo de geomalla

	TIPO A	TIPO B
7.7%	1.32	1.42
8.6%	1.315	1.415
5.9%	1.33	1.43

Para incluir el aporte de la geomalla dentro de la estructura de pavimento y obtener una disminución de espesor, se debe mantener

constante a través de los cálculos realizados el valor inicial del número estructural.

$$SN_r = SN$$

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

$$SN_r = a_1 D_1 + a_3 LCR D_{3r} m_3$$

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

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

$$a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

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

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

Debido a que se tienen dos incógnitas (D_{2r} y D_{3r}) y una sola ecuación, se debe realizar un proceso de iteración para obtener unos espesores de capa razonables para la estructura. Para el espesor de la base granular no se recomienda que este valor se encuentre por debajo de los 15 cm o 6 pulgadas. Para la solución del problema, se

deja constante el espesor de la base granular, se despeja de la ecuación el espesor de la subbase granular.

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

A continuación, se verifica el aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla.

Para que la estructura sea constructivamente viable, los espesores calculados por lo general son modificados para facilitar su proceso constructivo. Es por eso que se debe verificar que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura, por lo que el número estructural de las capas granulares con respecto al número del aporte estructural de la capa reforzada, debe ser en lo posible iguales. Lo detallado anteriormente se observa en la tabla 26, 27, 28, 29, 30 y 31; se notará lo influenciado de la geomalla a la estructura del pavimento por tiempo de diseño y sectores.

Tabla 30: Número Estructural Requerido para Sector 1 – 20 años

CBR 7.66%		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE E		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO	
a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318	a2	0.13208	a2	0.13208	a3	0.11938
a2	0.13	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938
a3	0.12										
TIPO A	D1	3.4	D1	3	D1	3		3			3
	D2	10			LCR	1.32	D2r	8	D2r	8	8
	D3	12	D3'	25	D3r	18.6	D3r	9.72	D3r	9.7	9.7
TIPO B	D1	3.4	D1	3	D1	3		3			3
	D2	10			LCR	1.42	D2r	8	D2r	8	8
	D3	12	D3'	24.511	D3r	17.3	D3r	8.41	D3r	8.4	8.4
m2	1	m3	1	m3	1	m2	1	m2	1	1	
m3	1					m3	1	m3	1	1	
SN		4.22148									
				SN gr		2.22		SN gr verificado		2.22	
				SN gr		2.06		SN gr verificado		2.06	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Número Estructural Requerido para Sector 2 – 20 años

CBR 8.55%		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO	
a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318	a2	0.13208	a2	0.13208	a3	0.11938
a2	0.13	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938
a3	0.12										
TIPO A	D1	3.6	D1	3.2	D1	3.2		3.2			3.2
	D2	12			LCR	1.315	D2r	8	D2r	8	8
	D3	12	D3'	27	D3r	20.3	D3r	11.47	D3r	11.5	11.5
TIPO B	D1	3.6	D1	3	D1	3		3			3
	D2	12			LCR	1.415	D2r	8	D2r	8	8
	D3	12	D3'	27	D3r	19.4	D3r	10.55	D3r	10.5	10.5
m2	1	m3	1	m3	1	m2	1	m2	1	1	
m3	1					m3	1	m3	1	1	
SN 4.572											
				SN gr 2.43						SN gr verificado 2.43	
				SN gr 2.32						SN gr verificado 2.32	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Número Estructural Requerido para Sector 3 – 20 años

CBR 5.88%		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO	
a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318	a2	0.13208	a2	0.13208	a3	0.11938
a2	0.13	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938
a3	0.12										
TIPO A	D1	3.4	D1	3.2	D1	3.2		3.2			3.2
	D2	12			LCR	1.33	D2r	8	D2r	8	8
	D3	12	D3'	26	D3r	19.5	D3r	10.70	D3r	10.7	10.7
TIPO B	D1	3.4	D1	3	D1	3		3			3
	D2	12			LCR	1.43	D2r	8	D2r	8	8
	D3	12	D3'	27	D3r	18.7	D3r	9.84	D3r	9.8	9.8
m2	1	m3	1	m3	1	m2	1	m2	1	1	
m3	1					m3	1	m3	1	1	
SN 4.48564											
		SN gr		2.33		SN gr verificado		2.33			
		SN gr		2.23		SN gr verificado		2.23			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Número Estructural Requerido para Sector 1 – 10 años 1era etapa

CBR	7.66%									
	CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO	
	a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318				
	a2	0.13					a2	0.13208	a2	0.13208
	a3	0.12	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938
TIPO A	D1	3	D1	2.8	D1	2.8		2.8		2.8
	D2	8			LCR	1.32	D2r	6	D2r	6
	D3	10	D3'	20	D3r	14.8	D3r	8.19	D3r	8.2
TIPO B	D1	3	D1	2.6	D1	2.6		2.6		2.6
	D2	8			LCR	1.42	D2r	6	D2r	6
	D3	10	D3'	20.298	D3r	14.3	D3r	7.66	D3r	7.7
	m2	1					m2	1	m2	1
	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1
	SN 3.54584									
					SN gr	1.77			SN gr verificado	1.77
					SN gr	1.71			SN gr verificado	1.71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Número Estructural Requerido para Sector 1 – 10 años 2da etapa

CBR 7.66%		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPEORES		VERIFICANDO	
a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318	a2	0.13208	a2	0.13208	a3	0.11938
a2	0.13	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938
TIPO A	D1	3.4	D1	3	D1	3		3			3
	D2	10			LCR	1.32	D2r	8	D2r		8
	D3	12	D3'	25	D3r	18.6	D3r	9.72	D3r		9.7
TIPO B	D1	3.4	D1	3	D1	3		3			3
	D2	10			LCR	1.42	D2r	8	D2r		8
	D3	12	D3'	24.511	D3r	17.3	D3r	8.41	D3r		8.4
m2	1					m2	1	m2		1	
m3	1	m3	1	m3	1	m3	1	m3		1	
SN 4.22148											
				SN gr 2.22				SN gr verificado 2.22			
				SN gr 2.06				SN gr verificado 2.06			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Número Estructural Requerido para Sector 2 – 10 años 1era etapa

CBR		8.55%								
		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO
a1		0.43		a1 0.4318		a1 0.4318				
a2		0.13						a2 0.13208		a2 0.13208
a3		0.12		a3 0.11938		a3 0.11938		a3 0.11938		a3 0.11938
TIPO A		D1 3		D1 2.8		D1 2.8		2.8		2.8
		D2 8		LCR		1.315		D2r 6		D2r 6
		D3 10		D3' 20		D3r 14.9		D3r 8.25		D3r 8.2
TIPO B		D1 3		D1 2.6		D1 2.6		2.6		2.6
		D2 8		LCR		1.415		D2r 6		D2r 6
		D3 10		D3' 20		D3r 14.3		D3r 7.71		D3r 7.7
m2		1						m2 1		m2 1
m3		1		m3 1		m3 1		m3 1		m3 1
SN		3.54584								
				SN gr		1.78		SN gr verificado		1.78
				SN gr		1.71		SN gr verificado		1.71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Número Estructural Requerido para Sector 2 – 10 años 2da etapa

CBR	8.55%										
		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO	
	a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318					
	a2	0.13					a2	0.13208	a2	0.13208	
	a3	0.12	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	
TIPO A	D1	3.4	D1	3	D1	3		3		3	
	D2	10			LCR	1.315	D2r	8	D2r	8	
	D3	12	D3'	25	D3r	18.6	D3r	9.79	D3r	9.8	
TIPO B	D1	3.4	D1	3	D1	3		3		3	
	D2	10			LCR	1.415	D2r	8	D2r	8	
	D3	12	D3'	25	D3r	17.3	D3r	8.47	D3r	8.5	
	m2	1					m2	1	m2	1	
	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1	
	SN	4.22148									
					SN gr	2.23			SN gr verificado	2.23	
					SN gr	2.07			SN gr verificado	2.07	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Número Estructural Requerido para Sector 3 – 10 años 1era etapa

CBR	5.88%									
		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPESORES		VERIFICANDO
	a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318				
	a2	0.13					a2	0.13208	a2	0.13208
	a3	0.12	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938
TIPO A	D1	3.2	D1	3	D1	3		3		3
	D2	10			LCR	1.33	D2r	6	D2r	6
	D3	10	D3'	22	D3r	16.4	D3r	9.74	D3r	9.7
TIPO B	D1	3.2	D1	2.8	D1	2.8		2.8		2.8
	D2	10			LCR	1.43	D2r	6	D2r	6
	D3	10	D3'	23	D3r	15.7	D3r	9.10	D3r	9.1
	m2	1					m2	1	m2	1
	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1
	SN 3.89636									
					SN gr	1.96			SN gr verificado	1.96
					SN gr	1.88			SN gr verificado	1.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Número Estructural Requerido para Sector 3 – 10 años 2da etapa

CBR	5.88%									
		CÁLCULO DE SN		ESPESOR EQUIVALENTE		Ec. SNr CÁLCULO DE D3r		CALCULO DE ESPEORES		VERIFICANDO
	a1	0.43	a1	0.4318	a1	0.4318				
	a2	0.13					a2	0.13208	a2	0.13208
	a3	0.12	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938	a3	0.11938
TIPO A	D1	3.8	D1	3.2	D1	3.2		3.2		3.2
	D2	10			LCR	1.33	D2r	8	D2r	8
	D3	10	D3'	23	D3r	17.5	D3r	8.62	D3r	8.6
TIPO B	D1	3.8	D1	2.8	D1	2.8		2.8		2.8
	D2	10			LCR	1.43	D2r	8	D2r	8
	D3	10	D3'	25	D3r	17.3	D3r	8.41	D3r	8.4
	m2	1					m2	1	m2	1
	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1	m3	1
	SN	4.15544								
					SN gr	2.09			SN gr verificado	2.09
					SN gr	2.06			SN gr verificado	2.06

Fuente: Elaboración propia

1.1.48. RESUMEN DE ESPESORES

1.1.49. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos se realizará con base a las partidas y al estudio definitivo de la obra de pavimento flexible “*ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS*”, tomando en cuenta partidas que dependen de la estabilización del suelo de la subrasante.

Según el diseño de espesores considerando la estabilización de suelos de la subrasante con geomallas, los espesores en función al aporte de las geomallas, por consiguiente, para un análisis de los costos que varían, se consideraran las siguientes partidas.

- Mejoramiento de la subrasante según tipo de estabilización de suelos de la subrasante
- Subbase granular para pavimento flexible
- Base granular para pavimento flexible
- Carpeta asfáltica para pavimento flexible

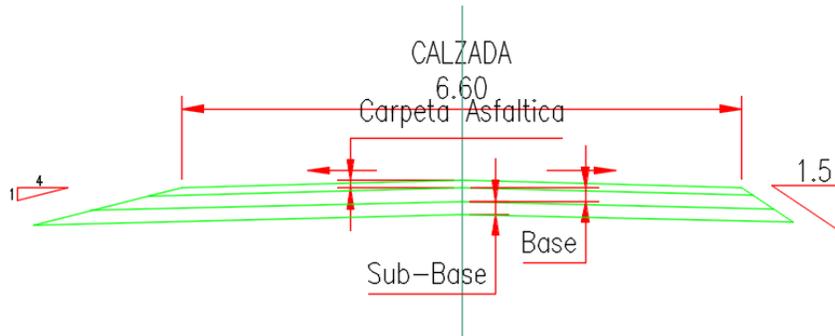
1.1.49.1. Costo de las partidas analizadas para la estabilización mecánica de la subrasante

Los metrados calculados para estos cálculos son en base a los tramos de mejoramiento encontrados en el expediente y solo se considera para el tramo diferente, que se refiere a únicamente la calzada.

Se encontraron tres sectores con diferentes CBRs de diseño, así mismo para cada sector se calculó el CBR de diseño de los tramos de mejoramiento. En esta sección se mostrará de manera resumida los metrados, costos unitarios y costos parciales de las partidas analizadas.

La sección de pavimento analizada es la que se muestra en la Ilustración 22

Ilustración 22: Sección del pavimento flexible considerada para el análisis.



Fuente: *ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS*

Los espesores de diseño para este caso se muestran en la Tabla 39, para el caso de la subrasante se muestra un promedio de la profundidad del suelo a reemplazar

Tabla 39: Espesores de las capas de pavimento según la estabilización mecánica del suelo de la subrasante

CAPAS	ANCHO EN LA SUPERFICIE		
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
C.A.	10.2 cm	10.2 cm	10.2 cm
BASE	15.2 cm	15.2 cm	15.2 cm
SUBBASE	12.7 cm	7.6 cm	12.7 cm
SUBRASANTE	73.6 cm	67.8 cm	79.4 cm

Fuente: Elaboración propia

Con los espesores obtenidos podemos calcular el ancho de sección para la carpeta asfáltica, la base granular y la subbase granular; así

como también el ancho de la subrasante, dichos anchos se muestran en la Tabla 40 y se calcularon según los taludes de diseño.

Tabla 40: Anchos en la superficie de las capas del pavimento flexible.

CAPAS	ANCHO EN LA SUPERFICIE		
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
C.A.	6.60 m	6.60 m	6.60 m
BASE	7.16 m	7.16 m	7.16 m
SUBBASE	8.00 m	8.00 m	8.00 m
SUBRASANTE	8.70 m	8.42 m	8.70 m

Fuente: Elaboración propia

En base a los espesores obtenidos del diseño y a los anchos correspondientes, tenemos el metrado para las partidas analizadas, según el diseño de espesores con la estabilización mecánica del suelo de la subrasante, que se muestra en la Tabla 41.

Tabla 41: Metrado para las capas del pavimento flexible de las zonas de mejoramiento

CAPAS	METRADO			
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	TOTAL
C.A.	459.91 m ³	1,614.57 m ³	2,222.65 m ³	4,297.13 m ³
BASE	759.91 m ³	2,667.75 m ³	3,672.49 m ³	7,100.15 m ³
SUBBASE	697.46 m ³	1,444.53 m ³	3,370.72 m ³	5,512.71 m ³
SUBRASANTE	4,213.21 m ³	13,173.08 m ³	21,952.06 m ³	39,338.35 m ³

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la partida de mejoramiento de la subrasante viene dado por la Tabla 42

Tabla 42: Análisis de costos unitarios de la partida de mejoramiento de subrasante

Presupuesto		020 1002	PAVIMENTACION FLEXIBLE				
Subpresupuesto		001	PAVIMENTACION FLEXIBLE CONVENCIONAL				
Partida	01.02.06	(010706010001-0201002-01)		MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE			
				Costo unitario directo por:		m3	38.34
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ		hh	0.0087	24.05	0.21	
0101010005	PEON		hh	0.0566	14.94	0.88	
						1.99	
Materiales							
0207040001	MATERIAL GRANULAR		m3	1.2000	28.00	33.60	
						33.60	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		0.05	0.05	
0301100006	RODILLO LISO VIBRATORIO		hm	0.0087	165.00	1.44	
0301200001	MOTONIVELADORA		hm	0.0087	190.00	1.65	
03012200050001	CAMION CISTERNA (2,500 GLNS.)		hm	0.0064	80.00	0.51	
						3.65	

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la subbase granular se presenta en la Tabla 43

Tabla 43: Análisis de costos unitarios de la partida subbase granular.

Partida		01.03.01	SUB-BASE GRANULAR				
Rendimiento	m 3/DIA	MO. 270.0000	EQ. 270.0000	Costo unitario directo por : m3			49.92
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0030	24.05	0.07
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.0296	16.62	0.49
0101010005	PEON		hh	6.0000	0.1778	14.94	2.66
						3.22	
Materiales							
02070400010001	MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE		m3		1.2000	30.00	36.00
0290130022	AGUA		m3		0.1000	1.00	0.10
						36.10	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	3.22	0.10
0301100006	RODILLO LISO VIBRATORIO		hm	1.0000	0.0296	165.00	4.88
0301200001	MOTONIVELADORA		hm	1.0000	0.0296	190.00	5.62
						10.60	

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la base granular se presenta en la Tabla 44

Tabla 44: Análisis de costos unitarios para la partida de base granular.

Partida	01.03.02 BASE GRANULAR						
Rendimiento	m 3/DIA	MO. 250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : m3			53.44
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	24.05	0.08	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	16.62	0.53	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1920	14.94	2.87	
							3.48
Materiales							
02070400010002	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m3		1.2000	32.00	38.40	
0290130022	AGUA	m3		0.1000	1.00	0.10	
							38.50
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	3.48	0.10	
0301100006	RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0320	165.00	5.28	
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	1.0000	0.0320	190.00	6.08	
							11.46

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la carpeta asfáltica se presenta en la Tabla 45

Tabla 45: Análisis de costos unitarios para la partida de carpeta asfáltica en caliente.

Partida	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE						
Rendimiento	m 3/DIA	MO. 240.0000	EQ. 240.0000	Costo unitario directo por : m3			259.88
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	0.5000	0.0167	24.05	0.40	
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0333	20.04	0.67	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0667	16.62	1.11	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.2000	14.94	2.99	
							5.17
Materiales							
0201050005	MEZCLA ASFALTICA	m3		1.3000	183.12	238.06	
02070200010001	ARENA FINA	m3		0.0500	16.10	0.81	
							238.87
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	5.17	0.26	
03011000040001	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 5.5 - 20 ton	hm	1.0000	0.0333	137.78	4.59	
0301100008	RODILLO TANDEM ESTAT AUTO P5-8TN 58-70HP	hm	1.0000	0.0333	194.52	6.48	
03013900020002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'	hm	1.0000	0.0333	135.51	4.51	
							15.84

Fuente: Elaboración propia

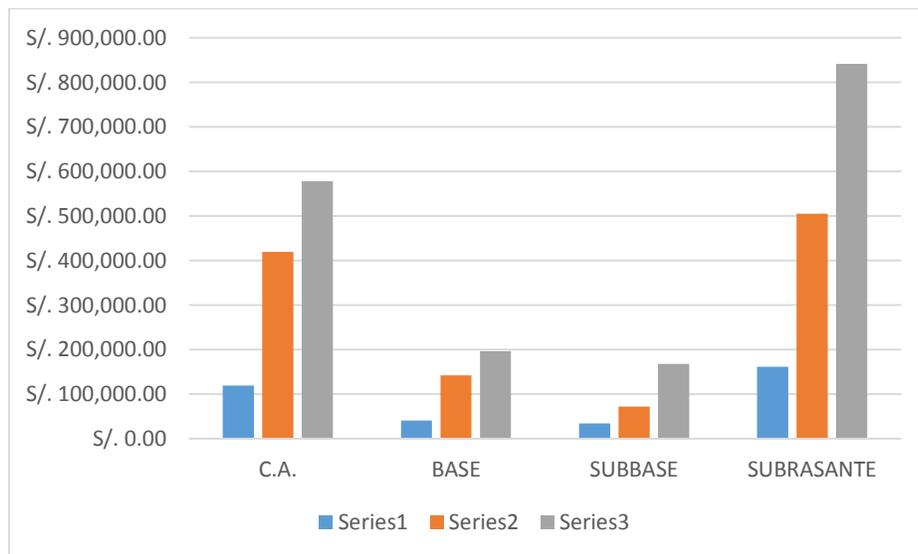
De acuerdo a los metrados y los análisis de costos unitarios de las partidas analizadas tenemos la Tabla 46 que muestra los costos para estas partidas y el costo parcial según la estabilización mecánica de suelos de la subrasante.

Tabla 46: Costos por partidas analizadas y por sectores de la carretera.

CAPAS	COSTOS			
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	PARCIAL
C.A.	S/. 119,520.67	S/. 419,593.84	S/. 577,622.69	S/. 1,116,737.21
BASE	S/. 40,609.36	S/. 142,564.79	S/. 196,258.02	S/. 379,432.17
SUBBASE	S/. 34,817.34	S/. 72,111.10	S/. 168,266.17	S/. 275,194.61
SUBRASANTE	S/. 161,534.35	S/. 505,056.00	S/. 841,641.82	S/. 1,508,232.17
	S/. 356,481.73	S/. 1,139,325.73	S/. 1,783,788.71	S/. 3,279,596.16

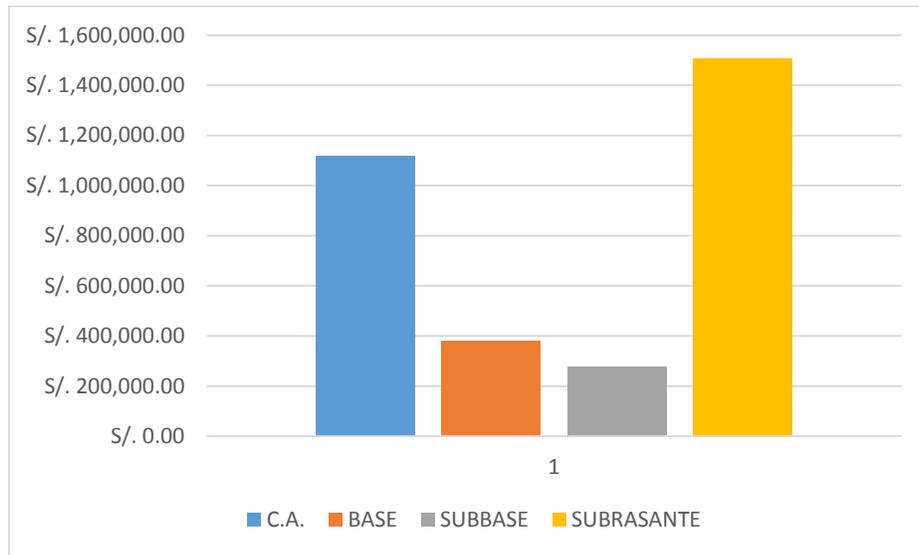
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23: Costos de las partidas analizadas por sectores



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24: Costos de las partidas analizadas



Fuente: Elaboración propia

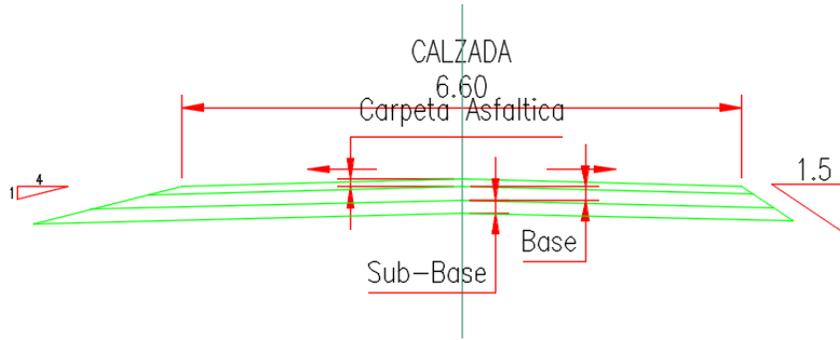
1.1.49.2. Costo de las partidas analizadas para la estabilización con geomallas de la subrasante

Los metrados calculados para estos cálculos son en base a los tramos de mejoramiento encontrados en el expediente y solo se considera para el tramo diferente, que se refiere a únicamente la calzada.

Se encontraron tres sectores con diferentes CBRs de diseño, así mismo para cada sector se calculó el CBR de diseño de los tramos de mejoramiento. En esta sección se mostrará de manera resumida los metrados, costos unitarios y costos parciales de las partidas analizadas para la estabilización de subrasante con geomallas.

La sección de pavimento analizada es la que se muestra en la Ilustración 25

Ilustración 25: Sección del pavimento flexible considerada para el análisis.



Fuente: *ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: DV IMPERIAL- PAMPAS*

Los espesores de diseño para este caso se muestran en la Tabla 47 y en la Tabla 48, para el caso de la subrasante se muestra un promedio de la profundidad del suelo a reemplazar

Tabla 47: Espesores de las capas de pavimento según la estabilización del suelo de la subrasante con geomallas tipo A

CAPAS	ANCHO EN LA SUPERFICIE		
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
C.A.	7.6 cm	8.1 cm	8.1 cm
BASE	20.3 cm	20.3 cm	20.3 cm
SUBBASE	24.7 cm	29.1 cm	27.2 cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Espesores de las capas de pavimento según la estabilización del suelo de la subrasante con geomallas tipo B

CAPAS	ANCHO EN LA SUPERFICIE		
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
C.A.	7.6 cm	7.6 cm	7.6 cm
BASE	20.3 cm	20.3 cm	20.3 cm
SUBBASE	21.4 cm	26.8 cm	25.0 cm

Fuente: Elaboración propia

Con los espesores obtenidos podemos calcular el ancho de sección para la carpeta asfáltica, la base granular y la subbase granular; así como también el ancho de la subrasante, dichos anchos se muestran en la Tabla 49 y en la Tabla 50 y se calcularon según los taludes de diseño.

Tabla 49: Anchos en la superficie de las capas del pavimento flexible.

CAPAS	ANCHO EN LA SUPERFICIE		
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
C.A.	6.60 m	6.60 m	6.60 m
BASE	7.02 m	7.05 m	7.05 m
SUBBASE	8.14 m	8.16 m	8.16 m
SUBRASANTE	9.49 m	9.77 m	9.66 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Anchos en la superficie de las capas del pavimento flexible.

CAPAS	ANCHO EN LA SUPERFICIE		
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
C.A.	6.60 m	6.60 m	6.60 m
BASE	7.02 m	7.02 m	7.02 m
SUBBASE	8.14 m	8.14 m	8.14 m
SUBRASANTE	9.31 m	9.61 m	9.51 m

Fuente: Elaboración propia

En base a los espesores obtenidos del diseño y a los anchos correspondientes, tenemos el metrado para las partidas analizadas, según el diseño de espesores para la geomalla tipo A, que se muestra en la Tabla 51.

Tabla 51: Metrado para las capas del pavimento flexible de las zonas de mejoramiento

CAPAS	METRADO			
	TIPO A			
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	TOTAL
C.A.	341.43 m3	1,281.16 m3	1,763.68 m3	3,386.27 m3
BASE	1,013.21 m3	3,570.12 m3	4,914.71 m3	9,498.04 m3
SUBBASE	1,431.74 m3	6,034.44 m3	7,700.61 m3	15,166.79 m3
SUBRASANTE	6,247.22 m2	22,562.06 m2	30,716.01 m2	59,525.29 m2

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera se calcula el metrado para las partidas analizadas según la estabilización de suelo de la subrasante con geomallas tipo B.

Tabla 52: Metrado para las capas del pavimento flexible de las zonas de mejoramiento

CAPAS	METRADO			
	TIPO B			
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	TOTAL
C.A.	341.43 m3	1,198.63 m3	1,650.06 m3	3,190.12 m3
BASE	1,013.21 m3	3,557.01 m3	4,896.66 m3	9,466.87 m3
SUBBASE	1,226.24 m3	5,490.59 m3	7,010.72 m3	13,727.55 m3
SUBRASANTE	6,127.01 m2	22,199.04 m2	30,244.59 m2	58,570.64 m2

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la partida de mejoramiento de la subrasante viene dado por la Tabla 53

Tabla 53: Análisis de costos unitarios de la partida de mejoramiento de subrasante con geomallas tipo A

Partida	MEJORAMIENTO DE SUB-RASANTE CON GEOMALLAS TIPO A					Costo unitario directo por : m2	11.38
Rendimiento	m 2/DIA	MO. 5,000.0000	EQ. 5,000.0000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0016	16.62	0.03	
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0064	14.94	0.10	
	0.13						
	Materiales						
0210110003	GEOMALLAS BIAXIALES TIPO A	m2		1.1000	10.22	11.24	
	11.24						
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.13	0.01	
	0.01						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Análisis de costos unitarios de la partida de mejoramiento de subrasante con geomallas tipo B

Partida	MEJORAMIENTO DE SUB-RASANTE CON GEOMALLAS TIPO B						
Rendimiento	m 2/DIA	MO. 5,000.0000	EQ. 5,000.0000	Costo unitario directo por : m2			13.08
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0016	16.62	0.03	
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0064	14.94	0.10	
						0.13	
	Materiales						
0210110002	GEOMALLAS BIAJIALES TIPO B	m2		1.1000	11.76	12.94	
						12.94	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.13	0.01	
						0.01	

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la subbase granular se presenta en la Tabla 55

Tabla 55: Análisis de costos unitarios de la partida subbase granular.

Partida	01.03.01 SUB-BASE GRANULAR						
Rendimiento	m 3/DIA	MO. 270.0000	EQ. 270.0000	Costo unitario directo por : m3			49.92
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0030	24.05	0.07	
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0296	16.62	0.49	
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1778	14.94	2.66	
						3.22	
	Materiales						
02070400010001	MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE	m3		1.2000	30.00	36.00	
0290130022	AGUA	m3		0.1000	1.00	0.10	
						36.10	
	Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	3.22	0.10	
0301100006	RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0296	165.00	4.88	
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	1.0000	0.0296	190.00	5.62	
						10.60	

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la base granular se presenta en la Tabla 56

Tabla 56: Análisis de costos unitarios para la partida de base granular.

Partida	01.03.02 BASE GRANULAR			Costo unitario directo por : m3				53.44
Rendimiento	m 3/DIA	MO. 250.0000	EQ. 250.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	24.05	0.08		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	16.62	0.53		
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1920	14.94	2.87		
3.48								
Materiales								
02070400010002	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m3		1.2000	32.00	38.40		
0290130022	AGUA	m3		0.1000	1.00	0.10		
38.50								
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	3.48	0.10		
0301100006	RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0320	165.00	5.28		
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	1.0000	0.0320	190.00	6.08		
11.46								

Fuente: Elaboración propia

El análisis de costos unitarios para la carpeta asfáltica se presenta en la Tabla 57

Tabla 57: Análisis de costos unitarios para la partida de carpeta asfáltica en caliente.

Partida	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE			Costo unitario directo por : m3				259.88
Rendimiento	m 3/DIA	MO. 240.0000	EQ. 240.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ	hh	0.5000	0.0167	24.05	0.40		
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0333	20.04	0.67		
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0667	16.62	1.11		
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.2000	14.94	2.99		
5.17								
Materiales								
0201050005	MEZCLA ASFALTICA	m3		1.3000	183.12	238.06		
02070200010001	ARENA FINA	m3		0.0500	16.10	0.81		
238.87								
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	5.17	0.26		
03011000040001	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 5.5 - 20 ton	hm	1.0000	0.0333	137.78	4.59		
0301100008	RODILLO TANDEM ESTAT AUTO P5-8TN 58-70HP	hm	1.0000	0.0333	194.52	6.48		
03013900020002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'	hm	1.0000	0.0333	135.51	4.51		
15.84								

Fuente: Elaboración propia

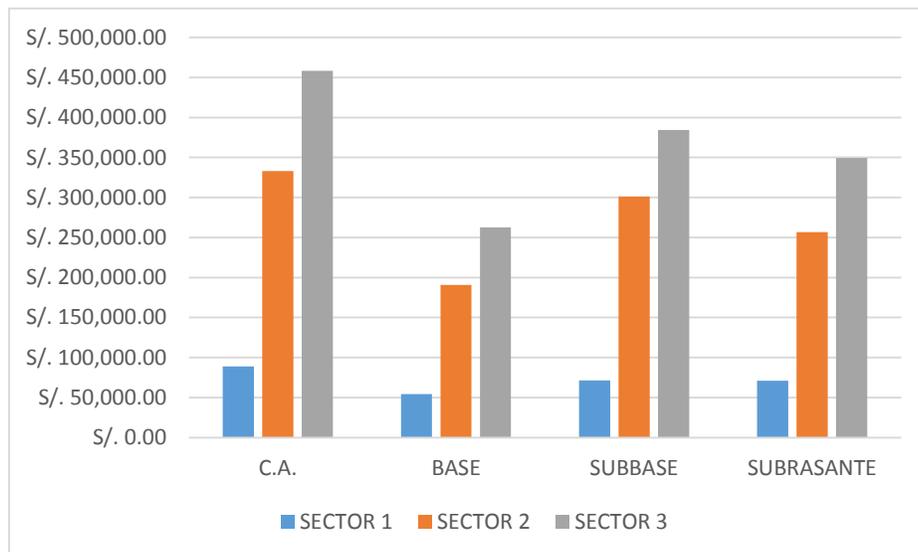
De acuerdo a los metrados y los análisis de costos unitarios de las partidas analizadas tenemos la Tabla 58 y la que muestra los costos para estas partidas y el costo parcial según la estabilización mecánica de suelos de la subrasante.

Tabla 58: Costos por partidas analizadas y por sectores de la carretera.

CAPAS	COSTOS			
	TIPO A			
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	TOTAL
C.A.	S/. 88,730.34	S/. 332,948.45	S/. 458,344.62	S/. 880,023.42
BASE	S/. 54,145.82	S/. 190,787.24	S/. 262,642.17	S/. 507,575.22
SUBBASE	S/. 71,472.50	S/. 301,239.20	S/. 384,414.40	S/. 757,126.10
SUBRASANTE	S/. 71,093.32	S/. 256,756.28	S/. 349,548.24	S/. 677,397.83
	S/. 285,441.97	S/. 1,081,731.17	S/. 1,454,949.43	S/. 2,822,122.58

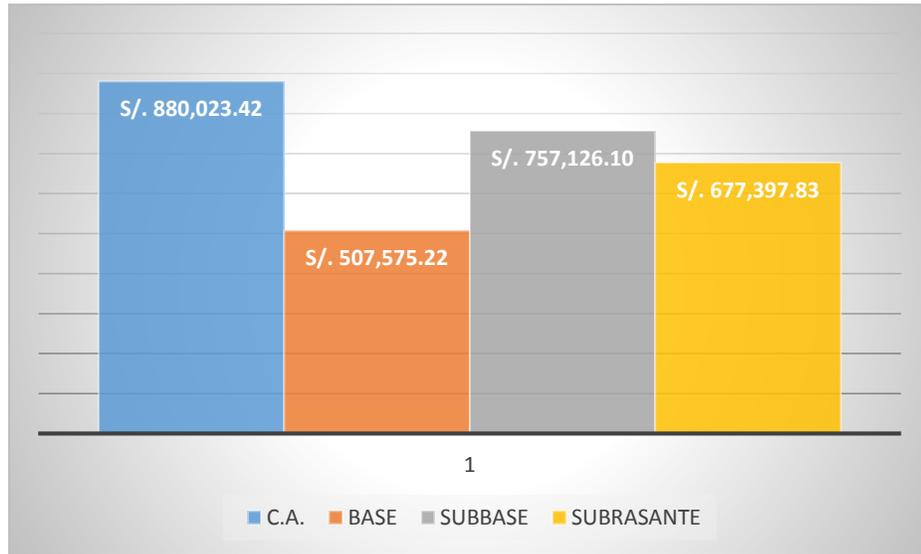
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26: Costo de las partidas analizadas por sectores para la estabilización con geomalla tipo A



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27: Costo por partidas



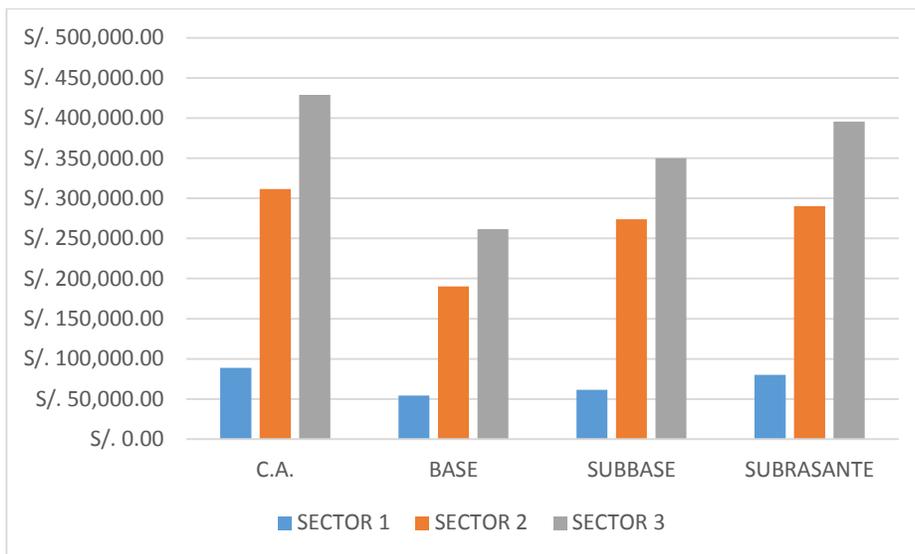
Fuente: Elaboración propia

Tabla 59: Costos por partidas analizadas y por sectores de la carretera.

CAPAS	COSTOS			
	TIPO B			
	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	TOTAL
C.A.	S/. 88,730.34	S/. 311,500.12	S/. 428,818.35	S/. 829,048.81
BASE	S/. 54,145.82	S/. 190,086.38	S/. 261,677.36	S/. 505,909.55
SUBBASE	S/. 61,213.88	S/. 274,090.45	S/. 349,974.91	S/. 685,279.25
SUBRASANTE	S/. 80,141.33	S/. 290,363.40	S/. 395,599.24	S/. 766,103.97
	S/. 284,231.37	S/. 1,066,040.36	S/. 1,436,069.86	S/. 2,786,341.58

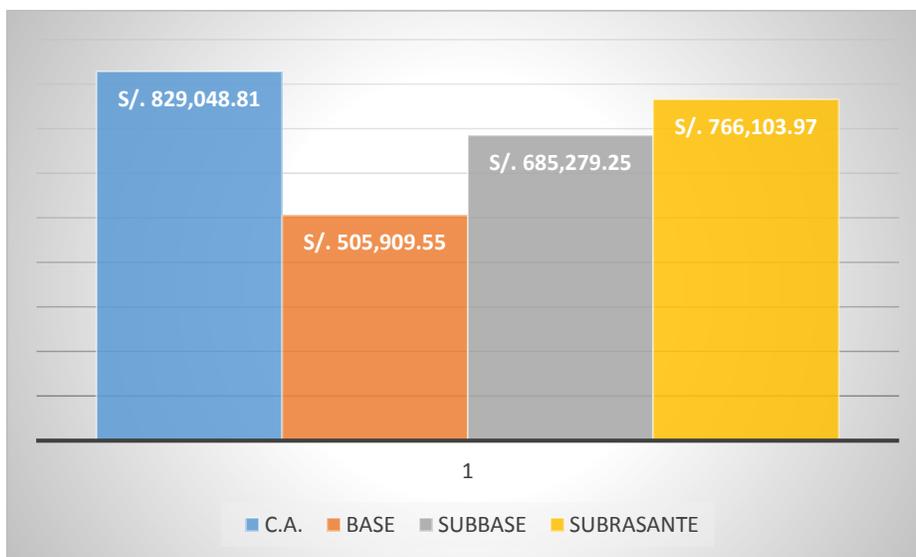
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28: Costo de las partidas analizadas por sectores para la estabilización con geomalla tipo A



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29: Costo por partidas



Fuente: Elaboración propia

1.1.49.3. Resumen de costos

Los costos obtenidos totales para cada partida y según el tipo de estabilización se muestra en la Tabla 60.

Tabla 60: Resumen de los costos para todos los tramos de mejoramiento

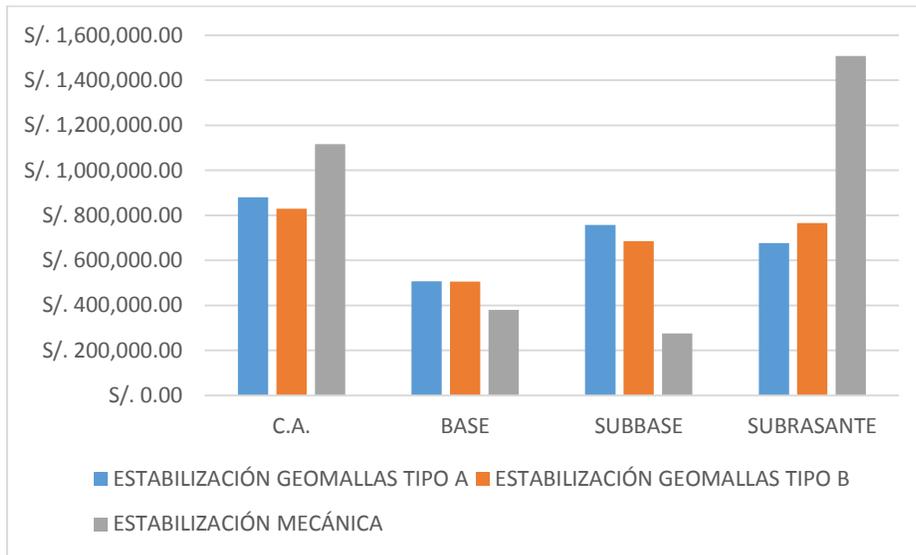
CAPAS	ESTABILIZACIÓN GEOMALLAS		ESTABILIZACIÓN MECÁNICA
	TIPO A	TIPO B	
C.A.	S/. 880,023.42	S/. 829,048.81	S/. 1,116,737.21
BASE	S/. 507,575.22	S/. 505,909.55	S/. 379,432.17
SUBBASE	S/. 757,126.10	S/. 685,279.25	S/. 275,194.61
SUBRASANTE	S/. 677,397.83	S/. 766,103.97	S/. 1,508,232.17
TOTAL	S/. 2,822,122.58	S/. 2,786,341.58	S/. 3,279,596.16

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 31 podemos observar que mientras que para las partidas de base granular y subbase granular el costo según la estabilización mecánica del suelo de la subrasante es menor que los costos según la estabilización del suelo de la subrasante utilizando geomallas tipo A y tipo B, los costos en las partidas de carpeta asfáltica y de mejoramiento de la subrasante según la estabilización mecánica del suelo de la subrasante es mayor que según la estabilización del suelo de la subrasante utilizando geomallas.

Estas diferencias en los costos son producto de los espesores calculados según los tipos de estabilización del suelo de la subrasante.

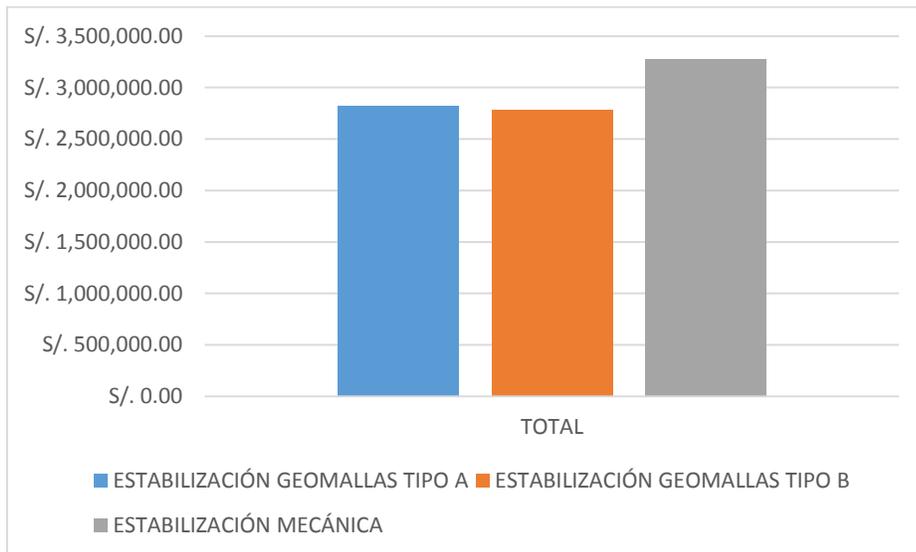
Ilustración 30: Costos por partidas según tipo de estabilización



Fuente: Elaboración propia

Los costos totales considerando las partidas analizadas según el tipo de estabilización del suelo de la subrasante se pueden apreciar en la Ilustración 31:

Ilustración 31: Costos totales según tipo de estabilización.



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

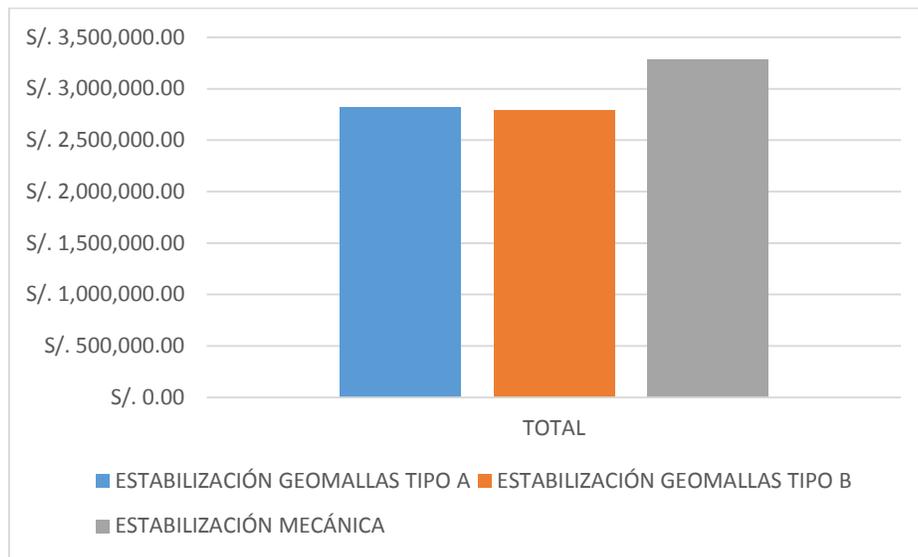
- El costo de las partidas analizadas realizando la estabilización mecánica previamente explicada, que incurre en la subbase granular, base granular, carpeta asfáltica y el mejoramiento de subrasante; es considerablemente mayor que el costo de estas partidas analizadas realizando la estabilización con geomallas de la subrasante; lo cual amplía la ventaja de la estabilización con geomallas sobre la estabilización mecánica; esta diferencia se debe en parte al metrado de dichas partidas ya que con la colocación de geomallas no solo se reduce el costo de material de préstamo, si no que se reduce el metrado de las capas del pavimento flexible ya que el espesor de estas se reduce.

Tabla 61: Resumen de los costos para todos los tramos de mejoramiento

CAPAS	ESTABILIZACIÓN GEOMALLAS		ESTABILIZACIÓN MECÁNICA
	TIPO A	TIPO B	
C.A.	S/. 880,023.42	S/. 829,048.81	S/. 1,116,737.21
BASE	S/. 507,575.22	S/. 505,909.55	S/. 379,432.17
SUBBASE	S/. 757,126.10	S/. 685,279.25	S/. 275,194.61
SUBRASANTE	S/. 677,397.83	S/. 766,103.97	S/. 1,508,232.17
TOTAL	S/. 2,822,122.58	S/. 2,786,341.58	S/. 3,279,596.16

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32: Costos totales según tipo de estabilización.



Fuente: Elaboración propia

- La estabilización de subrasantes con geomallas biaxiales aumenta la resistencia del pavimento flexible, y esto se nota en el aumento del Número Estructural, que es un número abstracto que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento para las condiciones como la calidad del suelo, las condiciones de tráfico, la variación de serviciabilidad durante la vida útil del pavimento y condiciones ambientales.
- Con el uso de geomallas como forma de estabilizar la subrasante y reforzamiento de subbases y bases granulares no solo disminuimos costos, lo cual son una base importante de un proyecto, sino que además, al reducir los espesores de las capas del pavimento, se tendrá menor requerimiento de material granular, lo cual es un aporte al impacto ambiental que causa los proyectos de carretera.
- La disminución del costo del pavimento se refleja no sólo en el material sino también en la mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en la excavación, transporte e instalación de la geomalla, así como en los gastos generales variables, ya que al tener menos tiempo se gastará menos en el salario de los ingenieros y demás personal necesaria para la obra.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar el diseño y la utilización de los geotextiles en especial, las geomallas para la construcción o mejoramiento de carreteras, ya que como profesionales debemos estar en constante desarrollo y al tanto de los nuevos productos que la tecnología nos proporciona con el paso del tiempo.
- En proyectos donde el suelo de la subrasante está sujeto a condiciones de humedad o presencias de agua continuas u ocasionales, se recomienda el uso de geotextiles altamente permeable para que permita un drenaje rápido de los suelos de subrasante a parte de la colocación de las geomallas.
- Las geomallas no solo sirven para estabilización de los suelos de la subrasante, si no que se recomienda también diseñar los pavimentos y construir bases y subbases reforzadas con geomallas, para poder disminuir el espesor de estas y tener un mejor comportamiento de la estructura del pavimento.
- Se recomienda el uso de geomallas hasta subrasantes de CBR de 7% ya que para CBR 8% se va igualando los costos y para mayores CBR el costo del sistema convencional es menor que con el uso de geomallas biaxiales, aunque no en tiempos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

330/98, NLT. CALCULO DEL INDICE DE REGULARIDAD (IRI) EN PAVIEMNTOS DE CARRETERAS.

AASHTO. 1993. *AASHTO, Guide for Dising Of Pavement Structures.* Washington D.C. : American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.

American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *Guía para el diseño de estructuras de pavimento.* Washington : AASHTO, 1993.

American Society for Testing and Materiales. 1997. *ASTM D4439 Standard Terminology for Geosynthetics .* 1997.

Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados . Pradena Miquel, Mauricio. 2006. 2006, Revista de la Construcción, págs. pp. 16-22.

ANDER-EGG, EZEQUIEL. 2011. APRENDER A INVESTIGAR. *APRENDER A INVESTIGAR.* CORDOBA : ARGENTINA, 2011.

AQUAPRUF S.A. *Manual de instalacion de geomembranas de polietileno HDPE.* Medellín : s.n.

BASF The Chemical Company. *Geocompuestos drenantes.*

Beltrán B., Carlos Arturo. 2013. Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio Museo Nacional. Bogotá, Colombia : s.n., 2013.

Bonterra Ibéroca S.I. *Geoceldas Bonterra para la estabilización de suelos.*

COMUNICACIONES, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y. 2013. MANUAL DE CARRETERAS, SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS. [aut. libro] MIKNISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. *MANUAL DE*

CARRETERAS, SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS. LIMA-PERU : s.n., 2013.

—. 2013. MANUAL DE CARRETERAS, SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS. *MANUAL DE CARRETERAS, SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS*. LIMA-PERU : s.n., 2013.

Danilo Galecio Castillo TDM. 2009. *Uso de geomallas biaxiales camiiinos - Sistema Spectra (R)*. 2009.

Departamento de Ingeniería de Geosistemas Pavco. *Soluciones con geotextiles tejidos y no tejidos*.

Department of the army U.S. Army Corps of Engineers. 2003. *Use de geogrids in pavement construction*. Washington : s.n., 2003.

Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) . Vargas, Gustavo Badilla. 2008-2009. 2008-2009.

Florez Gonzales , Leonardo. 2012. *Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles de carreteras de bajo Volumen de Transito*. Lima : s.n., 2012.

Geosistemas Pavco. *Manual de software de diseño Geosoft Pavco*.

Granados Villafuerte, Francisco Javier. 2012. *Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD*. 2012.

Gutiérrez Lázares, José W. 2007. *Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con fines de Análisis y Diseño en el Perú*. Lima : s.n., 2007.

Hanser López, José A. 2008. *Analisis de la Evaluacion Tecnica y Economica de Proyectos viales con el Modelo de estandares de Conservacion y Diseño de Carreteras*. Guatemala : s.n., 2008.

Hoffman , Mario S. y Del Aguila , Pablo M. 1985. *Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones.* s.l. : Louis Berger Internacional Inc., 1985.

Huang, Yang H. 1993. *Pavement Analysis and Disign.* s.l. : Person Prentice- Hall, Inc., 1993.

Ibañez, Walter. 2011. *Costos y Tiempos en Carreteras.* Lima : Editorial Macro EIRL, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA. 2005. *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.* 2005.

Kraemer C, Rocci S. 2004. *Ingenieria de Carreteras Vol.2, 1ª ed.* s.l. : Editorial McGraw Hill, 2004.

Ministerio de Obras Públicas y comunicaciones. 2002. *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.* Quito : s.n., 2002.

Ministerio de tranportes y comunicaciones. 2013. *Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para la construcción EG - 2013.* Lima : s.n., 2013.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2014. *Manual de Carreteras Suelos, Geologia, Geotecnia y Pavimentos.* Perú : MTC, 2014. R.D. N° 10-2014-MTC/14.

Montejo Fonseca, Alfonso. 2006. *Ingeniería de Pavimentos; Fundamentos, estudios básicos y diseño.* Bogota : Universidad Católica de Colombia, 2006.

National Highway Institute. 1998. *Geosynthetic desing and construction guidelines.* Virginia : s.n., 1998.

Palma, Ismael. 2012. *Estabilización y refuerzo en vías con geomallas biaxiales.* Cancún, Quintana Roo, México : s.n., 14 de Noviembre de 2012.

ROBERTO HERNANDEZ SAMPIERI, CARLOS FERNANDEZ CALLADO. 2010. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION|. *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. MEXICO D.F. : MCGRAW-HILL, 2010.

Ruiz, Tracy Gutiérrez. 2004. *ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL*. 2004.

Systems, Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement. 2012. ASTM E867 - 06. *Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*. 2012.

Tello Villarruel, David TDM Perú. *Uso de geomallas en caminos mineros*.

Tensar Earth Technologies, Inc. Sistemas para pavimentos Mejoramiento de subrasantes: Construcción sobre suelos blandos.

Torres, Erick Arnaldo Caballeros. 2006. *UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA COMO REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006.