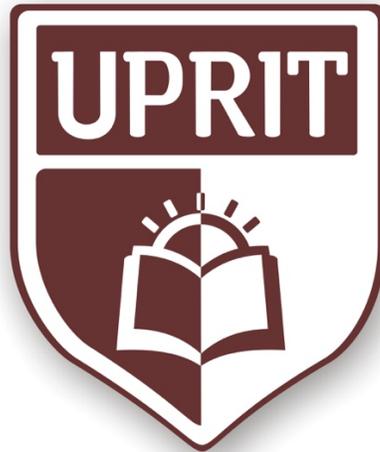


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN  
ASFALTICA CATIONICA, CARRETERA YAURI - DESVIO  
LIVITACA (7 CURVAS) REGIÓN CUSCO - 2018**

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

**AUTOR: BACHILLER. RAÚL ENRIQUE TORRES ARENAS**

**ASESOR: Ing. Mg. ENRIQUE DURAND BAZÁN**

**TRUJILLO – PERÚ  
2019**



---

## APROBACIÓN DE LA TESIS

**El asesor y los miembros del jurado evaluador asignado aprueban la tesis desarrollada por el Bachiller Raúl Enrique Torres Arenas, denominado: DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA, CARRETERA YAURI - DESVIO LIVITACA (7 CURVAS) REGIÓN CUSCO - 2108**

---

**Ing. Mg. Enrique Durand Bazán  
PRESIDENTE**

---

**Ing. Mg. Guido Marín Cubas  
SECRETARIO**

---

**Mg. Josualdo Villar Quiroz  
VOCAL**



***Dedicatoria:***

*A Luciana y Gabriela mis hijas motivos de inspiración, constancia y perseverancia que no me permiten desfallecer y Beatriz mi amada, por todo su invariable apoyo en todo este tiempo y desde mucho más antes.*

*A Magdalena mi madre, quien siempre deseó verme realizado como profesional, a mis hermanos: Joel, Marisela, Luis y Efraín por cada uno de sus afectos y todos sus aportes en mi vida.*

*A Zenobia en el cielo y Ceferina madres para toda la vida, por siempre estar conmigo.*

*...Para todos ustedes, con mi más profundo respeto y gratitud perpetua.*

*Gracias.*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a Dios por, sobre todo, por tantas oportunidades y precisando que sin el nada somos, a todas las personas que me apoyaron a lo largo de estos años de dura andadura por la ciudad de Trujillo y la Universidad Privada de Trujillo.

Mi especial agradecimiento y reconocimiento a la Universidad de Privada de Trujillo, a los profesores de la carrera profesional de Ingeniería civil, quienes con su apoyo permanente del campo de las ciencias y la tecnología ha hecho posible la culminación de nuestra carrera profesional. Mi agradecimiento muy sincero al Ing. Enrique Durand, asesor de la presente tesis; quien con su apoyo permanente y estímulo constante en la búsqueda del conocimiento y la información relevante hicieron posible la culminación de la presente tesis en la que vuelco todas mis inquietudes y experiencias.

Deseo mostrar mi más sincero agradecimiento a mis compañeros de clase y amigos, que han hecho que este duro trajinar como es el estudio de la carrera de ingeniería civil se llevara de forma más amena, ya no solo como facultad de ingeniería ha servido para formarme como ingeniero, sino que en ella he encontrado muchas cosas más. Me ha formado como ingeniero, ha hecho que madurara y pude encontrar amigos, que son ya parte de mi familia.

No quería pasar por alto la oportunidad de agradecer a todos los profesores que tuve durante mi vida académica, no sólo en esta universidad, también a los docentes que me instruyeron desde pequeño, porque entre todos han formado la base para que hoy pueda ser lo que soy. Para todos ellos, mi reconocimiento y que me ofrecieron la posibilidad de trabajar en este proyecto que creo es tan fascinante y bonito, a la par que difícil para mí, y que muy seguro de este, es un proyecto de actualidad y una forma de contribuir con la investigación sobre el tema.

Por todo ello, mi agradecimiento más sincero a todos.



## INDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Realidad problemática. ....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Formulación del problema.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. Justificación.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>16</b>
1.4.1. Objetivo General.....	16
1.4.2. Objetivos Específicos. ....	16
<b>1.5. Antecedentes. ....</b>	<b>16</b>
1.5.1. Cita de autores .....	18
<b>1.6. Bases Teóricas.....</b>	<b>21</b>
1.6.1. Clasificación de las carreteras en nuestro país .....	22
1.6.2. Sistema nacional de carreteras.....	24
1.6.3. Pavimentos.....	25
1.6.4. Emulsiones asfálticas.....	33
1.6.5. Estudios necesarios para el diseño de pavimentos .....	45
<b>1.7. Definición de términos básicos. ....</b>	<b>56</b>
1.7.1. Base: .....	56
1.7.2. Base estabilizada:.....	56
1.7.3. Carretera: .....	56
1.7.4. Carretera no pavimentada:.....	57
1.7.5. Emulsión asfáltica:.....	57
1.7.6. Estabilidad: .....	57
1.7.7. Asfalto: .....	57
<b>1.8. Formulación de la hipótesis. ....</b>	<b>57</b>
<b>1.9. Línea de Investigación.....</b>	<b>58</b>
<b>II. MATERIAL Y METODOS .....</b>	<b>59</b>
<b>2.1. Material: .....</b>	<b>59</b>
2.1.1. Materiales de trabajo.....	59
2.1.2. Humano.....	59
2.1.3. Servicios. ....	59
<b>2.2. Material de estudio. ....</b>	<b>60</b>
2.2.1. Población. ....	60
2.2.2. Muestra. ....	64
<b>2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....</b>	<b>64</b>
2.3.1. Para recolectar datos. ....	64
2.3.2. Para procesar datos. ....	64
<b>2.4. Operacionalización de variables. ....</b>	<b>65</b>
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>



---

<b>3.1. Levantamiento topográfico.....</b>	<b>66</b>
3.1.1. Poligonal de apoyo .....	66
3.1.2. Elementos de curva.....	66
3.1.3. Resultados.....	68
<b>3.2. Estudio de tráfico.....</b>	<b>69</b>
3.2.1. Características del tramo de estudio: .....	69
3.2.2. Índice medio diario anual: .....	69
3.2.3. Estimación del tránsito futuro:.....	71
3.2.4. Factor de carga equivalente: .....	71
3.2.5. Proyección del IMDa:.....	72
3.2.6. Tránsito de diseño:.....	73
3.2.7. Resultados.....	75
<b>3.3. Espesores mínimos requeridos .....</b>	<b>75</b>
<b>3.4. Estudios pluviométricos .....</b>	<b>76</b>
3.4.1. Estación: .....	77
3.4.2. Clima: .....	77
3.4.3. Registro de lluvias diarias al mes y precipitaciones promedio anuales .....	79
3.4.4. Resultados.....	80
<b>3.5. Estudio de Suelos .....</b>	<b>80</b>
3.5.1. Análisis Granulométrico por tamizado .....	80
3.5.2. Determinación del Limite Líquido .....	84
3.5.3. Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos,.....	90
3.5.4. Relaciones Humedad - Densidad (Proctor Modificado).....	94
3.5.5. CBR .....	100
<b>3.6. Diseño de mezcla MARSHALL MODIFICADO.....</b>	<b>109</b>
3.6.1. Metodología de diseño.....	109
3.6.2. Selección y control de calidad de materiales.....	110
3.6.3. Contenido de ligante asfáltico .....	111
3.6.4. Contenido total de agua en la mezcla .....	112
3.6.5. Preparación de la muestra.....	112
3.6.6. Ensayo y análisis de diseño final .....	113
3.6.7. Determinación del contenido óptimo de asfalto .....	113
<b>IV. DISCUSIÓN.....</b>	<b>115</b>
<b>4.1. Análisis granulométrico .....</b>	<b>115</b>
<b>4.2. Cálculo del contenido teórico de asfalto .....</b>	<b>119</b>
<b>4.3. Cálculo del contenido total de agua en la mezcla .....</b>	<b>120</b>
<b>4.4. Cálculo y resultados de ensayos en probetas de diseño.....</b>	<b>121</b>
<b>4.5. Análisis de propiedades en la mezcla asfáltica.....</b>	<b>129</b>
<b>4.6. Cálculo del contenido óptimo de asfalto .....</b>	<b>131</b>
<b>4.7. Análisis y evaluación económica .....</b>	<b>133</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>136</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>138</b>

---

---

<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>139</b>
<b>IX. ANEXOS.....</b>	<b>141</b>
<b>9.1. Resultado de laboratorio de suelos .....</b>	<b>141</b>
<b>9.2. Panel fotográfico .....</b>	<b>141</b>
<b>9.3. formatos.....</b>	<b>141</b>
<b>9.4. Planos.....</b>	<b>141</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Red vial del departamento del cusco.....	24
Tabla 2 Participación de la red vial Cusco a nivel nacional.....	24
Tabla 3 Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	36
Tabla 4 Cuadro de variables.....	65
Tabla 5 Punto geodésicos.....	66
Tabla 6 Conteo volumétrico del trafico.....	70
Tabla 7 Tasa de crecimiento de la vía Yauri Dv. Livitaca.....	71
Tabla 8 Factor de carga.....	72
Tabla 9 Proyección IMDa.....	73
Tabla 10 Parámetros de diseño para el pavimento flexible.....	74
Tabla 11 Números de ejes equivalente.....	75
Tabla 12 Números de ejes equivalentes vs espesores de escarificado en base granular.....	76
Tabla 13 Ensayos requeridos para Marshall.....	113
Tabla 14 Granulometría cantera Cañipia.....	116
Tabla 15 Granulometría Base granular + cantera Cañipia.....	117
Tabla 16 Requerimientos mínimos para ensayos de Emulsión.....	118
Tabla 17 Contenido de agua premezcla.....	121
Tabla 18 Contenido total de agua en mezcla.....	121
Tabla 19 Resultado de densidad de Bulk.....	122
Tabla 20 Contenido de humedad.....	123
Tabla 21 Porcentaje de humedad absorbida.....	124
Tabla 22 Resultado Densidad seca Bulk.....	125
Tabla 23 Resultado Máximo total de vacíos.....	126
Tabla 24 Porcentaje de vacíos en agregado.....	126
Tabla 25 Resultados de Estabilidad y Flujo.....	127
Tabla 26 Factor de corrección.....	127
Tabla 27 Resultados de estabilidad corregida.....	128
Tabla 28 Resultado de perdida de estabilidad.....	129
Tabla 29 Resultados Estabilidad vs Asfalto residual.....	131
Tabla 30 Resumen de resultados variando cantidad de asfalto.....	131
Tabla 31 Parámetros de MS-14.....	132
Tabla 32 Resultado del Diseño de mezclas.....	133
Tabla 33 Costo unitario Base granular - Afirmado.....	134
Tabla 34 Costo unitario Base granular - Estabilizada.....	134
Tabla 35 Resumen de precios unitarios.....	135

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de reciclado.....	32
Figura 2 Tipos de superficie de rodadura.....	33
Figura 3 Diagrama esquemático de la emulsión .....	34
Figura 4 Esquema de emulsión aniónica y catiónica .....	35
Figura 5 Ubicación del proyecto .....	61
Figura 6 Localización del proyecto.....	62
Figura 7 Sección típica de la vía Yauri Dv. Livitaca .....	63
Figura 8 Distribución de volumen de tránsito.....	70
Figura 9 Mapa de clasificación climática del Perú .....	78
Figura 10 Precipitaciones medias mensuales y anuales .....	79
Figura 11 Curvas obtenidas en ensayos de CBR .....	105
Figura 12 Flujo para diseño de mezclas .....	110
Figura 13 Estabilidad húmeda y seca vs Contenido de asfalto .....	129
Figura 14 Perdida de estabilidad vs Asfalto.....	130

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado: "Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica cationica de la carretera Yauri desvío Livitaca (7 Curva) Región Cusco, 2018", tiene como objetivo general la determinación de un diseño de mejoramiento óptimo con una base estabilizada con emulsión asfáltica cationica para un tramo de la carretera Yauri – Desvío Livitaca (7 curva). Carretera que abarca para este fin de investigación los distritos de Coporaque y Livitaca pertenecientes a las provincias de Espinar y Chumbivilcas respectivamente, en la región Cusco.

La longitud acumulada entre las 7 curvas de la carretera Yauri Desvío Livitaca es de 1.97 km, ancho de calzada de 9.0 m y por su topografía accidentada y su clima la hacen muy particulares, ya que en el Perú las vías de comunicación más utilizadas dentro del territorio son las terrestres. Las carreteras permiten optimizar los tiempos de recorrido de los vehículos debido al diseño de su capa de rodadura. Es así como un buen diseño de estas carreteras es necesario para garantizar su correcto desempeño y durabilidad.

Para lo mismo se realizaron estudios de topografía, estudio de tráfico, estudio pluviométrico y el estudio de mecánica de suelos. Este trabajo de investigación es experimental, descriptiva, la población y muestra es la todo el tramo de la carretera Yauri desvío Livitaca. La recolección de datos, así como el procesamiento de datos se realizaron en campo y en los laboratorios de mecánicas de suelos. Como resultado se obtuvo los datos. En tal sentido esta tesis contempla el diseño del pavimento de 1,970 m de distancia acumulada en carretera, utilizando diferentes metodologías con el fin de determinar la opción más económica.

## ABSTRAC

The present research work called: "Treatment of stabilized base with emulsion asphalt cationic of the road Yauri deviation Livitaca (7 curve) region Cusco, 2018", has as general objective the determination of a design Optimum improvement with a stabilized base with asphalt emulsion cationic for a stretch of the road Yauri – Detour Livitaca (7 bend). Road that covers for this purpose of investigation the districts of Coporaque and Livitaca belonging to the provinces of Espinar and Chumbivilcas respectively, in the region Cusco.

The accumulated length Between the 7 curves of the road Yauri deviation Livitaca is 1. 97 Km, 9.0 m wide carriageway and its rugged topography and its climate make it very particular, since in the Peru the most used communication routes within the Territory are terrestrial. The roads allow to optimize the travel times of the vehicles due to the design of its rolling layer. This is how a good design of these roads is necessary to ensure their proper performance and durability.

For the same studies were carried out topography, traffic study, rainfall study and the study of soil mechanics. This research work is experimental, descriptive, population and sample are the entire stretch of the road Yauri bypass Livitaca. Data collection and data processing were carried out in the field and in the soil mechanics laboratories. As a result, data was obtained. In Such Sense this thesis contemplates the design of the pavement of 1.970 m of accumulated distance in Road, using different methodologies in order to determine the most economical option.

## I. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Realidad problemática.

En nuestro país y como en la mayoría de los países del mundo, el medio de comunicación más utilizado dentro de las naciones y sus intercambios sociales, culturales, económicos; es el medio de transporte terrestre. Dentro de estas se encuentran los caminos, carreteras, etc. Las carreteras permiten optimizar los tiempos de recorrido de los vehículos debido al diseño de su superficie de rodadura. Es así, que un buen diseño de estos caminos, son necesarios para garantizar el correcto desempeño y su durabilidad en el tiempo de esta infraestructura y sus elementos.

El sistema de Transporte en el Departamento del Cusco responde en su configuración y funcionamiento al proceso histórico de nuestra economía caracterizada por su tendencia a orientar las vías y la prestación del servicio hacia la costa y teniendo a Lima como gran centro gravitatorio regional; Generándose la dependencia hacia la capital (Lima).

Por ello y mediante Decreto Supremo N.º 033-2002-MTC publicado el 12.07.2002, se crea el Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional – PROVIAS NACIONAL, como unidad ejecutora del pliego del MTC, encargado de las actividades de preparación, gestión, administración y ejecución de proyectos de infraestructura de transporte como construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura de transportes relacionada a la Red Vial Nacional, así como de la planificación, gestión y control de actividades y recursos económicos que se emplean para el mantenimiento y seguridad de las carreteras y puentes la Red Vial Nacional (Provias nacional – 2018)

La vía Yauri – Dv Livitaca corresponde a un tramo de El Corredor vial: EMP. PE – 3S (DV. Abancay) –Chuquibambilla - DV. Challhuahuacho – Santo Tomás - Velille – Yauri – Héctor Tejada - EMP. PE – 3S (Ayaviri)”, Los trabajos para su mantenimiento, se iniciaron el 20/05/2010 por un periodo de 05 años, habiéndose concluido el 19/05/2015

Esta tesis: Tratamiento con base estabilizada con emulsión asfáltica cationica, carretera Yauri – Desvío Livitaca, se tuvo inconvenientes sociales que

interfirieron el desarrollo de los trabajos, así como el uso de canteras apropiadas. Por esta circunstancia y considerando que la obra es provisional a corto plazo, se utilizó la cantera ubicada en la Curva N°07, para colocar una capa de 30 cm. de espesor sobre la subrasante.

Considerando que la obra definitiva no tiene posibilidad de ejecución a corto plazo y teniendo en cuenta la cercanía a la época de lluvias en la zona. Las mismas que año a año dificultan el tránsito normal de los vehículos provinciales de la zona. Por lo mismo es necesario implementar la superficie de rodadura con una capa de base estabilizada con arena gruesa y emulsión asfáltica cationica, CSS-1 ó CSS-1H. El presente estudio, plantea la alternativa adicional, conformado por una base de material granular y una capa con material granular estabilizado con emulsión asfáltica cationica de rotura lenta.

La infraestructura vial está conformada por vías de diferentes tipos de superficie de rodadura y distribuidas según la importancia del ámbito a la que apoyan en la prestación del servicio. La red vial existente en el departamento de Cusco al año 2,003 fue de 5,435.43 Km. de longitud, dentro de la cual el 14.9% corresponde a la red vial nacional, el 32.0% a la red vial departamental y el 53.1% a la red vecinal. El 8.5% del sistema de red vial de Cusco está asfaltado; el 40.5% está afirmado, el 17.7% son carreteras sin afirmar y un 33.3% son únicamente trochas. (GRC-2017)

La rehabilitación de carreteras mediante la estabilización de bases granulares, es una alternativa muy utilizada por diferentes países en todo el mundo, debido a las múltiples ventajas que esta ofrece. Sobre todo, económicas.

En nuestro país, los usos y conocimientos sobre el tema son muy genéricos y de uso es puntual, para que estas puedan demostrar las múltiples ventajas técnicas, económicas y ambientales que esta alternativa ofrece. Además, la escasez de trabajos de investigación que sustenten el empleo de esta metodología no ha permitido que los trabajos de tratamiento de base estabilizada se han considerado dentro de las especificaciones técnicas generales vigentes, originándose una brecha entre estas normas y nuevas técnicas de rehabilitación de carreteras, desarrollados en otros países.

El uso de métodos tradicionales de rehabilitación de vías, originan sobrecostos y un manejo no racionalizado de los recursos existentes (Uso de los materiales existentes en la zona), al no ser estos reaprovechados de manera adecuada y

siendo sustituidos por otros tipos de materiales que requieren en muchos casos, estos materiales demandan de costo y tiempo; En la presente tesis se evaluará las propiedades físicas y mecánicas del material de base granular en tramos de la carretera Yauri – Dv Livitaca existentes en las 7 Curvas de la vía en mención, materiales de aporte y la misma base granular existente en la vía, de estos resultados se determinan alternativas técnicas y económicas viables para su aplicación.

Todas las mezclas asfálticas en frío, que emplean como ligante una emulsión asfáltica, tienen poca utilización, porque en la mayoría de los casos se prefieren las mezclas en caliente y lo que su implementación involucra.

Sin embargo, la mezcla asfáltica en frío permite utilizar una gran variedad de materiales granulares de diferentes canteras y tipos de emulsiones asfálticas, que al combinarlos son aplicables en la reparación de pavimentos deteriorados, en la capa de rodadura o para la construcción de una nueva calzada, seleccionando la que más se adapte a las características del proyecto.

Esta vía presenta secciones cuya plataforma en ancho es variable entre 3.0 m, y 4.0 m con cunetas laterales no revestidas, en algunos tramos críticos el ancho de la vía es de 2.5 m a 3.0 m., en tramos de intervalos menores a 100m., la superficie de rodadura de la carretera Yauri – Desvió Livitaca se encuentra asfaltada con tratamiento de slurry seal, con algunas zonas a nivel de subrasante.

El presente trabajo de investigación: Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica cationica, carretera Yauri – Dv Livitaca (7 curvas) en la región Cusco, del tramo en estudio se encuentra ubicado entre los 4,200 m.s.n.m. y 4,600 m.s.n.m., esta vía se encuentra conformados por tramos sinuosos, siguiendo la topografía accidentada, propias de la serranía del Perú.

Es por ello, que esta investigación fue desarrollada y tiene como uno de sus principales propósitos, realizar los ensayos necesarios para un tramo de la sierra alto andino, perteneciente a la región Cusco, cuyo clima se caracteriza por ser frío, siendo este tramo, parte de la vía de la carretera Ayaviri - Yauri – Santo Tomas – Challhuahuacho PE-3SG (Ramal) Tramo Yauri – Dv Livitaca. La misma se aplica a un tramo total de 1,970 m (7 curvas) este tramo tiene un problema singular a diferencia de los otros tramos, los valores de la capacidad de soporte del terreno de fundación - subrasante son muy bajos, promedio de 5% y considerando el desgaste prematuro del nivel afirmado en las curvas por

la fricción generado por los vehículos. Dentro de la propuesta se considera el tratamiento de la base estabilizada con emulsión asfáltica cationica de la carretera Yauri Dv Livitaca (7 Curvas), El material a adicional a usarse, será la emulsión asfáltica cationica de rotura lenta, así mismo la adición con el material de cantera de rio que se utilizará en la capa base del pavimento, considerando para el diseño el método del Instituto de asfalto e Illinois con una proyección de tráfico para un periodo de 5 años.

## **1.2. Formulación del problema.**

¿Cuál es el diseño que se debe considerar para el tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica de la vía: ¿Carretera Yauri – Desvió Livitaca (7 Curvas), Región Cusco - 2018?

## **1.3. Justificación.**

Desde el Punto de vista de la relevancia social, el presente trabajo contribuirá a la búsqueda de soluciones más económicas para pavimentación de vías como es el mejoramiento mediante la estabilización con emulsión asfáltica. De las soluciones para el mejoramiento de las propiedades del suelo para carreteras las más conocidas y antiguas son la estabilización mecánica (mezcla de suelos) y la utilización de cal y cemento, pero de acuerdo con el avance tecnológico, en el mundo se vienen desarrollando nuevas técnicas para la estabilización de suelos empleando productos asfálticos, siendo la que más desarrollo ha tenido hasta la actualidad. En el Perú, la utilización de estabilizadores asfálticos para mejorar las características físico-mecánicas de los suelos de fundación de las carreteras se ve restringido por la escasa información y experiencia existente hasta la actualidad en el territorio patrio.

Desde el punto de su aporte metodológico, el presente trabajo servirá de guía para próximos trabajos similares de diseño de soluciones de base estabilizada con emulsión asfáltica.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Determinar el diseño óptimo con una base estabilizada con emulsión asfáltica cationica para un tramo de la carretera Yauri – Desvío Livitaca (7 curva). La longitud acumulada será de 1. 97 Km. Se realizará el diseño de la mezcla para el aprovechamiento de la base granular existente en la vía con la aplicación de emulsión asfáltica cationica de rotura lenta. El diseño se realizará mediante la metodología del Instituto del Asfalto (IA)

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- 1) Ejecutar levantamiento topográfico, para definir los cortes y elevaciones en terreno. Del mismo se generarán los volúmenes de aporte en cada sector de la vía.
- 2) Elaborar el Estudio de Tráfico de la Carretera Yauri – Desvío Livitaca (7 curva).
- 3) Realizar estudios pluviométricos, que nos permitan determinar un registro pluviométrico.
- 4) Determinar el espesor de la base estabilizada el tráfico existente.
- 5) Realizar mediciones del aporte estructural con la mezcla del material de cantera que se utilizará con la capa base del pavimento existente. Para esto se realizará ensayos de mecánica de suelos para determinar los valores de abrasión de los ángeles, análisis de granulometría, CBR, Proctor, límites de atterberg.
- 6) Definir el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para la base estabilizada de la carretera Yauri desvío Livitaca (7curva).
- 7) Determinar el costo de la solución propuesta.

## **1.5. Antecedentes.**

Nuestra infraestructura del transporte y especialmente el de las carreteras, son muy importantes en su participación como parte fundamental en el crecimiento y desarrollo de cualquier país, dado que el transporte de productos y pasajeros, así como el de carga, demostró una gran influencia en el desarrollo en la economía sostenible en cualquier del mundo, con el

incremento de la producción, del consumo y mejora del nivel de vida de las poblaciones beneficiadas Pérez, (2005).

Con respecto a la infraestructura vial en el Perú, esta está compuesta por más de 78 000 km de carreteras y autopistas, donde el objetivo de la actual gestión del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) es pavimentar el 85 % de la red vial, siendo la prioridad el asfaltado de la carretera longitudinal de la Sierra. Para Julio del 2016, solo resta el 15% del objetivo previsto por el MTC. Esto demuestra un gran avance en la construcción de infraestructura vial en el Perú, dado que para el año 2011 solo se tenía 53.6 % de vías asfaltadas. Dividiéndose en tres categorías de acuerdo con su magnitud y distancias de recorrido: vecinal, departamental y nacional MTC, (2015), comprobando así el interés y compromiso del Estado por aportar al desarrollo y crecimiento del país a partir de la construcción de vías. Siendo uno de los objetivos del Estado, a partir del desarrollo de las redes viales, reducir los costos de transporte, haciendo viable mejorar la calidad de vida de los pobladores de las zonas rurales del país, debido al aumento de producción en los terrenos agrícolas Gallardo (2016).

Y con respecto a la tecnología y sus procesos para la construcción de carreteras, en el Perú, estos han evolucionado en gran medida debido a mejores técnicas, tecnologías y materiales estipulados por el MTC a partir del manual de “Especificaciones técnicas generales para construcción” (MTC, 2013), en donde se detallan todas las tecnologías y materiales a utilizar como asfalto, concreto, entre otros. Junto con el uso adecuado de la aplicación del asfalto como, por ejemplo: la colocación del asfalto en caliente y en frío de acuerdo con las características del terreno, el tipo de suelo, condiciones climáticas de la zona en la cual se realizará el proyecto, entre otras características para que la elaboración de la carretera se realice de forma correcta.

En la mayoría de los trabajos de obras viales, todos los materiales de calidad no están disponibles para la construcción de caminos, por lo que es recurrente el uso de materiales de aporte o préstamo, más los costos de transporte y su misma explotación son muy elevados, por lo que se optan positivamente y bajo la necesidad, al desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos más cercanos posibles y utilizar los recursos in situ. En muchas ocasiones, los resultados requeridos pueden obtenerse de materiales locales, a través de la incorporación de aditivos a un costo relativamente bajo. Sin embargo y como lo describen muchos autores especialista en el tema: Existe

una percepción errónea en relación al objetivo de los estabilizadores, su comportamiento y aún más importante, cuando se debieran considerar o descartar el uso de los distintos agentes estabilizadores, razón por la cual la presente investigación realizará propuestas de aplicación de productos para la utilización en el mejoramiento de la capacidad portante de la base granular existente, en la carretera Ayaviri – Yauri – Santo Tomas – Challhuahuacho PE-3SG (Ramal) Tramo Yauri – Dv Livitaca, teniendo como objetivo específico diseñar el pavimento con base estabilizada a nivel de base, mediante ensayos de laboratorio de manera que se compruebe y compare las mejoras de sus propiedades de capacidad de soporte y otros. Además de esto los ensayos permitirán observar si las dosificaciones son adecuadas para el tipo de terreno, clima y condiciones varias. A continuación, se detallarán algunos trabajos de investigación realizados anteriormente con emulsiones asfálticas, de los mismos que se logran extraer sus resultados y conclusiones para mejorar la presente.

### 1.5.1. Cita de autores

- *En el Perú, según De la Cruz (2010), en su tesis “Diseño y Evaluación de un Afirmado Estabilizado con Emulsión Asfáltica, Aplicación: Carretera Cañete – Chupaca”, nos indica:*
- La ventaja de la utilización de la emulsión considera la no necesidad del calentamiento de esta. La presencia de humedad y la baja viscosidad del ligante. Permiten que los agregados tengan un buen recubrimiento a temperatura ambiente.
  - El uso de mezclas asfálticas en frío no requiere el uso de equipos sofisticados, por lo cual, su uso es apropiado en zonas remotas y con no tan altos recursos económicos.
  - Dado que en suelos no cohesivos la emulsión les brinda cohesión y se busca el incremento de su resistencia y en suelos finos cohesivos se busca que la emulsión le añada estabilización ante la presencia del agua y presente buena resistencia. Para la obtención del óptimo contenido de emulsión asfáltica se usa el Ensayo del CBR o el Método Marshall Modificado.

➤ ***En Ecuador, según la Universidad Técnica Manabí. (2011) Tema: “Mejoramiento de Materiales Granulares con Emulsiones ASFálticas para Bases de Pavimentos en las Vías de Tercer Orden o de Penetración de la Provincia De Manabí”***

- La composición óptima para el mejoramiento de materiales granulares con emulsión asfáltica es variable dependiendo de la granulometría del material y de la plasticidad de estos, durante la investigación se consiguieron buenos resultados en:
- Materiales de granulometría comprendida entre menos de 4” y 3/8” con un 28% de material menor a esta característica + 8.5% de emulsión asfáltica= 850 libras de estabilidad.
- Materiales de granulometría comprendida entre menos de 2 ½” y 3/8” con un 52% de material menor a esta característica + 8% de emulsión asfáltica= 720 libras de estabilidad.
- Materiales de granulometría comprendida entre menos de 4” y 3/8” con un 48% de material menor a esta característica + 7.8% de emulsión asfáltica= 830 libras de estabilidad La emulsión asfáltica empleada para el mejoramiento de los materiales granulares está compuesta por un 65% de Asfalto AC 20; un 34.30% de agua y un 0.70% de emulsión.

➤ ***En México, según Rogelio Rodríguez Talavera, Víctor Manuel Castaño y Miguel Martínez Madrid (2016); presentada por el Ministerio Mexicano de Transporte bajo el tema Emulsiones ASFáltica Donde resalta, lo siguiente:***

- La aplicación de la tecnología de las emulsiones asfálticas es de mucha importancia ya que constituyen un avance tecnológico en el proceso de asfaltado de carreteras.
- Las emulsiones tienen un sin número de ventajas sobre el asfalto caliente o el rebajado, por lo que es importante extender el empleo de este tipo de tecnología a la magnitud de su red carretera del país.

- La utilización de esta tecnología no únicamente proporciona un ahorro en el proceso de asfaltado de las carreteras, sino que también mejora la adhesión del asfalto con el material granular, con un consecuente incremento en el tiempo de vida de la carpeta asfáltica y una mayor seguridad para el usuario de estas.
  
- ***En Costa Rica Congreso CIC – 2010; realizada en San José de Costa Rica en octubre 2010 bajo la autoría de Mg. Ing. Wilder Rodríguez Mogollón cuyo tema fue “Pavimentos Económicos Sobre Vías Afirmadas” en la indican lo siguiente:***
  - El uso de materiales granulares es una solución asegurar la trancitabilidad de las vías de tercer orden o rurales.
  
  - El empleo de materiales granulares constituye una solución económica para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.
  
  - Las obras de drenaje superficial como de drenaje subterráneo deben realizarse para asegurar la duración de la vía.
  
- ***En Perú, según Juan Carlos Vera (2015) en su tema: “Mejoramiento con emulsiones asfálticas de base granular, para pavimentos en la región Lambayeque”***
  - Se determinó el porcentaje tentativo de emulsión, calculada de forma teórica, teniendo en cuenta la granulometría de cada material granular, obteniendo los siguientes resultados 6.44 % de la cantera Tres Tomas, 6.16 % de la cantera El Cinco, 5.92 % de la cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%), partiendo del porcentaje de humedad obtenida en el ensayo Proctor Modificado y tomando en cuenta la cantidad de agua que posee la emulsión.
  
  - Se elaboraron seis briquetas para cada porcentaje de Emulsión Asfáltica (5%, 6%, 7%), de las cuales la mitad se utilizó para la estabilidad seca y las otras tres para estabilidad saturada de las canteras Tres Tomas, El Cinco, San Luis (60%) + Cachinche

(40%), donde los materiales estabilizados de cada cantera superaron los valores mínimos de diseño de 1800 libras/min. Conforme a requerimiento de las normas técnicas.

- Utilizando la mezcla de emulsión asfáltica (Cationica de Rotura Lenta CSS -1H) y el material granular de cada cantera se cumplió con los valores mínimos establecidos en el manual básico de emulsión asfálticas. Los mismo que establecen está dentro del rango establecido por la misma.

## **1.6. Bases Teóricas.**

Las emulsiones asfálticas son una mezcla de aplicación en frío, de color negro, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto, adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interfaz entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; este depende del tipo de emulsión que se requiera.

La estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. Igualmente, el estabilizante puede actuar como ligante para la cementación del suelo. Específicamente, en esta investigación nos enfocamos en la modificación física y/o química mediante emulsión.

El principal fin de la estabilización es incrementar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran tres objetivos importantes: adecuada estabilidad ante las cargas, durabilidad de la capa y una variación volumétrica mínima.

Dentro del marco de este estudio, es importante aclarar que existen dos tipos de modificaciones de materiales, el primero cuando se enfoca en mejorar características tales como graduación, trabajabilidad y plasticidad, para las cuales se requieren cantidades mínimas de aditivos (mejoramiento de materiales), por otra parte, cuando el objetivo es mejorar propiedades como resistencia y durabilidad de manera significativa, se necesitan cantidades mayores de aditivos (estabilización de materiales).

---

## 1.6.1. Clasificación de las carreteras en nuestro país

### 1.6.1.1. Clasificación por la demanda

#### a) Autopistas de primera clase

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

#### b) Autopista de segunda clase

En el Perú y de acuerdo a reglamento las autopistas son las carreteras con un IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras (Autopistas de segunda clase) y para cumplir con el requisito debe ser pavimentada las mismas que exige el reglamento nacional de carreteras.

#### c) Carretera de tercera clase

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera

excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura.

#### **d) Trocha carrozadle**

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

### **1.6.1.2. Clasificación por la orografía**

#### **a) Terreno plano (tipo 1)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.

#### **b) Terreno ondulado (tipo 2)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6%, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.

#### **c) Terreno accidentado (tipo 3)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.

#### **d) Terreno escarpado (tipo 4)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son

superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo.

### 1.6.2. Sistema nacional de carreteras

- a) Red vial nacional
- b) Red vial departamental
- c) Red vial Provincial

Tabla 1 Red vial del departamento del cusco

Clasificación	Long. Km	Tipo de superficie			
		Asfaltado	Afirmado	Sin Afirmar	Trocha
Red vial nacional	807.57	281.30	437.47	88.80	0.00
Red vial Departamental	1,761.11	154.08	1,241.58	256.45	109.00
Red vial vecinal	2,866.75	26.35	524.12	616.75	1,699.53
<b>Total</b>	<b>5,435.43</b>	<b>461.73</b>	<b>2,203.17</b>	<b>962.00</b>	<b>1,808.53</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Participación de la red vial Cusco a nivel nacional

Clasificación	Longitud de carretera en Km		
	Total Perú	Dpto. Cusco	%
Red vial nacional	16,857.00	807.57	4.79
Red vial Departamental	14,250.00	1,761.11	12.36
Red vial vecinal	46,910.00	2,866.75	6.11
<b>Total</b>	<b>78,017.00</b>	<b>5,435.43</b>	<b>6.97</b>

Fuente: Elaboración propia

---

### 1.6.3. Pavimentos

#### 1.6.3.1. Definición de pavimentos

El pavimento puede definirse de como: "La estructura que aporta una superficie adecuada para operar un vehículo a una velocidad determinada en forma cómoda y segura en cualquier circunstancia" (Yang, 1972); o bien, puede definirse como una estructura conformada por capas de espesores y características específica que se apoya sobre el terreno de fundación y que cumple la función principal de soportar las cargas impuestas por el tráfico, brindando seguridad y confort a los usuarios en el periodo concebido de diseño.

El pavimento está constituido por un conjunto de capas de materiales de mejoramiento, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales adecuados y compactados. Las principales funciones que debe cumplir un pavimento son: "proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito" (Rico A y Del Castillo – 1999, Pág. 99)

El diseño del pavimento consiste en establecer una estructura para una duración determinada bajo las sollicitaciones del tránsito y el medio ambiente. Estas producirán fatiga hasta llevarla a la falla. Para el diseño se debe seguir un procedimiento o método donde intervienen de forma explícita o implícita varios elementos.

La mayoría de las teorías existentes para el diseño de pavimentos provienen de los Estados Unidos de América, así como del continente europeo, pero ninguno de ellos garantiza el éxito de la aplicación en el territorio nacional, por lo que se tiene que acondicionar con experimentos y tramos de prueba.

También, debe ser resistente al desgaste debido a la abrasión producida por las llantas y tener buenas condiciones de drenaje. En cuanto a la seguridad vial debe presentar una textura apropiada de acuerdo con la velocidad de circulación de los vehículos para mejorar la fricción, debe tener un color adecuado de tal manera que se eviten los reflejos y deslumbramientos. Con el fin de brindar comodidad a los usuarios, debe procurar tener regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal. Como toda obra de infraestructura los factores de costo y de vida útil son importantes por lo que el pavimento debe ser durable y económico en el tiempo.

Los tipos de pavimentos que son aplicados generalmente en el país, se los puede clasificar de la siguiente manera:

a) **Pavimentos Flexibles**

Este tipo de pavimentos está constituido por una capa de rodadura formada por material bituminoso o asfáltico, apoyado en la mayoría de los casos sobre dos capas de materiales no rígidos conocidos como base y Subbase, sin ser obligatoria la presencia de una de estas capas, justificándose la presencia de estas por características de los materiales que constituyen el pavimento.

Este pavimento se caracteriza por que estas están conformadas en la superficie por una capa de material bituminoso o mezcla asfáltica que se apoya o utilizan como colchón y están sobre capas de material granular, las cuales generalmente van disminuyendo su calidad conforme se acercan más a la subrasante. Esto se debe a que los esfuerzos que se producen por el tránsito van disminuyendo con la profundidad y por razones económicas los cuales determinan el precio final de la obra o proyecto.

Las características fundamentales que debe cumplir un pavimento flexible son (Rico, A y Del Castillo – 1999, Pág. 102-106)

- **Resistencia estructural:** el pavimento debe ser capaz de soportar las cargas debidas al tránsito de tal manera que el deterioro sea paulatino y que se cumpla el ciclo de vida definido en el proyecto. La causa de falla en

este tipo de pavimentos con mayor aceptación es los esfuerzos cortantes. Sin embargo, también se producen esfuerzos adicionales por la aceleración y frenado de los vehículos así como esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura al deformarse esta verticalmente debido a la carga que soporta. Estas afectan a largo plazo la resistencia de las capas de relativa rigidez, que en los pavimentos flexibles serían sobre todo las carpetas y bases estabilizadas, donde podrían ocurrir fenómenos de fatiga. Además, la repetición de cargas puede causar la rotura de los granos del material granular modificando la resistencia de estas capas.

- **Deformabilidad:** el nivel de deformación del pavimento se debe controlar debido a que es una de las principales causas de falla en la estructura y si la deformación es permanentemente, el pavimento deja de cumplir las funciones para las cuales fue construido. Se presentan dos clases de deformaciones en una vía: elásticas (recuperación instantánea) y plásticas (permanentes).
- **Durabilidad:** una carretera que tenga un ciclo de vida prolongado en condiciones aceptables no solo evita la necesidad de construcción nueva, sino también la molestia de los usuarios de la vía al interrumpir el tránsito.
- **Costo:** se debe hallar un equilibrio entre el costo de construcción inicial y el mantenimiento al que tendrá que ser sometida la vía.
- **Comodidad:** una carretera tiene que resultar cómoda para los usuarios al momento de su uso.

#### **b) Pavimentos Semirrígidos o Semi-flexibles**

Estos pavimentos tienen la misma estructura de los pavimentos asfálticos, con la diferencia que las capas que los conforman se encuentran rigidizadas de manera artificial, mediante la presencia de aditivos que en su mayoría de casos puede ser: asfalto, emulsión asfáltica, cementos, cal, enzimas y químicos.

El uso de estos aditivos se justifica al corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales o cercanos a la obra, que no son aptos directamente para su uso como capas, que conforman la estructura del pavimento, teniendo en cuenta que los materiales más indicados con mejor calidad pueden encontrarse a grandes distancias, que encarecerían notablemente los costos de construcción.

### c) Pavimentos Rígidos

Son los que están constituidos principalmente por una losa de concreto y apoyados sobre materiales seleccionados o en otros casos sobre la subrasante. Debido a la alta rigidez que presenta el hormigón, así como el elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se realiza sobre una amplia zona.

El hormigón también es capaz de resistir, en cierto nivel, los esfuerzos a tensión, por esta propiedad tiene un comportamiento muy aceptable cuando existan zonas débiles en la subrasante.

Otra diferencia importante es la existencia de juntas en los pavimentos rígidos, las que no se presentan en los flexibles. Es así como la teoría de análisis que se utiliza para la primera clase de pavimento es la teoría de placa o plancha en lugar de la teoría de capas utilizada para los caminos asfaltados (*Huang, Y. -2004, Pág. 11*)

La resistencia del concreto utilizada usualmente es alta, entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Por su parte las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre esforzado

De manera distinta otro autor define a los pavimentos rígidos de la siguiente manera (*Huang, Y. 2004 – Pag 14 -17*)

- Pavimento articulado de concreto simple o Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP): es la solución más económica, con juntas espaciadas de manera cercana.
- Pavimento articulado de concreto reforzado o Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP): si bien el refuerzo no aumenta la capacidad portante de la estructura, si

permite espaciar las juntas un poco más. Asimismo, análogamente a otra estructura de concreto reforzado como una viga, el acero puede mantener el concreto unido en caso se produzca una grieta o rotura.

- Pavimento continuo de concreto reforzado o Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP): con esta clase se pueden eliminar las juntas transversales pero el espesor de la losa es igual al de los dos tipos antes mencionados (JPCP y JRCP).
- Pavimento de concreto pre esforzado o Prestressed Concrete Pavement (PCP): al ser aplicada una precompresión, los esfuerzos de tensión o tracción disminuyen cuando la estructura es sometida a cargas. Por lo tanto, la probabilidad de agrietamiento es menor y también se puede utilizar un menor número de juntas transversales. Sin embargo, no es una solución ni muy económica ni muy práctica si se tiene en cuenta el enorme trabajo que implica la etapa de construcción.
- El manual considera principalmente soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2000; también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante.

### 1.6.3.2. Estructura de los pavimentos:

Todos los pavimentos y de manera general está compuesto por una serie de capas y distribuida en el siguiente orden:

- Subrasante
- Subbase
- Base
- Superficie de rodadura

Estas definiciones están basadas en el Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos (*Iturbide, 2002*).

Desde que se comenzaron a construir pavimentos flexibles se han ido elaborando teorías y desarrollando mejoras para el diseño y el análisis de estas estructuras. Algunos de estos avances son mencionados por *Huang (Huang, Y. 2004 Pag 14-17)*.

#### 1.6.3.2.1. Sub rasante

Conocida también como la capa de terreno de una vía que resiste la estructura del pavimento, ocupa hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Esta capa puede estar creada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes detalladas en los planos finales de diseño.

El grosor de pavimento está muy relacionado con la calidad de la subrasante, se busca que esta capa supere los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

#### 1.6.3.2.2. Sub base granular

Principalmente cumple con una función económica ya que permite la utilización de materiales de menor calidad en un porcentaje del espesor del pavimento. Entonces, dependiendo de la calidad y el costo del material disponible, se puede utilizar solo base o Subbase y base. Con la construcción de la Subbase, puede ser que el espesor final de la capa sea mayor pero aun así resultar en un diseño más económico. (*Kimiko Katherine Harumi Rengifo Arakaki. 2004*)

Es la capa de la estructura del pavimento que tiene por funciones: soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme las cargas aplicadas desde la superficie de rodadura del pavimento a la subrasante. También la Subbase debe soportar las variaciones que pueden afectar al suelo, controla los cambios de elasticidad y volumen que pueden dañar el pavimento. Esta capa se utiliza también como capa de drenaje y para el control de ascensión capilar de agua, cuidando la

estructura de pavimento, por lo que ordinariamente se usan materiales granulares.

### 1.6.3.2.3. Base

Conformada por la estructura del pavimento ubicada entre la Subbase y la capa de rodadura que tiene como funciones principales: la distribución y la transmisión de las cargas generadas por el tránsito, a capas inferiores del pavimento como: la Sub-base y a través de esta a la subrasante, y es la capa que sirve de soporte a la capa de rodadura. Estas bases se pueden también clasificar en las siguientes:

- Base granular
- Base Estabilizada
- **Base granular**

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la Subbase y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada, grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, en su estado natural.

Los materiales que forman esta capa deben de ser clasificados para formar de una base integrante de la estructura de pavimento.

Su estabilidad dependiera de la graduación de las partículas a utilizarse en el diseño, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, todas estas propiedades dependerán de la relación entre la cantidad de finos y de agregado grueso.

- **Base estabilizada**

Conforma la estructura del pavimento ubicada entre la Subbase y la capa o superficie de rodadura, esta capa está constituida por piedra triturada de buena calidad, grava y

mezclada con material de relleno, arena y suelo, esta mezcla se combina con materiales o diferentes productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de Subbase.

Los materiales estabilizadores más utilizados son:  
asfalto, enzimas, emulsiones asfálticas, cemento y cal.

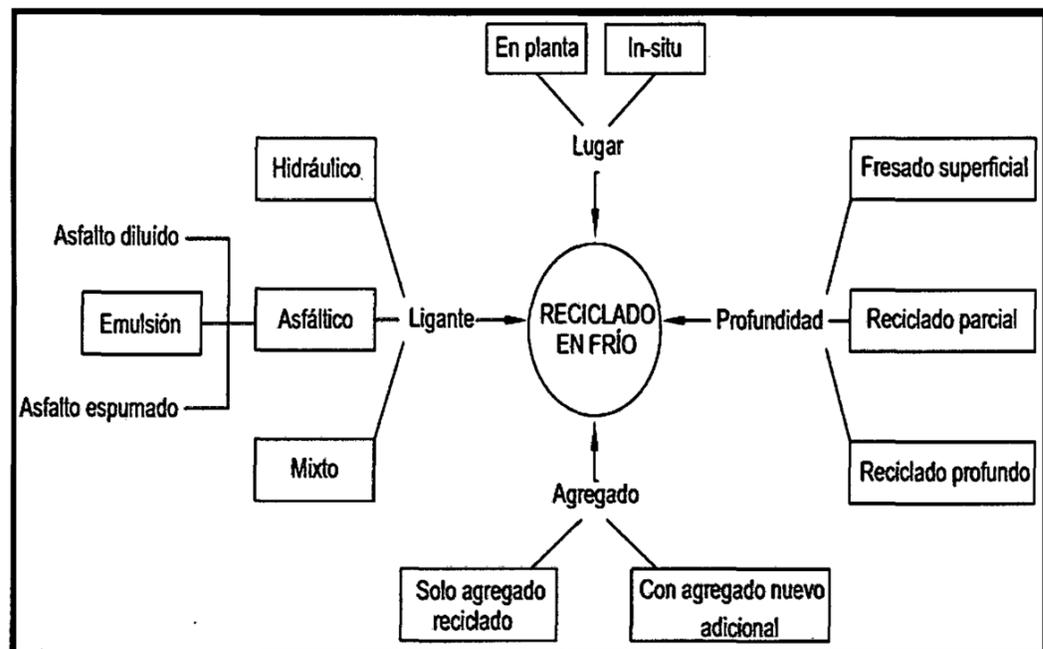


Figura 1 Tipos de reciclado

Fuente: Thenoux, g y García (199) Estudio de técnicas de reciclado

#### 1.6.3.2.4. SUPERFICIE DE RODADURA:

Capa que conforma la estructura del pavimento más externa (Expuesta a la superficie), se coloca por encima la base. La

función principal de esta capa, es proteger la estructura del pavimento, impermeabilizando la superficie, para el ingreso del agua lluvia por filtración que puede saturar las capas inferiores. La capa de rodadura evita el deterioro de las capas inferiores a causa del tránsito de vehículos (Base, Sub Base).

La superficie de rodadura incrementa la capacidad soporte del pavimento, por que absorbe cargas, este aumento es apreciable para espesores mayores a 4 centímetros, en el caso de riegos superficiales se considera el aumento nulo.

Esta superficie de rodadura de los pavimentos flexibles se divide, según se muestra en la siguiente figura:

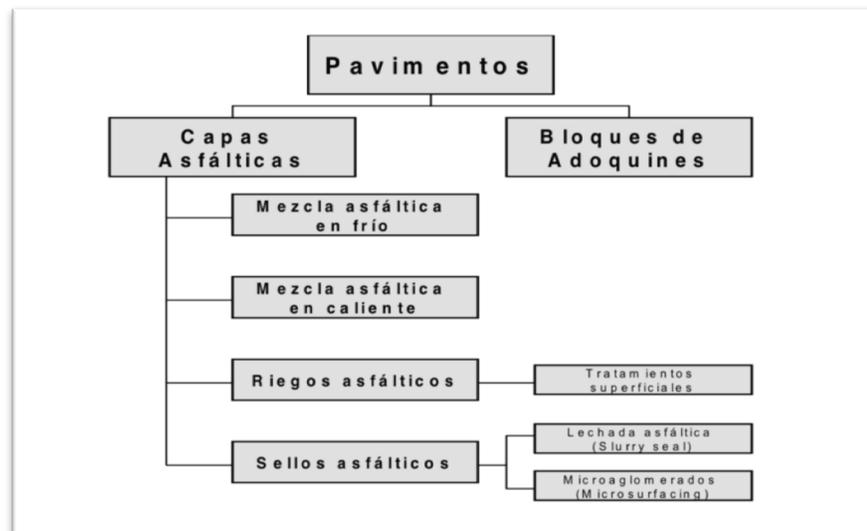


Figura 2 Tipos de superficie de rodadura

Fuente: Manual centro americano para el diseño de pavimentos (2011)

#### 1.6.4. Emulsiones asfálticas

Esta parte de la investigación toma y desarrolla los conceptos de: Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos y al Manual Básico de Emulsiones MS 19 (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001). De los mismo extraen ensayos los cuales se plasman en la presente.

“Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura 4, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión”. (*Instituto mexicano de Transportes 2001*).

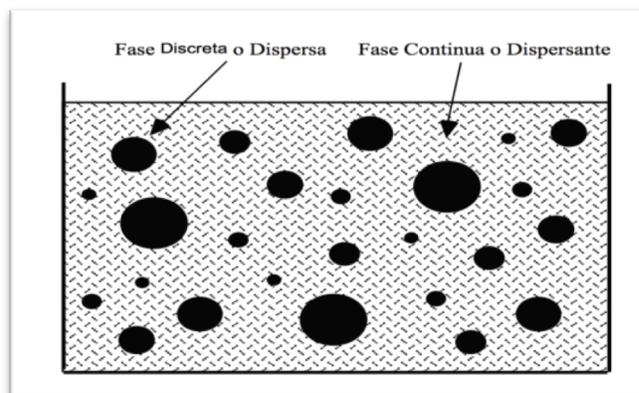


Figura 3 Diagrama esquemático de la emulsión

Desde el punto de vista físico - químicos, de una manera muy general una emulsión es una dispersión de un líquido en otro este último debe ser inmisible. Por lo dicho anteriormente una emulsión asfáltica es una dispersión de macropartículas de cemento asfáltico en una matriz acuosa estabilizada.

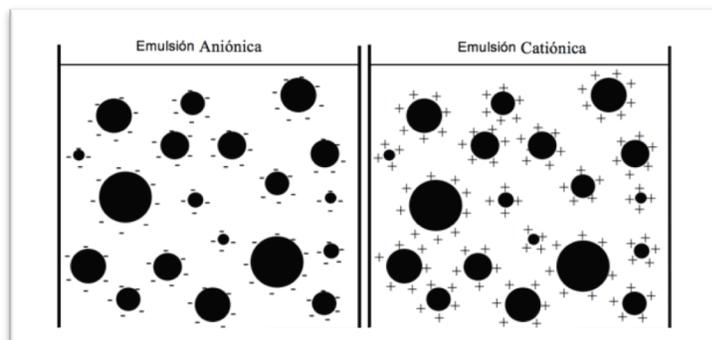
Existen dos tipos de emulsiones según la fase dispersa y dispersante, de la siguiente manera:

#### 1.6.4.1. Estructura química

Por el tipo de emulsificante las emulsiones se clasifican en tres grupos:

- Aniónica
- Catiónica
- No Aniónica

Las clases Aniónica y Catiónica se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto. La identificación se deriva del sistema de leyes básicas de electricidad - cargas, cargas de igual signo se repelen y de diferente signo se atraen. Cuando se carga dos polos cátodo y ánodo (positivo y negativo), se sumergen en un líquido a través del cual se pasa una corriente eléctrica, el ánodo se carga de forma positiva y el cátodo de forma negativa. Si se pasa una corriente a través de la emulsión que contiene partículas de asfalto negativamente cargadas estas migran al ánodo. La emulsión en este caso se llama Aniónica. En caso inverso serán emulsiones cationicas. Las emulsiones no iónicas tienen partículas de asfalto neutras y no migran a ningún polo.



*Figura 4 Esquema de emulsión aniónica y cationica*

Las emulsiones pueden clasificarse según la velocidad de rotura, que es la velocidad que la emulsión vuelve a ser cemento asfáltico. Por facilidad se utilizan letras de la velocidad en idioma inglés, los términos que significan Rotura rápida RS (Rapid Sting), Rotura Media MS (Medium Sting) y Rotura lenta SS (Slot Sting).

La rotura es una propiedad propia de cada emulsión que puede facilitar el mezclado. Una emulsión RS tiene mínima o carece de habilidad para mezclarse con un agregado, una emulsión MS se espera que se mezcle con agregados gruesos, pero no finos y una emulsión SS permite la mezcla con agregados finos.

Las emulsiones se subdividen adicionalmente mediante la incorporación de números que indican la viscosidad y la dureza de los cementos asfálticos utilizados como bases. Se incorpora la letra "C" anterior al tipo de emulsión que significa que esta emulsión es catiónica, la ausencia significa que es Aniónica o no iónica. La norma ASTM adicionan tres grados de emulsión aniónica de alta flotación y rotura media, se denomina HFMS. Estos grados tienen su uso en mezclas en planta frías y calientes, riegos de sellado de agregados gruesos y mezclas en vías. Las emulsiones de alta flotación tienen una cualidad especial la formación de películas de cubrimiento más gruesas sin riesgos de escurrimiento. Para condiciones especiales se desarrolló un tipo de emulsión de rotura veloz QS (Quick Setting) para las lechadas asfálticas, el uso de estas va en crecimiento por dar solución a los problemas relacionados con el uso de lechadas.

Tabla 3 Clasificación de las emulsiones asfálticas

Clasificación	Contenido de Asfalto (% en masa)	Tipo de Rompimiento	Polaridad
EAR-55	55	Rápido	Aniónica
EAR-60	60	Rápido	Aniónica
EAM-60	60	Medio	Aniónica
EAM-65	65	Medio	Aniónica
EAL-55	55	Lento	Aniónica
EAL-60	60	Lento	Aniónica
EAI-60	60	Para Impregnación	Aniónica
ECR-60	60	Rápido	Catiónica
ECR-65	65	Rápido	Catiónica
ECR-70	70	Rápido	Catiónica
ECM-65	65	Medio	Catiónica
ECL-65	65	Lento	Catiónica
ECI-60	60	Para Impregnación	Catiónica
ECS-60	60	Sobre-Estabilizada	Catiónica

#### 1.6.4.2. Pruebas de laboratorio y campo

Antes de ser utilizado, el asfalto debe ser sometido a una serie de pruebas que permiten determinar algunas propiedades que debe cumplir para un uso particular. Los diferentes ensayos se agrupan en cinco categorías. (*La Universidad de los Andes, Versión 2 - 2005*)

#### 1.6.4.3. Ensayos para medir consistencia

La consistencia se define como el grado de fluidez que tiene un asfalto a una determinada temperatura. El asfalto es un material termoplástico, por lo que su consistencia varía en mayor o menor grado con la temperatura. Si se quiere realizar comparaciones entre ellos, es necesario medir su consistencia a una misma temperatura de condición de carga. Los ensayos más utilizados para medir la consistencia de los cementos asfálticos son los siguientes:

Viscosidad absoluta a 140 °F (60 °C) ASTM D-2171

Viscosidad cinemática a 275 °F (135 °C) ASTM D-2171

Viscosidad Saybolt Furo! ASTM E1 02-93(2003)

Penetración a 25 °C ASTM D-5

#### 1.6.4.4. Ensayos de durabilidad

Los cementos asfálticos sufren un mayor o menor grado de envejecimiento cuando son mezclados con los agregados en una planta asfáltica en caliente. El envejecimiento continuo durante toda la vida del pavimento por la acción del medio ambiente y otros factores.

Los siguientes ensayos son utilizados para medir de manera más que menos aproximada el envejecimiento de un cemento asfáltico.

- Película delgada (TFO) ASTM D-1754
- Rolling Thin Film Oven (RTFO) o Película fina rotativa ASTM D-2872.

#### **1.6.4.5. Ensayos de pureza**

Los cementos asfálticos están constituidos por bitumen puro, el cual por definición es completamente soluble en disulfuro de carbono. Solo un porcentaje muy pequeño de impurezas está presente en el cemento asfáltico obtenido de refinería. Para determinar el grado de impureza del cemento asfáltico se utiliza el siguiente ensayo:

- ✓ Solubilidad ASTM D-2042

#### **1.6.4.6. Ensayo de seguridad**

Si el cemento asfáltico es calentado a temperaturas altas, se producen vapores que en presencia de alguna chispa se pueden incendiar. Por lo tanto, se hace necesario realizar los siguientes ensayos:

- ✓ Punto de inflamación o Flash Point.
- ✓ Método de la copa Cleveland. ASTM D-92

#### **1.6.4.7. Rotura y curado de una emulsión**

##### **▪ Rotura:**

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto actúe como ligante con propiedades cementantes e impermeabilizantes, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina "rotura" (breaking). (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001).

Para tratamientos superficiales y sellos, se formulan las emulsiones para romper una vez entren en unión con una sustancia extraña tal como un agregado o la superficie de un pavimento. Los glóbulos de asfalto entran en coalescencia y producen una membrana continua de asfalto sobre el agregado o pavimento. Para mezclas densas, se requiere más tiempo para admitir el mezclado y fraguado. En resultado, las emulsiones utilizadas para mezclas se

sugieren para rotura retardada. La coalescencia del asfalto se conoce como rotura o fraguado. La velocidad a la cual los glóbulos de asfalto se separan de la fase acuosa se identifica como tiempo de rotura o fraguado. Por ejemplo, una emulsión de rotura rápida romperá entre uno a cinco minutos después de ser aplicada, mientras que una emulsión de rotura media o lenta puede tomar un tiempo mayor.

La velocidad de rotura depende de factores como: el tipo específica y concentración del agente emulsificante empleado en la emulsión, así como por las condiciones atmosféricas.

La tasa de absorción de los diferentes tipos de agregados favorece la succión de líquidos, afectando la rotura porque está vinculada con las características de absorción del agregado usado. Los agregados con altas tasas de absorción tienden a acelerar la rotura de la emulsión por motivo de una remoción más rápida del agua emulsionante.

La velocidad de rotura en agregados que constituyen mezclas formadas por emulsión y agregado, la gradación y área superficial del agregado son también factores significativos. Al cambiar el área superficial, las características de rotura del medio también cambian debido a la alteración de la absorción (acumulación en la superficie) del agente emulsificante por el agregado.

### **Curado:**

Para usos en pavimentación, tanto las emulsiones aniónicas como las cationicas dependen de la evaporación del agua para el desarrollo de sus características de curado y adherencia. El desplazamiento del agua puede ser bastante rápido bajo entornos favorables del clima; pero, pueden interferir con un curado apropiado una alta humedad, baja temperatura o lluvia, poco tiempo después de la aplicación. Pese a que las condiciones superficiales y atmosféricas son menos críticas para las emulsiones cationicas que para las aniónicas, aun dependen de las condiciones climáticas para lograr óptimos resultados.

Cuando se usan emulsiones de rotura rápida tanto aniónicas como catiónicas, la sedimentación inicial del asfalto se desarrolla en función de fenómenos electromecánicos. La generación de la principal unión resistente entre la película de asfalto y los agregados viene después de la pérdida del agua emulsificante. Esta película de agua puede ser desplazada por evaporación, presión (envolvimiento), o por absorción. En el uso real, la rotura es generalmente una función de la combinación de estos tres factores.

#### **1.6.4.8. Control de Calidad en la Fabricación**

##### **a. Determinación del Potencial de Hidrógeno, ASTM D244.**

El pH es una medida del grado de acidez y alcalinidad de la sustancia analizada; su valor oscila entre 0 y 14. Las sustancias ácidas poseen un pH menor de 7 y las bases o alcalinas un pH mayor de 7, siendo neutras para un valor igual a 7.

Una misma emulsión se comporta de forma diferente según tenga un pH de 4,5 ó de 2,0. La primera tendrá una buena adhesividad, pero su rompimiento será muy rápido; la segunda tendrá una adhesividad dentro de los límites aceptables pero su rompimiento será mucho más lento.

##### **b. Residuo por Destilación según designación ASTM D244-92**

Determina las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión. Se puede realizar ensayos con el residuo asfáltico de la emulsión, por ejemplo: penetración, ductilidad, punto de inflamación y punto de ablandamiento.

El objetivo es determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión. El residuo de la emulsión puede utilizarse para efectuar las pruebas de penetración,

ductilidad y solubilidad en tetracloruro de carbono, además de determinar el grado en que ha sido rebajado el cemento asfáltico, si es el caso.

#### **c. Residuo por Evaporación ASTM D244**

Determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje (%), por medio de evaporación rápida. Según estadísticas, se dice que el residuo así obtenido da resultados de penetración y ductilidad inferiores a los que se logran en el residuo por destilación.

Por su fácil ejecución y rapidez en la misma, es el más utilizado para conocer la concentración de la emulsión y realizar cálculos de dosificación en campo.

#### **d. Residuo por Evaporación modificado ASTM D244**

Este ensayo permite controlar la producción de un molino que produce más de 20 toneladas por hora, siendo necesario conocer inmediatamente los rangos del residuo.

#### **e. Asentamiento o Sedimentación ASTM D244- 29/32.**

La prueba de sedimentación o asentamiento, nos indica el grado de estabilidad que tienen las emulsiones durante su almacenamiento. Detecta la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentarse durante el almacenamiento. También sirve como indicador de la calidad de la emulsión.

La prueba tiene una duración de cinco días, siendo necesario en obras de gran movilidad realizarla la prueba de estabilidad de almacenamiento, que tiene una duración de 24 horas.

Cuando la densidad del asfalto es ligeramente menor que la del agua, debido a solventes adicionales, por diferencia de densidades los glóbulos de asfalto tienden a flotar, presentándose en algunos casos una migración de estos hacia la superficie del líquido.

#### **f. Sedimentación en 24 horas. ASTM D244**

Esta prueba es una variante a la anterior, y aparece en sustitución de la prueba de sedimentación a 5 días. El procedimiento de la prueba es el mismo, lo único que varía es que la muestra es ensayada en 24 horas y el parámetro de la especificación es diferente.

#### **g. Sedimentación en caso de nuevas formulaciones**

Si la cantidad de emulsión generada en cada experimento es pequeña, menor al volumen al especificado en la norma (500 ml), se puede llevar a cabo una prueba de sedimentación colocando una muestra de la emulsión en cilindros graduados.

Cada muestra se coloca en un tubo de ensayo de 50 ml, se tapa para evitar evaporación, se rotula y se toman los datos de volumen de emulsión y la fecha y hora de inicio. A un tiempo determinado, se toma la lectura donde se observa la interfaz agua-emulsión. Finalmente, se grafican los datos de altura vs tiempo Retenido en la malla #20.

#### **h. ASTM D 244-38/41**

Esta prueba sirve como complemento a la prueba de sedimentación y tiene como propósito determinar cuantitativamente la cantidad de glóbulos de asfalto que pueden no haberse detectado en la prueba de sedimentación y que podría obstruir el equipo de rociado, así como el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre el agregado.

#### **i. Carga eléctrica. ASTM D-244.**

La prueba de carga eléctrica se realiza para identificar las emulsiones cationicas o anionicas a través de su corriente eléctrica.

Se lleva a cabo mediante la inmersión de dos electrodos, uno negativo (ánodo) y otro positivo (cátodo) en una muestra de emulsión, conectado a una fuente controlada de corriente

continua. Al final de un periodo de tiempo especificado, se observan los electrodos para determinar si el cátodo presenta una capa visible de asfalto depositado sobre él, si esto es así, la emulsión se clasifica como catiónica.

#### **1.6.4.9. Control de calidad en la aplicación**

##### **a. Viscosidad SAYBOLT-FUROL. ASTM D244- D88.**

La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido. En el caso de las emulsiones, la prueba se define como una medida de la consistencia de esta y por lo tanto da una idea de sus posibilidades de aplicación y comportamiento en un caso determinado.

Los resultados se reportan en segundos. Por conveniencia y precisión de ensayo, se emplean dos temperaturas de prueba, que cubre el intervalo normal de trabajo: 25°C y 50°C.

##### **b. Miscibilidad de las emulsiones con Cemento Portland ASTM D 244**

La prueba se aplica a las emulsiones aniónicas y en algunos casos especiales a las catiónicas con la finalidad de conocer la estabilidad de la emulsión al mezclarse con un material tan fino como el cemento. El ensayo consiste en medir el porcentaje de grumos que se obtienen cuando la emulsión pierde estabilidad al mezclarse con el cemento. Por consiguiente, el valor (% con respecto a la cantidad de emulsión de prueba, 100 g) es un indicativo del elevado grado de estabilidad química de algunas emulsiones de rotura lenta. Muy pocos emulsificantes son capaces de generar emulsiones que pasen este duro ensayo.

##### **c. Miscibilidad con agua ASTM D 244**

Esta prueba tiene como finalidad investigar si las emulsiones de rotura media o lenta pueden mezclarse con el agua.

No es aplicable a emulsiones de rotura rápida. Después de adicionarle agua a la emulsión se procede a agitar la mezcla, se

deja la muestra en reposo durante dos horas, luego de ese periodo de tiempo se examina visualmente para determinar una posible coagulación de los glóbulos de asfalto en la muestra.

Esta prueba es una medida de calidad del producto, además indica si la emulsión es capaz de mezclarse con agua o ser diluida en ella. A menudo se forma un depósito espeso de emulsión en el fondo del recipiente, si es pequeño, ello significará que la emulsión ha sido apropiadamente formulada y que las partículas en dispersión están en el intervalo del tamaño deseado.

#### **d. Ensayos de cubrimiento**

Para este ensayo, se mezclan las emulsiones con un material de prueba, de tipo silíceo de cierta granulometría. El material de prueba se subdivide en porciones; a cada muestra se le agrega cierta cantidad de agua de pre- envuelta para lograr las condiciones adecuadas de humedad que faciliten una mejor manipulación del mezclado de la emulsión con el agregado. Se añade una cantidad de emulsión determinada y se mezcla el conjunto manualmente en un recipiente, con ayuda de una paleta, hasta que se observe que la emulsión ha sido repartida uniformemente en el material. El material cubierto se extiende en papel periódico por 24 horas, o hasta que se observe que el agua ha sido eliminada por completo. Finalmente, se prepara una briqueta, utilizando un equipo Hubbar Field, para determinar las características de adhesión del asfalto residual con el agregado. Luego de preparada la briqueta, se debe esperar 24 horas para proceder a su ruptura, y de esta manera determinar si su resistencia es la adecuada para el propósito requerido.

#### **e. Ensayo de rompimiento**

Este ensayo tiene por objeto determinar el tipo de rompimiento de una emulsión (lento, medio o rápido) según la cantidad de cemento que origina la ruptura. Se utiliza un equipo con agitación continua (150 rpm) provisto de un recipiente cilíndrico, con capacidad de 34 g de emulsión, y un agitador de tipo ancla. Se pesa el sistema (recipiente, agitador y emulsión) y luego se adiciona el cemento

portland a razón de 0.2 a 0.3 g/s hasta rotura completa, la cantidad de cemento añadida se estima por diferencia de peso.

### **Otros ensayos**

- Peso específico Ensayo de ductilidad
- Ensayo de la mancha

### **1.6.5. Estudios necesarios para el diseño de pavimentos**

Dependiendo al tipo de vía a construirse o proyectarse, es que los siguientes ítems son necesarios para el diseño del pavimento, los cuales permitirán mayor conocimiento y entendimiento sobre el terreno y su proyección a futuro. Tales como:

- Estudio Levantamiento topográfico
- Estudio de tráfico
- Estudio pluviométrico
- Estudios de mecánica de suelos
- Diseño de mezclas Método Marshall

#### **1.6.5.1. Estudio de levantamiento topográfico**

La ciencia y técnica de realizar mediciones de ángulos y distancias en extensiones de terreno lo suficientemente reducidas como para poder despreciar el efecto de la curvatura terrestre, para después procesarlas y obtener así coordenadas de puntos, direcciones, elevaciones, áreas o volúmenes, en forma gráfica y/o numérica, según los requerimientos del trabajo; es una disciplina cuya aplicación está presente en la mayoría de las actividades humanas que requieren tener conocimiento de la superficie del terreno donde tendrá lugar el desenvolvimiento de esta actividad. En la realización de obras civiles, tales como acueductos, canales, vías de comunicación, embalses etc.; en la elaboración de sistemas catastrales, en el ámbito militar, así como en la arqueología, y en muchos otros campos. Dentro de la Topografía se incluye el estudio de los instrumentos usados por ella, sus principios de funcionamiento, sus componentes y su operación. También se estudia la teoría de errores, ya que en muchos trabajos topográficos se exigen determinados valores de exactitud en los resultados,

valores que a su vez determinarán los métodos y la precisión de los instrumentos a utilizar en el proyecto.

#### **1.6.5.1.1. Tipos de errores**

Todas las operaciones en topografía están sujetas a las imperfecciones propias de los aparatos, dispositivos o elementos, a la capacidad propia de los operadores de estos y a las condiciones atmosféricas; por lo tanto, ninguna medida en topografía es exacta en el sentido de la palabra.

No hay que confundir los errores con las equivocaciones. Mientras que los errores siempre están presentes en toda medición debido a las limitaciones aludidas, las equivocaciones son faltas graves ocasionadas por descuido, distracción, cansancio o falta de conocimientos. El equivocarse es de humanos, pero en topografía se debe minimizar o eliminar, ya que esto implica la repetición de los trabajos de campo, lo cual incrementa el tiempo y los costos, afectando la eficiencia y la economía.

##### **A. Errores de medición**

Preciso conocer los tipos y la magnitud de los errores posibles y la manera como se propagan para buscar reducirlos a un nivel razonable que no tenga incidencias nefastas desde el punto de vista práctico. Los errores deben quedar por debajo de los errores permisibles, aceptables o tolerables para poder garantizar los resultados los cuales deben cumplir un cierto grado de precisión especificado. El error es la discrepancia entre la medición obtenida en campo y el valor real de la magnitud. Las causas de los errores pueden ser de tres tipos:

**Instrumentales:** debido a la imperfección en la construcción de los aparatos o elementos de medida, tales como la aproximación de las divisiones de círculos horizontales o verticales, arrastre de graduaciones de un tránsito o teodolito, etc.

**Personales:** debido a limitaciones de los observadores u operadores, tales como deficiencia visual, mala apreciación de fracciones o interpolación de medidas, etc.

#### **1.6.5.1.2. Planimetría**

La planimetría, sólo toma en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario que se supone es la superficie media de la tierra. Las poligonales se usan generalmente en planimetría para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles y elaboración de planos, para el replanteo de proyectos y para el control de ejecución de obras. Una poligonal es una sucesión de líneas quebradas, conectadas ente si en los vértices. Para determinar la posición de los vértices de una poligonal en un sistema de coordenadas rectangulares planas, es necesario medir el ángulo horizontal en cada uno de los vértices y la distancia horizontal entre vértices consecutivos. A continuación, se muestra cada una de las poligonales y sus ajustes a realizar.

#### **1.6.5.1.3. Poligonal cerrada**

El objetivo final que se persigue es tener un polígono como figura geométrica perfecta. La solución de una poligonal consiste en el cálculo de las coordenadas rectangulares de cada uno de los vértices o estaciones. En poligonales cerradas y en poligonales abiertas de enlace con control.

#### **1.6.5.1.4. Poligonal abierta**

Para poder realizar una compensación de una poligonal abierta, debemos tener una poligonal cerrada y compensada. La poligonal cerrada contiene coordenadas fijas, ya que fue compensada previamente y se eliminaron los errores que pudiese tener. Esta poligonal cerrada nos servirá para tener dos puntos, los cuales servirán como coordenadas de partida y las coordenadas de llegada de la poligonal abierta, cabe mencionar que estos puntos de la poligonal abierta se han establecido de manera que se puedan ligar las dos poligonales, teniendo en común estos puntos para ambas poligonales. Las coordenadas de inicio para ambas poligonales son la misma, pero las

coordenadas de llegada serán diferentes, ya que las coordenadas de la poligonal cerrada son fijas, y estas han sido compensadas, mientras que las de la poligonal abierta contienen errores en sus coordenadas.

#### **1.6.5.1.5. Compensación**

Si al comparar el error de cierre con la tolerancia resulta que este es mayor que la tolerancia, se hace necesario repetir la nivelación. En caso de verificarse que el error es menor que la tolerancia se procede a la compensación de esta siguiendo uno de los métodos ya conocidos.

#### **1.6.5.1.6. Ajustes paramétricos**

El más familiar de los ajustes de estos modelos y ecuaciones de observación se conoce como ajuste paramétrico; con este ajuste se obtiene simultáneamente los valores más probables para los valores verdaderos tanto para las cantidades observadas como para las incógnitas; así mismo, se obtienen las estimaciones más probables para los residuos.

#### **1.6.5.2. Estudios de tráfico**

Uno de los aspectos más importantes, si no el determinante para el diseño es determinar el flujo de vehículos; es decir, qué tipo de vehículos transitan por la zona a analizar, según la clasificación del Reglamento Nacional de Vehículos (*Reglamento nacional de vehículos 2003*), y con qué frecuencia lo hacen. Asimismo, una vez obtenida esta información es necesario estimar una tasa de crecimiento para proyectar cual será el flujo de vehículos dentro de los años que contemplará el diseño.

Este flujo vehicular se expresa utilizando un parámetro conocido como ESAL (Equivalent Sencillo Axle Load) o carga equivalente de eje simple, que considera un eje simple equivalente de 18 kips. Este valor representa el efecto dañino que producen los vehículos sobre el pavimento. O el valor del consumo de fatiga y el daño por erosión en el caso de la metodología de la PCA.

### **1.6.5.2.1. Clasificación de los vehículos**

Según el Reglamento Nacional de Vehículos, estos se clasifican según la cantidad y el tipo de ejes que lo componen (simple, tándem o trídem), además del peso máximo permitido para cada uno de ellos. El peso bruto vehicular máximo permitido es de 48 toneladas. Asimismo, el máximo peso permitido por eje es:

- Eje simple: 7 ton de rueda simple y 11 ton de rueda doble.
- Eje tándem: 12, 16 y 18 ton.
- Eje tríade: 16, 23 y 25 ton.

Con esta clasificación se determina el tipo de vehículos que transita por la zona de acuerdo con el tipo de ejes que lo conforman y a la cantidad de ellos. Esto es importante porque dependiendo del peso que cargue cada eje se le asignará un factor destructivo sobre la vía dependiendo del tipo de pavimento a utilizar.

### **1.6.5.2.2. Estimación de la tasa de crecimiento**

#### **1.6.5.2.2.1. Factores destructivos**

Para ello se requiere la colección de historial que ayuden a tener una idea de cómo va aumentando la cantidad de vehículos que transitan por esa carretera. Depende de las actividades de la zona, del crecimiento poblacional, etc.

Para hallar el número de ejes equivalentes que se presentan en el tramo, primero se debe uniformizar los tipos de vehículos que circulan bajo un mismo estándar. Ello está representado por el factor equivalente de carga por eje, teniendo como base los ejes de 18 kip u 80 kN. Este factor es el denominado factor destructivo. Cada eje que conforma algún vehículo tiene un peso que

puede ser igual o diferente a la carga estándar. Para el caso de nuestra Norma, todos son diferentes por lo que resulta necesaria la aplicación de factores. Por otro lado, dependiendo del tipo de pavimento a utilizar, existen dos ecuaciones diferentes para estimar estos factores. Si el pavimento es flexible se utilizarán los valores proporcionados por el Instituto del Asfalto, en cambio si es rígido se utilizarán los de la AASHTO. Una vez obtenidos el tránsito medio diario anual (AADT) de la zona, la tasa de crecimiento ( $r$ ) y los factores de carga ente para cada eje en cada vehículo, se procede a establecer los parámetros de diseño. Estos son:

#### **1.6.5.2.2.2. Proyección del tráfico**

- Factor de distribución direccional (D)
- Factor de distribución de carril (L)
- Periodo de diseño (Y)
- Factor de crecimiento (G)

#### **1.6.5.3. Estudios de mecánica de suelos**

Como lo indica en uno de sus artículos la universidad de Wisconsin – 2018: Teniendo en cuenta que cualquier obra edificada por la Ingeniería Civil se sostiene inevitablemente sobre la corteza terrestre, es de vital importancia para la trascendencia de esta el estudio de los parámetros del suelo, necesarios para su ejecución, permanencia e integridad.

La importancia de los estudios de la Mecánica de Suelos radica en el hecho de que si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, produciendo a su vez deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

Como curiosidad puede citarse el inclinamiento de la conocida Torre de Pisa que se considera es resultado del resquebrajamiento del suelo que la sostiene. Con un buen estudio de Mecánica de Suelos esta torre no había alcanzado su renombre.

Los ensayos de mecánica de suelos serán necesarios para caracterizar el material a utilizarse como base o Subbase. (Existentes en campo) y aquellos provengan como aporte de material de canteras localizadas. Asimismo, Todo ello permitirá optar uno u otro método para el diseño de la mezcla asfáltica.

#### **1.6.5.3.1. Obtención de muestras representativas (cuarteo)**

Es un procedimiento útil para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo. Esta permite la forma correcta de extraer el material desde cantera. (MTC E 105 - 2000, NTP 350.001, ASTM C 702- 93)

#### **1.6.5.3.2. Ensayo de granulometría**

Este ensayo, trata de la determinación cuantitativa de la distribución de tamaño de partículas de suelo, esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74mm (N° 200).

Se realizará ensayos de granulometría tanto en el material del terreno natural o subrasante, así como en el material de las canteras que será utilizado como base o Subbase. De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000) del MTC.

Al considerarse bueno o dentro de los parámetros requeridos, el material se debe cumplir con una granulometría específica para que el agregado sea considerado aceptable. Más adelante se detallará más sobre estos requisitos. (ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 - 2000).

#### 1.6.5.3.3. Límites de Atterberg

Permite conocer las propiedades del material tales como su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad en el caso de suelos cohesivos.

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando esté se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. (MTC E 110 - 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89)

El límite plástico (L.P.) e Índice de plasticidad (I.P.) permiten la determinación en el Laboratorio del límite plástico y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.), si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo, Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que puede formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. (L.I.) (MTC E 111 - 2000, ASTM 4318, AASHTO T90).

#### 1.6.5.3.4. Ensayo de compactación Proctor modificado

Conocido también como relaciones Humedad Densidad (Proctor Modificado) Nos sirve para determinar la máxima densidad seca y obtener el óptimo contenido de humedad.

Se realiza el ensayo Proctor modificado, que aplica 56 golpes por capa de suelo (5 capas) a una muestra dentro de un molde de tamaño estándar. El objetivo del ensayo es determinar la máxima densidad seca a la que puede llegar el material y el contenido de humedad óptimo que permita aquella condición. (MTC E 115 - 2000, ASTM D 1557)

#### 1.6.5.3.5. Ensayo de valor de soporte de California o CBR

El ensayo tiene como objetivo determinar la capacidad portante de un suelo en función de su estado, densidad y humedad, así como de la sobrecarga que se le aplique.

El ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio) se puede llevar a cabo sobre un suelo compactado en laboratorio o bien sobre muestras inalteradas de un terreno determinado. Las muestras ya preparadas, pueden someterse a inundación de agua o ensayarlas sin inmersión.

Este ensayo compara el comportamiento de un suelo determinado con el de una roca chancada de calidad estándar. Se aplica carga sobre la muestra compactada previamente mediante el ensayo Proctor, así como saturada en agua por 4 días y se va registrando la carga necesaria para producir penetración en el material en intervalos de 0.1” hasta 0.5”. Una vez obtenido el valor de carga necesaria para producir 0.1” y 0.2” para todas las muestras compactadas a diferentes densidades, se procede a dividirlo entre 1000 psi en el primer caso y 1500 psi en el segundo. Esta cantidad se expresa en porcentaje y representa el CBR del suelo. Luego para la densidad requerida se elige el mayor valor de CBR entre el de 0.1” y el de 0.2”, el cual será el CBR de diseño. En este caso la máxima densidad seca requerida es 95%. (MTC E 132-2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193).

#### **1.6.5.3.6. Estudios de canteras y fuentes de agua.**

Otro aspecto para tomar en cuenta es el tipo de material que se encuentra disponible en la zona porque de ello dependerá la capacidad de soporte de las capas granulares y, por tanto, del pavimento como estructura. Las especificaciones que debe cumplir el material granular son muchas, pero dos de las más importantes son la granulometría y el CBR mínimo. En cuanto a las fuentes de agua, se debe tener en consideración la cantidad de sulfatos, sólidos en suspensión y el pH del agua.

Se efectuará el estudio de canteras o fuentes de materiales para rellenos, capa de base, tratamiento superficial y obras de concreto hidráulico. Para el caso de canteras que tengan

estudios previos, se efectuarán solamente ensayos que confirmen la calidad y potencia de estas.

Las canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio.

El número mínimo de calicatas será de 4 por curva de 1.50 m de profundidad por medio de sondeos, calicatas y/o trincheras. Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos estándar, mínimo 06 pruebas por tipo de ensayo a fin de determinar sus características y aptitudes para los diversos usos que sean necesarios (rellenos, afirmados, concreto, etc.).

#### **1.6.5.3.7. Método Marshall de diseño de mezclas**

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall -1976 ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall es necesario modificarlo para emplearlo con mezclas en frío, como es el caso de las emulsiones asfálticas, está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica. El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 »12") de alto y 102 mm (4") de diámetro. Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad - análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo

de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

***Este diseño de mezclas esta sugerido por (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001) para mezclas frías con emulsión asfáltica, de granulometría cerrada, con un tamaño máximo del agregado de 25 mm (1 pulgada) o menos y emulsiones de roturas media o lenta. Es aplicable a mezclas elaboradas en el camino o en planta, a temperatura ambiente, y de colocación inmediata o acopio.***

Al existir una gran variedad de emulsiones, con poco conocimiento de las ventajas de uso de estas para ganar tiempo recomienda seguir las sugerencias que se han presentado como criterios generales para la selección de la emulsión asfáltica, pero sin olvidar que puede ser necesario y valioso el criterio personal que puede ser la experiencia de uso en otras aplicaciones similares. Para esta selección de tipo y grado de emulsión deben considerarse no solo las características. del agregado, sino también la del residuo de asfalto - base dura o blanda, contenido de solvente, modificación con polímeros y la velocidad de curado de la emulsión (rotura media o lenta).

La carencia de un método universalmente aceptado para el diseño de mezclas en frío de emulsión asfáltica y agregados, sean aquellas de granulometría cerrada o de granulometría abierta ha permitido gran cantidad de variaciones basadas en métodos empíricos, sin comprobarse cuál es el mejor método de diseño, basándose más en disponibilidad de equipo de diseño, experiencia y conocimiento. Sin embargo, casi todos los métodos para mezclas cerradas son modificaciones del método de ensayo de Hevem (ASTM D 1560 y 1561 ó AASHTO T 246 y 247) o del método de ensayo Marshall (ASTM D 1559 ó AASHTO T 245).

***Para las mezclas de agregado - emulsión es necesario un diseño. Es esencial preparar en el laboratorio mezclas de prueba para determinar el grado y porcentaje de emulsión y las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia del***

*sistema. Debería determinarse la susceptibilidad de la mezcla con emulsión al daño por agua. Por lo mismo que deben considerarse las pruebas del método Marshall tanto en seco como en húmedo.*

De manera general para el diseño de este tipo de mezclas de agregado - emulsión se siguen los siguientes pasos:

- Estudio de los Agregados para utilizar
- Selección del tipo de Emulsión y grado de emulsión a utilizar
- Determinación del contenido tentativo de asfalto
- Determinación de la cantidad de agua ensayo de Recubrimiento y Adhesión
- Determinación del contenido óptimo de emulsión mediante el diseño Marshall modificado para emulsiones.

## **1.7. Definición de términos básicos.**

### **1.7.1. Base:**

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

### **1.7.2. Base estabilizada:**

Es una mezcla en seco de suelo o tierra con determinadas características granulométricas, en su caso, aditivos. (emulsión) la mezcla se le adiciona una cierta cantidad de agua para su fraguado y posteriormente se compacta.

### **1.7.3. Carretera:**

Es una vía de transporte de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación

de vehículos automóviles. Existen diversos tipos de carreteras, aunque coloquialmente se usa el término carretera para definir a la carretera convencional que puede estar conectada, a través de accesos, a las propiedades colindantes.

#### **1.7.4. Carretera no pavimentada:**

Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

#### **1.7.5. Emulsión asfáltica:**

Emulsión es una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. En el caso de la emulsión asfáltica es el asfalto, al agua y el emulsificante que consiste en una solución de consistencia jabonosa.

#### **1.7.6. Estabilidad:**

Propiedad de cualquier mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

#### **1.7.7. Asfalto:**

El asfalto, también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro). Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeabilizante de muros y tejados. En las mezclas asfálticas se usa como aglomerante para la construcción de carreteras, autovías y autopistas. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de betún bitumen.

### **1.8. Formulación de la hipótesis.**

La utilización de las emulsiones asfálticas, como estabilizador para base en una carretera afirmada, genera: una mejor resistencia a las deformaciones aplicadas por la transitividad vehicular; una mejor estabilidad en la mezcla con el suelo; un mejor comportamiento cohesivo y de fricción interna a los efectos producidos por los cambios de temperaturas. La base granular



existente estabilizada de 20 cm de espesor con 2% de emulsión asfáltica será la mejor solución para las curvas de la carretera Yauri desvío Livitaca (7 curvas).

### **1.9. Línea de Investigación**

La presente tesis, tiene como línea de investigación, la gestión e innovación y tecnología en infraestructura moderna y patrimonial. De manera tal se generen nuevos productos a través de la innovación, aplicando los principios de uso de la emulsión asfáltica en conservación y mantenimiento de carreteras.



## **II. MATERIAL Y METODOS**

### **2.1. Material:**

#### **2.1.1. Materiales de trabajo**

- 01 Lap Top
- 04 conos de seguridad
- 01 cuaderno de topografía
- 01 millar de hojas bond
- 01 memoria USB
- 04 lapiceros
- 01 Escalimetro
- 02 cuadernos de campo
- 01 wincha de 50 m
- 01 brújula
- 01 estación Total
- 01 trípode
- 01 impresora
- 01 plomada
- 02 primas

#### **2.1.2. Humano.**

- Alumno: Raúl Torres Arenas
- Asesor: Enrique Durand Bazán
- Ayudantes

#### **2.1.3. Servicios.**

- Hospedaje
- Transporte

- Alimentación
- Laboratorio de suelos

## **2.2. Material de estudio.**

### **2.2.1. Población.**

El universo de esta investigación abarca 1,970 m acumulados en las 7 curvas de la carretera Yauri – Desvió Livitaca, las mismas que se encuentran a nivel de base granular

#### **2.1.1.1. Datos generales**

- **Departamento:** Cusco
- **Provincia:** Chumbivilcas
- **Distrito:** Livitaca
- **Clima:** Frio
- **Altitud:** De 3,200.00 - 4,200.00 msnm

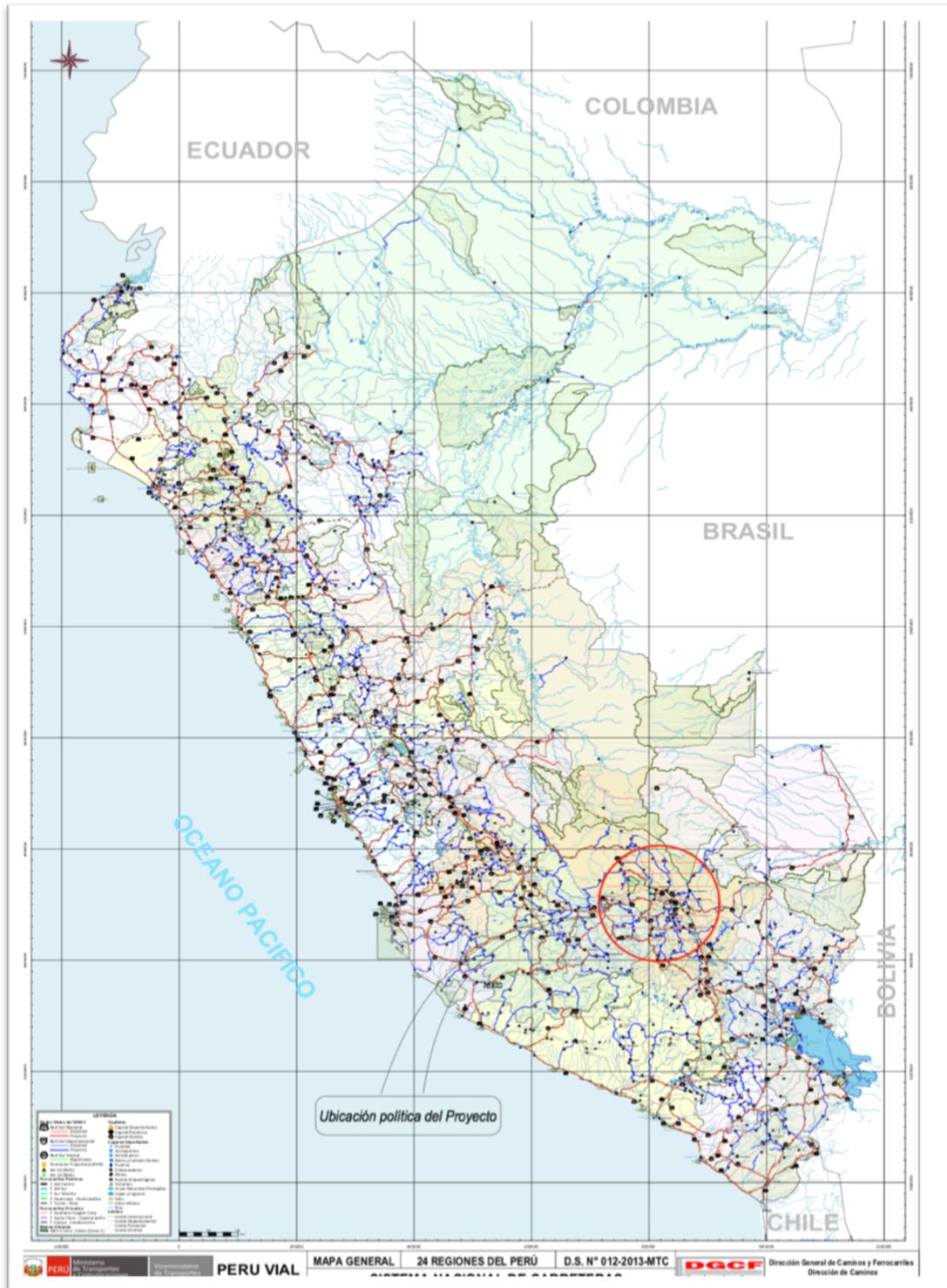


Figura 5 Ubicación del proyecto

Fuente: Provias Nacional- MTC 2018

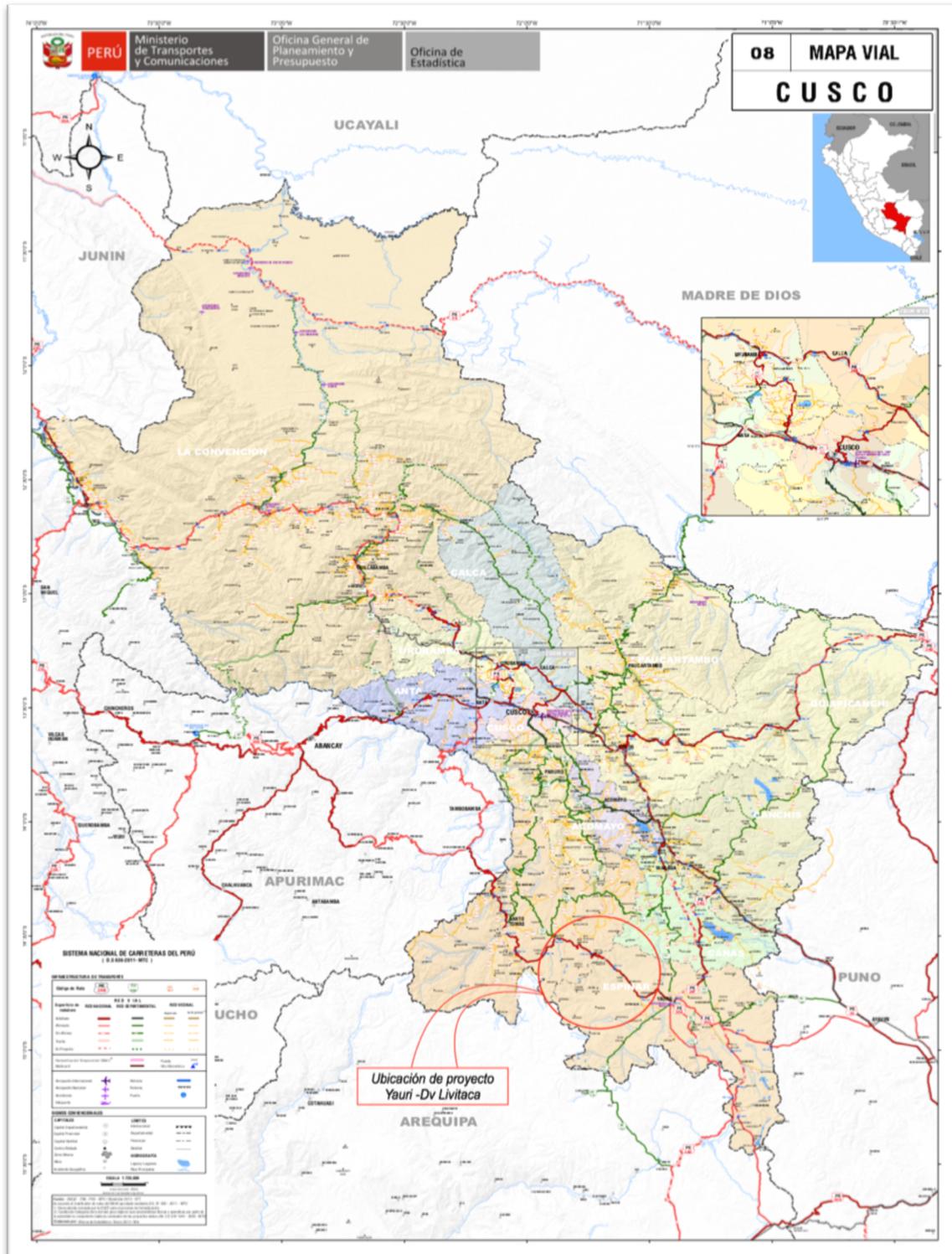


Figura 6 Localización del proyecto

Fuente: Provias Nacional- MTC 2018

### 2.1.1.2. Datos de la vía

- Ancho de la vía: 9.00 m
- Pendiente máxima 7%
- Pendiente mínima 1%
- Bombeo 2.5%
- Clasificación de la vía: Nacional
- De acuerdo con la demanda: Carretera segunda clase
- Por sus condiciones orográficas: Carretera tipo 2
- Longitud total: Acumulado 1,970 m

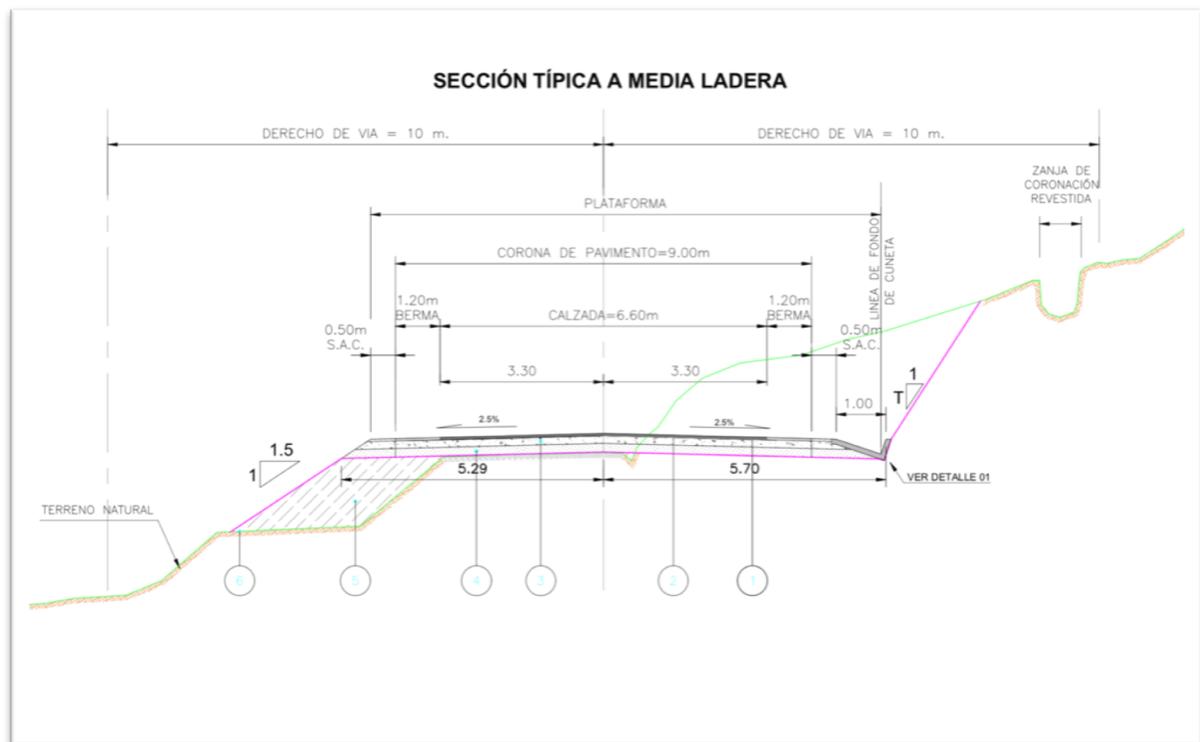


Figura 7 Sección típica de la vía Yauri Dv. Livitaca

Fuente: Elaboración propia, del levantamiento topográfico

### **2.2.2. Muestra.**

La muestra será en una longitud acumulada de 1.970 m acumulados en las 7 curvas, de la carretera Yauri – Desvío Livitaca. Se necesita establecer que el material existente en dichas curvas pueda ser mejorados con la incorporación de emulsión asfáltica y brindar óptimos resultados y gran estabilidad en pavimentos. Debido a la existencia de material a nivel de base en las 7 curvas. Este material proviene de una sola cantera: Cantera del río Cañipia del poblado de Yauri.

## **2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.**

### **2.3.1. Para recolectar datos.**

Para esta investigación, la observación, será la técnica. y la guía de observación es el instrumento. Se utilizará guía de observación para:

- Levantamiento topográfico.
- Estudio de tráfico
- Estudio hidrológico
- Ensayos de Laboratorio de Suelos.
- Diseño de pavimento

### **2.3.2. Para procesar datos.**

Para el procesamiento de datos de levantamiento topográfico, Mecánica de suelos y diseño de pavimento se utilizará lo siguientes:

- Para el levantamiento topográfico se utilizará, el programa civil 3d de Autodesk.
- Para el estudio de tráfico se usará el método de conteo
- Para estudio hidrológico se usará la data del SENAMI

- Para el estudio de mecánica de suelos y determinar resultados, se realizarán en un laboratorio.
- Para el diseño estructural de pavimento, se utilizará tablas de Excel con la aplicación de la norma ASSTHO y métodos del IA e Illinois.

## 2.4. Operacionalización de variables.

Proceso por el cual se convierte a una variable en un elemento capaz de ser directamente medible a través de un conjunto de operaciones secuenciales. Requiere del establecimiento de dimensiones e indicadores específicos de medición.

### Variable independiente:

Diseño de tratamiento de Bases existentes Estabilizadas con Emulsión usando método del IA e Illinois

Tabla 4 Cuadro de variables

VARIABLE	DEFINICION	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	
DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA	La estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. Igualmente, el estabilizante puede actuar como ligante para la cementación del suelo	El principal fin de la estabilización es incrementar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varien dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran tres objetivos importantes: adecuada estabilidad ante las cargas, durabilidad de la capa y una variación volumétrica mínima.	LEV. TOPOGRÁFICO	CURVAS DE NIVEL SECCIONES TRANSVERSALES PERFIL LONGITUDINAL	mts mts mts	
			ESTUDIO DE TRAFICO	INDICE MEDIO DIARIO ANUAL ESTIMACIÓN DE TRAFICO FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE PROYECCIÓN IMDA TRANSITO DE DISEÑO	Und % % VEHICULOS/DÍA	
			ESTUDIO PLUVIOMETRICO	ESTACIÓN TEMPERATURAS REGISTRO DE LLUVIAS PROMEDIO	COORDENADA UTM °C mm/Cm2	
			LABORATORIO DE SUELOS	ABRACIÓN DE LOS ANGELES EQUIVALENTE DE ARENA PESO ESPECIFICO DE SOLIDOS GRANULOMETRIA LIMITES DE ATTEBERG CBR PROCTOR	% % % % % % %	
				DISEÑO DE MEZCLA	ENSAYO MARSHALL CONTENIDO TEÓRICO DE EMULSION CONTENIDO DE AGUA CONTENIDO ÓPTIMO DE EMULSIÓN	% % % %

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico, se realizó en los tramos entendidos en las 7 curvas los cuales, contemplan una distancia acumulada de 1.97 Km. Levantamiento que se realizó con equipos topográficos con calibración estandarizada.

##### 3.1.1. Poligonal de apoyo

Los puntos geodésicos utilizados para la ejecución del levantamiento topográfico iniciaron con el punto de control **BM CS02** ubicados en distrito de Santo Tomas en la provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco.

*Tabla 5 Punto geodésicos*

Nº	Este	Norte	Altura
1	209644.555	8384641.05	4488.286
2	209648.976	8384642.32	4400.244

*Fuente Instituto geográfico del Perú*

##### 3.1.2. Elementos de curva

A continuación, se muestran los elementos de curva en el tramo de los 1.97 Km que comprende la presente investigación.



CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA Y COORDENADAS

ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C14	N2°36'06"W	41°48'59"	150.00	57.304	109.47	10.573	53+346.384	53+403.688	53+455.859	8385845.818	208478.304
C15	N34°58'10"W	77°02'09"	22.00	17.511	29.58	6.118	53+495.860	53+513.371	53+525.440	8385955.258	208510.800
C16	S67°59'52"W	77°01'47"	22.00	17.509	29.58	6.117	53+525.441	53+542.950	53+555.018	8385965.212	208477.224
C17	S2°34'53"E	19°56'53"	280.00	49.241	97.49	4.297	53+609.259	53+658.500	53+706.744	8385848.117	208451.631

Elementos de curva n° 1

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA Y COORDENADAS

ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C1	N68°56'00"W	11°33'31"	200.00	20.242	40.35	1.022	50+212.340	50+232.582	50+252.686	8385033.715	209564.639
C2	N47°15'07"W	12°42'20"	120.00	13.360	26.61	0.741	50+343.458	50+356.818	50+370.068	8385090.318	209452.807
C3	S87°21'24"W	75°42'30"	22.00	17.098	29.07	5.863	50+440.452	50+457.550	50+469.522	8385177.072	209399.956
C4	S11°38'25"W	75°43'27"	22.00	17.103	29.08	5.866	50+469.522	50+486.625	50+498.598	8385148.792	209366.841
C5	S44°13'52"E	3°58'26"	250.00	8.673	17.34	0.150	50+546.594	50+555.267	50+563.933	8385088.264	209421.316
C6	S49°36'24"E	21°36'03"	100.00	19.077	37.70	1.803	50+601.204	50+620.281	50+638.905	8385044.325	209456.652

Elementos de curva n° 2

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA Y COORDENADAS

ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C7	S14°57'47"E	14°00'49"	50.00	6.145	12.23	0.376	51+158.224	51+164.370	51+170.454	8384616.574	209651.115
C8	S35°59'44"E	11°20'23"	120.00	11.914	23.75	0.590	51+208.760	51+220.674	51+232.510	8384563.693	209672.448
C9	S14°39'42"W	51°14'06"	22.00	10.549	19.67	2.398	51+313.270	51+323.819	51+332.943	8384499.298	209749.248
C10	S65°54'00"W	51°14'29"	22.00	10.550	19.68	2.399	51+332.943	51+343.493	51+352.618	8384460.494	209716.364
C11	N33°32'28"W	6°11'25"	160.00	8.652	17.29	0.234	51+435.193	51+443.844	51+452.479	8384532.788	209649.177
C12	N19°29'59"W	9°21'32"	100.00	8.185	16.33	0.334	51+521.412	51+529.597	51+537.746	8384611.281	209613.935
C13	N20°33'19"W	11°28'10"	80.00	8.034	16.01	0.402	51+545.573	51+553.607	51+561.588	8384634.528	209607.784

Elementos de curva n° 3

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA Y COORDENADAS

ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C14	N2°36'06"W	41°48'59"	150.00	57.304	109.47	10.573	53+346.384	53+403.688	53+455.859	8385845.818	208478.304
C15	N34°58'10"W	77°02'09"	22.00	17.511	29.58	6.118	53+495.860	53+513.371	53+525.440	8385955.258	208510.800
C16	S67°59'52"W	77°01'47"	22.00	17.509	29.58	6.117	53+525.441	53+542.950	53+555.018	8385965.212	208477.224
C17	S2°34'53"E	19°56'53"	280.00	49.241	97.49	4.297	53+609.259	53+658.500	53+706.744	8385848.117	208451.631

Elementos de curva n° 4

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA Y COORDENADAS											
ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C18	S21°44'08"E	3°25'37"	100.00	2.992	5.98	0.045	55+863.169	55+866.160	55+869.150	8385405.446	207867.189
C19	S29°39'13"E	12°24'33"	80.00	8.697	17.33	0.471	55+898.968	55+907.665	55+916.294	8385367.367	207883.706
C20	S22°27'24"W	59°20'03"	25.00	14.241	25.89	3.771	55+954.383	55+968.624	55+980.273	8385320.132	207917.846
C21	S84°15'24"W	64°15'58"	25.00	15.703	28.04	4.522	55+980.524	55+996.226	56+008.565	8385294.885	207885.388
C22	N35°35'48"W	5°51'08"	250.00	12.779	25.54	0.326	56+068.565	56+081.344	56+094.100	8385360.896	207830.020

Elementos de curva n° 5

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA Y COORDENADAS											
ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C23	N33°32'32"W	57°55'25"	22.00	12.176	22.24	3.144	56+500.913	56+513.089	56+523.154	8385748.741	207791.676
C24	S88°31'56"W	57°55'37"	22.00	12.176	22.24	3.145	56+523.155	56+535.331	56+545.397	8385759.984	207770.074
C25	S27°32'21"W	5°28'36"	200.00	9.566	19.12	0.229	56+605.400	56+614.966	56+624.518	8385692.803	207728.152
C26	N80°41'07"W	80°22'10"	35.00	29.561	49.09	10.813	56+710.697	56+740.259	56+759.792	8385600.854	207646.504
C27	N20°37'04"W	1°19'25"	250.00	2.888	5.77	0.017	56+844.225	56+847.112	56+850.000	8385705.302	207598.427

Elementos de curva n° 6

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA Y COORDENADAS											
ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C28	N76°07'05"E	8°20'37"	200.00	14.588	29.12	0.531	60+862.074	60+876.662	60+891.199	8386892.412	206812.681
C29	N12°54'03"E	63°34'47"	22.00	13.635	24.41	3.883	61+035.458	61+049.094	61+059.871	8386928.388	206979.642
C30	N50°40'28"W	63°34'15"	22.00	13.633	24.41	3.882	61+060.890	61+074.523	61+085.300	8386977.920	206962.694
C31	S75°48'35"W	15°55'07"	300.00	41.945	83.35	2.918	61+148.730	61+190.674	61+232.079	8386928.113	206855.952
C32	S82°24'51"W	7°36'59"	200.00	13.313	26.59	0.443	61+322.948	61+336.261	61+349.535	8386919.176	206709.662

Elementos de curva n° 7

### 3.1.3. Resultados

- Del levantamiento topográfico realizado se establece lo siguiente.

Longitud: 1,970 m

Ancho: 6.6

Radio mínimo: 22.00

Radio Máximo: 300.00

### **3.2. Estudio de tráfico**

El estudio de tráfico esta basado en los datos históricos de los tramos de la carretera desde la localidad de Yauri y finalizando en el desvío de Livitaca, los mismos que fueron registrados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

#### **3.2.1. Características del tramo de estudio:**

Esta carretera esta denominada como: carretera nacional ya que conecta con más de 3 departamentos. Así mismo, transitan una gran variedad y cantidad de vehículos livianos y pesados, desde autos a tráiler con insumos y maquinaria, esta vía también es usada por la minera Constancia de Hudbay minerals.

#### **3.2.2. Índice medio diario anual:**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones recopila los datos de índice medio diario anual (IMDa), por tipo de vehículos, de los tramos viales del país. Se tienen los datos correspondientes al año 2010, los cuales se presentan en el Anexo. A continuación, se muestra la tabla resumen de la cantidad y tipo de vehículos de acuerdo con el Reglamento Nacional de Vehículos:

Tabla 6 Conteo volumétrico del tráfico

Tipo de Vehículos	IMDa	Distrib.%
Autos	33	4.4%
Station Wagon	101	13.3%
Camioneta Pick Up	208	27.5%
Panel	14	1.8%
Rural (Combi)	127	16.8%
Micro	30	4.0%
Ómnibus 2E y 3E	50	6.6%
Camión 2E	69	9.1%
Camión 3E	45	5.9%
Camión 4E	4	0.5%
Semi trayler	74	9.8%
Trayler	2	0.3%
<b>TOTAL IMD</b>	<b>757</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia, Basado en el Índice Medio Diario Anual, por tipo de vehículos, según tramos viales: 2013. Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Estadísticas de Transporte Carretero 2010, Portal web del MTC (<http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>)

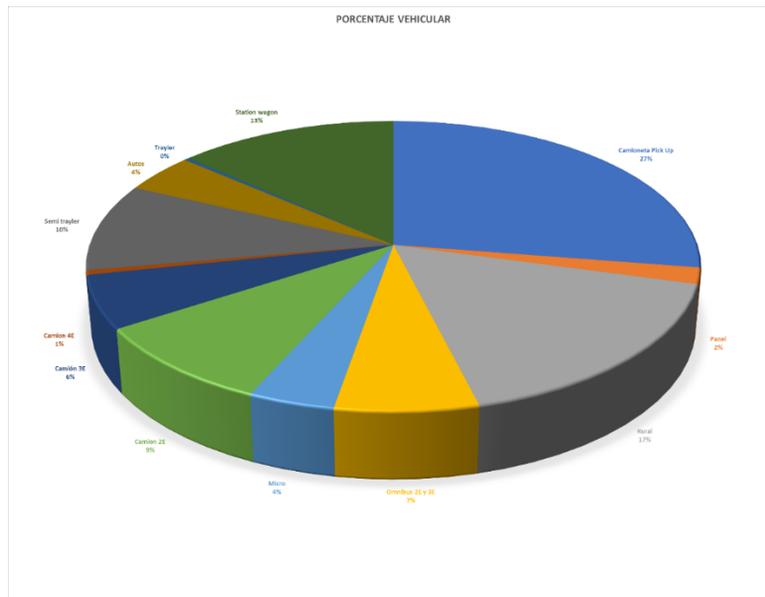


Figura 8 Distribución de volumen de tránsito

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. Estimación del tránsito futuro:

Se toma de base los datos históricos obtenidos del estudio de tráfico realizado para esta carretera y los resultados para la tasa de crecimiento anual son:

Tabla 7 Tasa de crecimiento de la vía Yauri Dv. Livitaca

año	Apurímac	acumulado	Cusco	acumulado
	DGPM Maximixe		DGPM Maximixe	
2013	4.20%	1.0420	4.50%	1.0450
2014	4.30%	1.0868	4.60%	1.0931
2015	4.30%	1.1335	4.70%	1.1444
2016	4.40%	1.1834	4.70%	1.1982
2017	4.40%	1.2355	4.70%	1.2546
2018	4.50%	1.2911	4.80%	1.3148
2019	4.50%	1.3492	4.70%	1.3766
2020	4.60%	1.4112	4.80%	1.4426
	<b>4.40%</b>		<b>4.69%</b>	<b>4.54%</b>

Fuente: Serie histórica proporcionada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para el estudio de tráfico de esta carretera

### 3.2.4. Factor de carga equivalente:

Como ya se ha mencionado anteriormente, existe la necesidad de homologar el efecto que tendrán los diferentes tipos de vehículos sobre el pavimento. Es por ello por lo que se determina un factor de carga equivalente por eje o Equivalent Axle Load Factor (EALF) por sus siglas en inglés. Este factor define el daño producido en el pavimento por el paso del eje en cuestión relativo al daño producido por un eje estándar, usualmente el de 18 kip u 80 kN. También es importante recalcar que los ejes simples, tándem y trídem no producen el mismo daño sobre la estructura por lo que sus factores son distintos, ello, principalmente por el peso de la carga que transportan y el peso del mismo vehículo, que altera la estructura.

Así mismo, la guía del AASHTO establece estos factores en base a ecuaciones que tienen como parámetros el peso del eje, el tipo de eje, el nivel de serviciabilidad final y el número estructural del pavimento para el tipo flexible. Para el pavimento rígido los parámetros son también el peso y el tipo de eje así como un espesor estimado de la capa de concreto.

Tomando en consideración el conteo de vehículos mostrado anteriormente se estima que el número de ejes equivalentes será mayor de  $3.0E+07$ ; por lo tanto, el nivel de serviciabilidad final recomendado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones es 3 para un pavimento que debe soportar ese tráfico. Asimismo, se utiliza un valor de número estructural de 5 como lo sugiere la AASHTO.

Tabla 8 Factor de carga

Tipo de eje	Carga por eje (ton)	Carga por eje (kips)	EALF
Simple	1	2.2	0.0004
Simple	7	15.4	0.577
Simple	7+7	2(15.4)	1.154
Dual	11	24.2	2.691
Tándem	16	35.3	1.285
Tándem	18	39.7	1.929
Trídem	23	50.7	1.327
Trídem	25	55.1	1.782

Fuente: AASHTO para pavimentos flexibles con nivel de serviciabilidad final de 3 y número estructural igual a 5. Fuente: AASHTO (1993) Tablas D7, D8 y D9. Anexo D.

### 3.2.5. Proyección del IMDa:

Para estimar el crecimiento del tránsito durante el periodo de diseño, se utiliza el modelo exponencial propuesto en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC. Este se presenta a continuación:

$$T_n = T_0(1 + i)^{n-1}$$

Donde:

$T_n$ : Tránsito proyectado al año n en veh/día

$T_0$ : Tránsito actual o del año base en veh/día

$n$ : Años del periodo de diseño

$i$ : Tasa anual de crecimiento.

Con la cantidad de vehículos del año base (2013) y la tasa de crecimiento calculada en la sección anterior (4.54%), se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 9 Proyección IMDa

<i>n</i> (Años)	Vehículos (Día)
5	11,159
10	14,310
15	18,351
20	23,533

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.6. Tránsito de diseño:

Una vez obtenidos todos los datos anteriores, se procede a calcular el número de ejes equivalentes o Equivalent Single Axle Load (ESAL) para los dos casos (flexible y rígido). Para esto se necesita el tráfico medio diario o Average Daily Traffic (ADT) el cual se obtiene del conteo vehicular y los factores EALF. Además, son necesarios otros parámetros:

- Factor de distribución direccional (D)
- Factor de distribución de carril (L)
- Periodo de diseño (Y)
- Factor de crecimiento (G)
- Porcentaje de camiones en el ADT (T)
- Numero aplicaciones de carga de ejes de 18 kip por camión (Tf)

El ADT se obtiene de la sumatoria de la multiplicación del número de repeticiones de un vehículo por su factor destructivo para todos los que transitan por la vía.

El factor de distribución direccional depende como su nombre lo indica de la cantidad de sentidos que tendrá la vía a diseñar.

En este caso como son dos sentidos se considera 0.5. El factor de distribución de carril depende de la cantidad de carriles que haya en cada sentido ya que los vehículos se reparten entre ellos.

Para el caso de dos carriles según la Tabla 6.16 de la AASHTO, L vale 80%.

El periodo de diseño se considera de 15 años al tratarse de una carretera importante y construida para el Estado.

La AASHTO recomienda el uso de un factor total de crecimiento que es equivalente al producto del factor de crecimiento por el periodo de diseño y se calcula con ayuda de la siguiente fórmula:

$$(G)(Y) = \frac{(1+r)^y - 1}{r}$$

Donde:

r = La tasa de crecimiento en porcentajes.

y = Periodo de diseño en años.

Por último, se considera el conteo real de los vehículos necesarios a estimar en el porcentaje de camiones con lo T y  $T_f$  tiene el valor de 1. Entonces los parámetros para pavimento flexible son:

Tabla 10 Parámetros de diseño para el pavimento flexible

Parámetro	Valor
ADTo	12,819
T=	1
Tf=	1
D=	0.5
L=	0.8
Y=	15 años
r=	0.051
GY=	21.742

Fuente: Elaboración propia

La fórmula propuesta por la AASHTO para calcular el número de ejes equivalentes es la siguiente:

$$ESAL = (ADT_0)(T)(T_f)(GY)(D)(L)(365)$$

Con lo cual se obtiene un número de ejes equivalentes (ESAL), para un pavimento determinado.

Tabla 11 Números de ejes equivalente

Pavimento	ESAL
Flexible	4.0 E+07

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7. Resultados

- La distribución de vehículos en el IMDa muestra que la mayoría son vehículos livianos. Sin embargo, los vehículos pesados, en especial semitrailers y buses de transporte público, también conforman un porcentaje representativo del tránsito que circula por la zona.
- La tasa de crecimiento anual de tráfico obtenida de los datos de 10 años (2013 - 2020) dan como resultado un promedio de 4.54%, el cual es utilizado para la estimación del tránsito futuro.
- Para determinar los factores de carga equivalente por eje (EALF) se utilizó la metodología de la AASHTO asumiendo valores iniciales recomendados por la misma guía.
- Se observa que los EALF para pavimento rígido son menores que para flexible cuando la carga por eje no es tan grande, mientras que ocurre lo inverso conforme la carga aumenta.
- Considerando los factores de diseño anotados anteriormente, el número de ejes equivalentes para el pavimento flexible es 4.1E+07.

### 3.3. Espesores mínimos requeridos

De acuerdo con el AASHTO, existen normativas que tienden a dar espesores de capas que deben ser construidas y protegidas de deformaciones

permanentes, por efecto de las capas superiores de mayor resistencia que obtendrán las capas estructurales.

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, ya que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el objeto de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos.

En la siguiente tabla se dan valores de los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito; que se pueden tomar en cuenta también como referencias en las bases tratadas con emulsión asfáltica.

Tabla 12 Números de ejes equivalentes vs espesores de escarificado en base granular

<b>Espesores mínimos requeridos</b>		
Numero de ESAL's	Capas Asfálticas	Base granular
Menos de 50000	3.0 cm	10 cm
50000 - 150000	5.0 cm	10 cm
150000 - 500000	6.5 cm	10 cm
500000 - 2000000	7.5 cm	15 cm
2000000 - 7000000	9.5 cm	15 cm
Más de 7000000	10.0 cm	15 cm

### 3.4. Estudios pluviométricos

La institución en la que nos apoyaremos para el presente estudio será el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) proporciona los datos de precipitación media diaria de diversas estaciones ubicadas en diversas zonas del país. Los valores de las precipitaciones son tomados a las 7 de la mañana y a las 7 de la noche. Asimismo, se registran las temperaturas máximas y mínimas todos los días.

El portal web de esta institución, ofrece información en tiempo real de los acontecimientos climáticos que viene ocurriendo en nuestro país y se encuentran publicados en el mapa de clasificación climática del mismo que se determinara el tipo de clima al que pertenece nuestra zona de estudio.



### **3.4.1. Estación:**

En la zona correspondiente a Espinar o Chumbivilcas no existe estación meteorológica por lo ubicaremos a la más próxima en su colindancia, por lo que elegimos a la estación ubicada en la provincia de Pomacanchi. Esta se ubica en la provincia de Pomacanchi, distrito de Lamay, a una latitud de  $14^{\circ}29'44.42''$ , longitud de  $71^{\circ}46'29.58''$ , a una altitud de 4,051 m.s.n.m. Esta estación cuenta con datos históricos desde el año 1985 hasta el año 2004.

### **3.4.2. Clima:**

A continuación, y basados en el mapa climatológico del SENAMHI se presenta el gráfico descriptivo de las zonas climáticas del Perú.

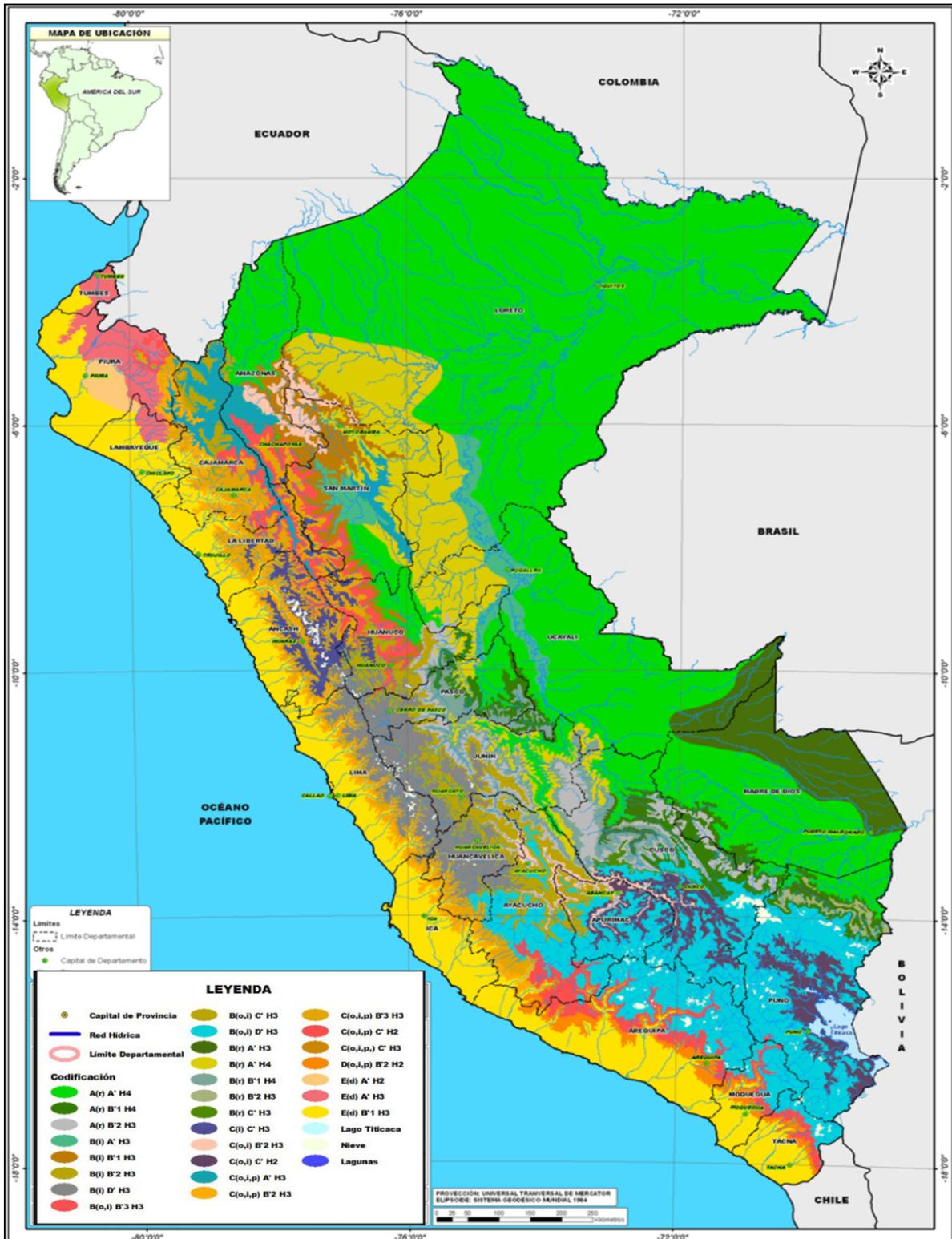


Figura 9 Mapa de clasificación climática del Perú

Fuente: Portal web del SENAMHI

Lo zona donde se sitúa en estudio en mención se ubica entre las provincias de Espinar y Chumbivilcas, en la zona altoandina del Perú. La figura n° contienen el mapa climatológico la misma que encierra en un círculo la zona en mención y esta pertenece a la zona B(o,i) D' H3 el mismo que corresponde un clima frío o boreal, de los valles meso andinos y presenta veranos lluviosos y de bastante precipitación.

Así mismo, en dicho sector se registran temperaturas máximas entre 23°C. En cuanto a las temperaturas mínimas, según el mapa del SENAMHI estas se encuentran en el rango -12°C.

Con estos valores y los datos de la estación de las Lomas se puede estimar una temperatura del aire promedio anual de entre 24°C y 34°C.

### 3.4.3. Registro de lluvias diarias al mes y precipitaciones promedio anuales

Con los datos proporcionados por el SENAMHI de las precipitaciones medias diarias se determina los días de lluvia por mes, así como el promedio de precipitaciones mensuales y anuales. Los resultados se muestran a continuación:

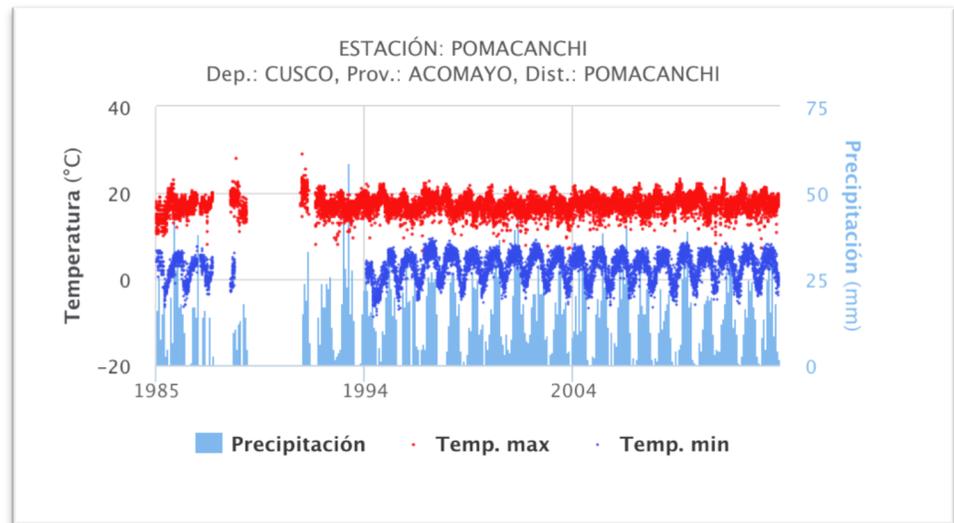


Figura 10 Precipitaciones medias mensuales y anuales

Fuente: Elaboración propia, basado en los datos históricos del portal web del SENAMHI

#### 3.4.4. Resultados

- Las máximas temperaturas de la zona se han registrado entre 24 °C y 28 °C.
- Las temperaturas mínimas registradas se ubican entre -12°C.
- La temperatura promedio del aire anual se encuentra en el rango entre 36°C.
- En el gráfico de las precipitaciones medias mensuales se observa que los meses más lluviosos son diciembre, enero y febrero con 5.5 mm y 7.8 mm respectivamente.
- Por los temas de humedad las precipitaciones se registran, casi todos los meses del año, aunque en el caso de mayo y junio las precipitaciones diarias son menores que el mes anterior, por lo que se puede considerar un mes de traslape entre la época lluviosa y la seca.
- La máxima precipitación registrada en los últimos años en la estación Pomacanchi de Lamay ha sido de 22.8 mm.

Por este resultado es que será necesario realizar ensayos de Marshall en estado seco y húmedo

### 3.5. Estudio de Suelos

#### 3.5.1. Análisis Granulométrico por tamizado

Este ensayo, se realiza bajo los siguientes estándares y normas nacionales e internacionales (MTC E 107-2000, ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107- 2000)

- **Objetivo:** Conocer la distribución de tamaños existente en las muestras y luego realizar sus respectivas curvas granulométricas.

- **Equipo:**
  - Balanza de sensibilidad de 0.1 gr.
  - Juego de tamices: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 10, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N° 100, N° 200, incluyendo tapa y fondo, las mallas son de abertura cuadrada.
  - Mortero y mano de mortero o un pulverizador mecánico de suelo.
- **Procedimiento:** El proceso de la determinación de una granulometría total de una muestra sería una actividad inútil que tomaría mucho tiempo, por este motivo es recomendable el procedimiento conocido como "Cuarteo" que consiste en disminuir el tamaño de la muestra por obtener una muestra representativa a un tamaño conveniente que facilite su manejo, o de dividirla en partes con similares características para utilizarlo en otros ensayos. Y se procede de la siguiente manera:
  - Se coloca la muestra buscando ocupar el mayor espacio posible en una superficie limpia y plana. Se combina toda la muestra usando palas. Se procede a formar con el material un depósito en forma cónico, este depósito cónico se aplana con palas quedando la muestra de forma circular uniforme.
  - Con las palas se procede a dividir en cuatro partes más o menos iguales, se eligen dos partes opuestas y se unen, desechándose las otras dos. Existen cuarteadores mecánicos que dividen la muestra más rápidamente, de preferencia son utilizados para grandes cantidades de material, pero se obtiene el mismo resultado
  - Se repite el procedimiento anterior hasta tener la cantidad de material necesario para el análisis granulométrico, en nuestro caso por tener partículas de tamaño máximo 2 pulgada más o menos 5 a 6 kg para el material granular.
  - Se seca en horno el material obtenido por cuarteo durante 24 horas a una temperatura de 110 °C a la intemperie si el clima lo permite, la finalidad es conseguir un peso constante. Se ubican los tamices colocándolos en forma descendente en

cuanto a su diámetro, los diámetros mayores queden se sitúan arriba, el ultimo tamiz colocado es el N° 200, debajo de la cual se coloca una base.

- Se pasa el agregado por los tamices y se sacude un tiempo adecuado hasta que se observe que la muestra no pase al siguiente tamiz.
- Se coloca una base o fondo para tamizar por separado cada malla debajo de la que se coloca la misma y se tamiza hasta que no pase material a esta, el pasante se agrega al tamiz siguiente. El material retenido en cada tamiz se coloca en la base y luego se pesa. Para el agregado grueso es sencillo colocarlo en la base, en el agregado fino es necesario cuidar que no se pierda material o que quede retenido en un tamiz para evitar esto se utilizara una escobilla.
- En todos los tamices se realiza el mismo procedimiento, registrándose en cada uno el peso que retiene. También se apunta el material que se almacena en la base que paso la malla N° 200. Esto nos permite controlar en caso de existencia de errores. Se anota el peso seco lavado antes de pasarlo por los tamices, la suma de los pesos retenidos en los distintos tamices hasta la malla N° 200 más el peso que queda en la base debe coincidir con esté.



ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO					
ASTM D 422/ MTC E 204					
Cantera	Cañipia	Hecho por : H.P.C.			
Registro	02	Revisado : M.B.E.			
Estructura	Base Granular				
Fecha	24-08-18				
Muestra	Producción				
<b>Granulometría (MTC E 204)</b>		<b>Humedad Natural</b>			
Datos de ensayo					
Peso Total	24527,0	P.M.H. =	642,3		
Peso de fracción :	781,3	P.M.S. =	605,0		
Peso de muestra lavada:	23720,2	% W =	6,2		
<b>Límite Líquido (MTC E-110 / ASTM D-4318)</b>					
Ensayo	1	2	3		
Nº de Golpes	31	24	17		
Recipiente Nº	4	10	12		
R + Suelo Hum.	30,12	32,02	29,00		
R + Suelo Seco	27,85	29,36	26,69		
Peso Recip.	14,13	14,19	14,26		
Peso Agua	2,27	2,66	2,31		
Peso S. Seco	13,72	15,17	12,43		
% de Humedad	16,55	17,53	18,58		
<b>Límite Plástico (MTC E-111 / ASTM D-4318)</b>					
Ensayo	1	2			
Recipiente Nº					
R + Suelo Hum.					
R + Suelo Seco					
Peso Recip.					
Peso Agua					
Peso S. Seco					
% de Humedad					
<b>Malla</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>% Ret Parcial</b>	<b>% Ret Acum.</b>	<b>% que Pasa</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>Tamiz mm.</b>					<b>Gradacion</b>
3"	76,200				"A"
2 1/2"	63,500				100 100
2"	50,600				
1 1/2"	38,100			100,0	
1"	25,400	374,0	1,5	1,5	98,5
3/4"	19,050	4237,0	17,3	18,8	81,2
1/2"	12,700	4868,0	19,8	38,6	61,4
3/8"	9,525	1915,0	7,8	46,5	53,5
1/4"	6,350	2428,0	9,9	56,4	43,6
No4	4,760	962,0	3,9	60,3	39,7
8	2,360	124,7	6,3	66,6	33,4
10	2,000	40,4	2,1	68,7	31,3
16	1,190	143,6	7,3	76,0	24,0
30	0,600	191,0	9,7	85,7	14,3
40	0,420	83,3	4,2	89,9	10,1
50	0,300	52,1	2,6	92,6	7,4
100	0,149	59,2	3,0	95,6	4,4
200	0,074	22,3	1,1	96,7	3,3
< 200		64,7	3,3	100,0	
Clasificación SUCS		GP	L.L. :	17,39	
Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	I.P. :	NP	
<b>CURVA GRANULOMETRICA</b>					
<b>OBSERVACIONES :</b>					

### 3.5.2. Determinación del Limite Líquido

(MTC E 110 - 2000, ASTM D 4318, AASHTO T 89), determinación del Limite Plástico (L.P.)

Índice de Plasticidad (L.I.) (MTC E 111 - 2000, ASTM 4318, AASHTO T90)

Plasticidad: Es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. (AVILA, 2004) La determinación de esta propiedad se la realiza separando de la mezcla de agregados el material que pasa la malla N° 40. Por este motivo se asume que este material fino se comportaría como un suelo.

Al tratar de definir en términos simples la plasticidad, no resulta suficiente decir que un suelo plástico, puede deformarse y re moldearse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esas características cuando la deformación se produce lentamente y, a pesar de ello, no es plástica en un sentido más amplia de la palabra; hay entre el comportamiento de la arcilla y el de la arena en cuestión una importante diferencia: el volumen de la arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varia; además, la arena se desmorona en deformación rápida.

#### 3.5.2.1. Estado de Consistencia

**Límites de Plasticidad:** Según su contenido de agua en forma decreciente, una mezcla de agregados susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg:

- **Estado Líquido.** - Con las propiedades y apariencias de una suspensión.
- **Estado Semilíquido.** - Con las propiedades de un fluido viscoso.
- **Estado Plástico.** - El suelo se comporta plásticamente.

- **Estado Semisólido.** - El suelo tiene la apariencia de un sólido, disminuye volumen al someterse al secado.
- **Estado Sólido.** - El volumen de la mezcla no o suelo no varía con el secado.

### Consistencia de Suelos Amasados:

Después que un suelo cohesivo ha sido amasado, su consistencia puede ser variada a voluntad, aumentando o disminuyendo su contenido de humedad. Así, por ejemplo, si se reduce lentamente el contenido de humedad de un barro arcilloso líquido, la arcilla pasa gradualmente del estado líquido al estado plástico y finalmente al estado sólido. El contenido de humedad a que se produce el paso de un estado al otro es muy distinto para las diferentes arcillas y por ello dichos contenidos de humedad pueden ser utilizados para identificar y comparar las arcillas entre sí. Sin embargo, la transición de un estado al otro no ocurre en forma abrupta, tan pronto se alcanza un contenido de humedad crítica, sino en forma muy gradual.

El método que ha resultado más apropiado a los propósitos de los ingenieros fue tomado de la agronomía y se conoce como el método de Atterberg. Los contenidos de humedad que corresponden a los límites entre los distintos estados de consistencia se conocen también como límites de Atterberg.

Para determinar la consistencia de los suelos se hace uso de los Límites de Atterberg, que separan los estados de consistencia de los suelos. Estos límites son:

- ✓ Límite Líquido,
- ✓ Límite Plástico y
- ✓ Índice de Plasticidad.

**Límite Líquido:** Indica el contenido de humedad en que el suelo pasa del estado plástico al líquido, además revela si el suelo contiene humedad suficiente para superar la fricción y cohesión interna.

Cuando la plasticidad se convirtió en una propiedad índice fundamental, a partir de la utilización que Terzaghi y

Casagrande hicieron de ella, la determinación de los límites de plasticidad se transformó en prueba de rutina en todos los laboratorios; en este caso, los métodos de Atterberg se revelaron ambiguos, dado que la influencia del operador es grande y que muchos detalles, al no estar especificados, quedaban a su elección. En vista de lo cual, Terzaghi sugirió a Casagrande la tarea de elaborar un método de prueba para la determinación del límite líquido estandarizando todas sus etapas.

Para situar el material en el límite líquido se utiliza la copa de Casagrande.

El límite líquido se determina conociendo 3 o 4 contenidos de agua diferentes en su vecindad, con los correspondientes números de golpes y trazando la curva Contenido de agua- Número de golpes.

Para la construcción de curva de fluidez sin salirse del intervalo en que puede considerarse recta.

Casagrande recomienda registrar valores entre los 6 y 35 golpes, determinado 6 puntos, tres entre 6 y 15 golpes, y tres entre 23 y 32. La fuerza que compone a la fluencia de los lados de la ranura proviene de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, este material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 gr/cm<sup>2</sup>.

El número de golpes requerido para cerrar la ranura es una medida de esa resistencia, al correspondiente contenido de agua.

**Límite Plástico:** Cuando el suelo pasa de semisólido a plástico porque contiene humedad suficiente se dice que ha traspasado su límite plástico. La resistencia del suelo disminuye rápidamente al aumentar el contenido de humedad más allá del límite plástico.

La prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. Terzaghi agregó que el diámetro sea de 3

mm (1/8"). La formación de los rollitos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollitos llegan a los 3 mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinará rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico.

**El índice plástico:** El índice plástico se lo define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Es una medida de la plasticidad del suelo.

○ **OBJETIVO**

Determinar en el laboratorio, el Límite Plástico, Límite Líquido y Índice de Plasticidad de los materiales granulares.

○ **EQUIPO**

- Dispositivo mecánico (Copa de Casagrande)
- Papel periódico para secado de muestras
- Muestras de material a ensayarse
- Envase de plástico que contiene agua
- Acanaladores: Tipo ASTM Tipo Casagrande o laminar
- Franela o esponja
- Plato para mezclado, de aproximadamente 115 mm de diámetro.
- Espátula
- Superficie de rodadura. - Una placa de vidrio esmerilado.
- Recipientes
- Balanza
- Horno capaz de mantener constantemente una temperatura de 110° C

---

○ **PROCEDIMIENTO**

**Para hallar el Límites Líquido:**

1. Colocamos la muestra en el recipiente metálico y mezclar con la espátula hasta obtener una pasta homogénea y densa que pueda moldearse fácilmente.
2. Con la ayuda de la espátula colocar una porción de la pasta en la Copa de Casagrande sobre la parte que descansa en la base, extendiéndola rápida y cuidadosamente con la espátula, presionando bien para que no quede espacios dentro de la muestra.
3. Con la espátula enrazar la superficie de la muestra de tal manera que tenga una profundidad de 1 cm en la sección de espesor máximo, regresando el suelo sobrante al recipiente metálico.
4. Con el acanalador tipo ASTM realizar un canal en la muestra, de manera que el plano de simetría del canal sea perpendicular a la articulación de la copa y procurando, además, que el acanalador se mantenga normal a la superficie de la copa.
5. Girar la manivela a una velocidad constante de 2 golpes/seg, y contar los golpes necesarios para que las dos mitades de muestra se pongan en contacto al fondo del canal en una longitud continua de alrededor de 1 cm, por fluencia de la muestra y no por deslizamiento entre la muestra y la copa.
6. Si el número de golpes para la primera determinación esta entre 25 y 45 golpes, continuar normalmente como se indica los siguientes pasos, si no, añadir agua o secarla al aire, lo que fuera más apropiado y repetir los pasos anteriores hasta que esta condición se obtenga.
7. Regresar el material de la copa al recipiente metálico y mezclar completamente, limpiar y secar la copa y el acanalador y repetir los pasos 2 y 6, hasta que se obtenga dos determinaciones congruentes con diferencia máxima de un golpe.
8. Del lugar donde se juntan los bordes del canal, tomar con la espátula una porción de muestra y colocarlo en el recipiente adecuado para proceder a determinar el contenido de humedad.
9. Para efectuar los distintos ensayos, hacer el amasado de la muestra únicamente mediante el aumento progresivo de agua, de tal manera que cada vez el suelo se torne más fluido.

### Para hallar el Límite Plástico:

- Se requiere una cantidad de suelo con una masa aproximada de 20 g que pase el tamiz 0.425 mm (No. 40), obtenido de acuerdo con la norma AASHTO T 87.
- Colocar al suelo en el plato de mezclado y agregar agua destilada hasta que la masa se vuelva plástica y pueda formarse fácilmente una esfera.
- Tomar una porción de 1.5 a 2.0 g de la masa de suelo y forme una masa elipsoidal.
- Ruede la masa del suelo entre la palma de la mano y la placa de vidrio hasta obtener un hilo de diámetro uniforme a una velocidad de 80 a 90 ciclos por minuto. El hilo se irá formando hasta que su diámetro alcance 3 a 3.2 mm, esto no debe tomar más de 2 minutos.

### CÁLCULOS:

#### Para el contenido de Humedad:

El porcentaje de la humedad de las muestras de suelo se las puede calcular con la siguiente formula:

$$w\% = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\%$$

#### Donde:

w = Contenido de agua, en %

W1 =Peso del recipiente, en gr

W2= Peso del recipiente más material Húmedo, en gr. W3 = Peso del recipiente más material Seco, en gr.

### Índice de Plasticidad:

$$I_p = L_l - L_p$$

#### Donde:

L<sub>l</sub> = límite líquido

L<sub>p</sub> = límite plástico

### RESULTADOS

Los resultados del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los materiales granulares se encuentran en la hoja anterior.

#### 3.5.3. Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos,

El ensayo de equivalente de arena se realiza bajo la normativa siguiente: (MTC E 114 - 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).

El ensayo de equivalente de arena es un método para determinar las cantidades indeseables de polvo fino y arcilla en la muestra de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (N° 4).

El término de equivalente de arena asume que todos los suelos tienen partículas de diferentes tamaños estos se encuentran mezclados desde tamaños gruesos, arenas y finos. En el ensayo se puede definir al equivalente de arena como la relación entre la altura de la arena con respecto a la altura de la arcilla expresada en porcentaje.

Este procedimiento puede utilizarse fácilmente en obra para determinar cambios en la calidad de los agregados.

- **OBJETIVO:** Asignar un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm).
- **EQUIPO:**

- Tuvo irrigador de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
  - Sistema de Sifón. Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 Lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
  - Probeta graduada. Con diámetro interior de  $31.75 \pm 0.381$  mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
  - Tubo flexible de caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través de este. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
  - Pisón metálico. Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo dentro del cilindro. Lleva una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese 1 kg. (barra metálica, disco y sobrecarga).
  - Recipiente metálico. De estando aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de  $85 \pm 5$  ml, borde superior uniforme de modo que la muestra que se coloca en ella se pueda enrasar para conseguir el volumen requerido.
  - Cronometro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
  - Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
  - Tamiz. Tamiz N°4 según especificaciones ASTM E11
  - Recipiente para mezcla Horno. Capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
  - Papel filtro
- **PROCEDIMIENTO:**
1. Por el sifón verter  $102 \pm 3$  mm (4 pulg). de solución de trabajo de cloruro de calcio, en la probeta. Con ayuda del embudo verter en la probeta,  $85 \pm 5$  cm<sup>3</sup> del suelo preparado.

2. Golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra. Dejar reposar durante  $10 \pm 1$  min.
3. Transcurridos los 10 min., tapar la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez.

#### **Proceso de irrigación.**

- El cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo.
- Introduzca el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, suelte la abrazadera de la manguera y limpie el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja.
- El irrigador debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo sobre las partículas gruesas de arena.
- Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levante el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38.0 cm mientras se saca el tubo. Regule el flujo justo antes.

#### **Lectura de arcilla.**

- Dejar reposar durante 20 min.  $\pm$  15 s. Comience a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador.
- Al término de los 20 min., leer el nivel superior de la suspensión de arcilla. Este valor se denomina lectura de arcilla. Si la línea de marca no es clara transcurridos los 20 min. del periodo de sedimentación, permita que la muestra repose sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida; inmediatamente, lea y anote el nivel máximo de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si el periodo total de sedimentación excede los 30 min., efectúe nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra. Registre la lectura de la columna de arcilla para la muestra que requiere el menor tiempo de sedimentación como lectura de arcilla.

### **Lectura de arena.**

- Después de la lectura de arcilla, introduzca en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y baje lentamente hasta que llegue sobre la arena. No permitir que el indicador golpee la boca de la probeta mientras se baja el conjunto.
- Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta, lea y anote. Restar 25.4 cm. del nivel indicado en el borde superior del indicador y registrar este valor como la lectura de arena.
- Después de tomar la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar con el pie porque podría dar lecturas erróneas.
- Si las lecturas de arcilla y arena están entre 2.5 mm de graduación (0.1 pulgadas), registrar el nivel de graduación inmediatamente superior como lectura.

### **• RESULTADO**

Los resultados del ensayo Equivalente de Arena de los materiales granulares de las canteras Cañipia, presentan en las siguientes tablas:

		<b>LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO</b>																																																				
		EQUIVALENTE DE ARENA (NORMA ASTM D-2419 MTC E- 114)																																																				
<b>PROYECTO:</b> Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica cationica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)																																																						
<b>DATOS DEL PROYECTO</b>																																																						
				FECHA: 24/08/2018																																																		
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																						
Tipo material: Base Granular																																																						
Ubicación de Muestra: Cañipia																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">N° DE ENSAYOS</th> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> <th style="text-align: center;">3</th> <th style="text-align: center;">PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tamaño máximo (pasa malla N° 4)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de entrada a saturación</td> <td style="text-align: center;">10:10</td> <td style="text-align: center;">10:12</td> <td style="text-align: center;">10:14</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de salida de saturación (mas 10")</td> <td style="text-align: center;">10:20</td> <td style="text-align: center;">10:22</td> <td style="text-align: center;">10:24</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de entrada a decantación</td> <td style="text-align: center;">10:22</td> <td style="text-align: center;">10:24</td> <td style="text-align: center;">10:26</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de salida de decantación (mas 20")</td> <td style="text-align: center;">10:42</td> <td style="text-align: center;">10:44</td> <td style="text-align: center;">10:46</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura máxima de material fino</td> <td style="text-align: center;">5,5</td> <td style="text-align: center;">5,2</td> <td style="text-align: center;">5,1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura máxima de la arena</td> <td style="text-align: center;">3,5</td> <td style="text-align: center;">3,4</td> <td style="text-align: center;">3,3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Equivalente de Arena (%)</td> <td style="text-align: center;">63,6</td> <td style="text-align: center;">65,4</td> <td style="text-align: center;">64,7</td> <td style="text-align: center;"><b>64,6</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Resultado Final Considerado por Norma EG 2000 (%)</b></td> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>65</b></td> </tr> </tbody> </table>					N° DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO	Tamaño máximo (pasa malla N° 4)					Hora de entrada a saturación	10:10	10:12	10:14		Hora de salida de saturación (mas 10")	10:20	10:22	10:24		Hora de entrada a decantación	10:22	10:24	10:26		Hora de salida de decantación (mas 20")	10:42	10:44	10:46		Altura máxima de material fino	5,5	5,2	5,1		Altura máxima de la arena	3,5	3,4	3,3		Equivalente de Arena (%)	63,6	65,4	64,7	<b>64,6</b>	<b>Resultado Final Considerado por Norma EG 2000 (%)</b>	<b>65</b>			
N° DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO																																																		
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)																																																						
Hora de entrada a saturación	10:10	10:12	10:14																																																			
Hora de salida de saturación (mas 10")	10:20	10:22	10:24																																																			
Hora de entrada a decantación	10:22	10:24	10:26																																																			
Hora de salida de decantación (mas 20")	10:42	10:44	10:46																																																			
Altura máxima de material fino	5,5	5,2	5,1																																																			
Altura máxima de la arena	3,5	3,4	3,3																																																			
Equivalente de Arena (%)	63,6	65,4	64,7	<b>64,6</b>																																																		
<b>Resultado Final Considerado por Norma EG 2000 (%)</b>	<b>65</b>																																																					

### 3.5.4. Relaciones Humedad - Densidad (Proctor Modificado)

Este ensayo, se realiza bajo las normas (MTC E 115 - 2000, ASTM D 1557).

#### Compactación

La relación entre la humedad y la densidad de un suelo o mezcla de materiales compactados como las bases, tienen una gran importancia y siempre se debe controlar que se cumpla en obra evitando grandes variaciones.

Para determinar estas propiedades se desarrolla el ensayo Proctor que lleva el nombre de quien investigo esta relación y quien propuso el procedimiento.

El procedimiento de este ensayo consiste en dejar caer un martillo de 5.5 libras de una altura de 12 pulgadas, sobre una superficie de material conociendo su volumen, una serie de golpes por capas, este procedimiento es conocido como PRÓCTOR NORMAL, luego se lo denominó AASHTO ESTÁNDAR T-99.

Posteriormente la necesidad de obtener mejor respuesta del suelo y mezcla de materiales obligó a que se modifique este ensayo, manteniendo el procedimiento anterior, pero modificando el martillo a 10 libras de peso, la altura de caída a 18" y el volumen de los materiales a compactar.

A esta modificación se la conoce como PRÓCTOR MODIFICADO o AASHTO MODIFICADO T-180 usado generalmente en construcción de pavimentos, permite determinar la humedad optima que se puede definir como la humedad ideal en la cual el suelo o la mezcla de materiales alcanza las mejores propiedades mecánicas.

El valor de la humedad optima depende de la cantidad de energía de compactación a la que se expone el material a compactar. Esta humedad depende directamente de la cantidad de energía de compactación a la que se ha sometido el material; al ser mayor la energía de compactación, la humedad optima será menor y la densidad seca será mayor.

En el método de compactación Proctor Estándar y Modificado la energía se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$E = \frac{n * N * W * h}{V}$$

En donde:

E= Energía de compactación

n =Número de capas

N= Número de golpes por capa W= Peso del Martillo

h = Altura de Caída

V = Volumen del molde

Las energías de compactación son las siguientes:

Ensayo Proctor Modificado:  $E_e = 27.2 \text{ kg-cm/cm}$

Ensayo Proctor Estándar:  $E_e = 6.1 \text{ kg-cm/cm}$

El empleo de una mayor energía de compactación permite alcanzar densidades secas mayores y humedades óptimas menores, esto se comprueba al analizar los resultados obtenidos con las pruebas Proctor Estándar y Proctor Modificado mediante el uso de una curva de compactación.

#### • OBJETIVO

Determinar en el laboratorio el contenido óptimo de humedad que permite la mejor compactación de la mezcla de agregados en estudio.

#### • EQUIPO

- Tamices N° 4 y % pulg.
- Martillo de cabeza de caucho.
- Bandeja metálica grande.
- Balanza de precisión, aproximación 0.1 gr.
- Probeta graduada, capacidad 250 o 500 cm<sup>3</sup> de volumen.
- Calibrador, aproximación 0.01 cm.
- Horno de graduación de temperatura de hasta 110°C como mínimo.
- Molde de compactación cilíndrico, metálico. 152.4 mm de diámetro, Con un collar ajustable aproximadamente de 60 mm (2pulg) de altura.
- Martillo de compactación con peso de 4.536 kg y cae desde una altura de 45.72 cm.
- 

#### • PROCEDIMIENTO

1. Si la muestra de material granular se encuentra húmeda cuando se recibe, se la seca en el horno a una temperatura que no exceda los 60° C o se seca al aire.
2. Se utiliza material pasante sobre el tamiz N° 3/4, el resto se desecha.
3. Si más del 75% de la muestra pasa por el tamiz de N° %, se utiliza todo el material para preparar los especímenes de ensayo, si el material retenido por el tamiz N° 3/4 es mayor al 25 % se hace un reemplazo por material que pase el tamiz de N° 3/4 y es retenido por el tamiz N° 4
4. Seleccione una muestra representativa, se recomienda muestras de 11 kg o más.
5. Se mezcla la muestra con agua hasta conseguir una humedad de 4% debajo del óptimo contenido de humedad.
6. Se deja reposando la muestra en un envase hermético por un tiempo mínimo.
7. Se procede a formar un espécimen en el molde de 152.4 mm de la siguiente manera: 5 capas de aproximadamente el mismo espesor y en cada capa se realizará la compactación mediante 56 golpes del martillo dejándolo caer de 457 mm de altura.
8. Luego de la compactación se procede a remover el collarín metálico y se retira el material adherido a este. Se procede a eliminar cuidadosamente el material sobrante del molde metálico, para esto nos valemos de una regla metálica, el material eliminado será reemplazado por material fino que cubrirá los espacios dejados.
9. Se pesa el molde más la muestra en una balanza.
10. Se saca la muestra se toma la humedad actual, luego se la pone en el horno para determinar la humedad en el momento de la compactación.

## • CÁLCULOS

### Para el contenido de Humedad:

El porcentaje de la humedad de las muestras de suelo se las puede calcular con la siguiente formula:

$$W\% = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} * 100\%$$

Dónde:



w = Contenido de agua, en %

W 1 =Peso del recipiente, en gr

W2= Peso del recipiente más material húmedo, en gr.

W3 = Peso del recipiente más material seco en gr.

### Densidad Humedad del Suelo:

$$\text{Compactado} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen}}$$

### Densidad seca del suelo

$$\text{Compactado} = \frac{\text{Densidad humeda del suelo compactado}}{\text{Contenido de humedad}+100} * 100$$

### •RESULTADOS

Los resultados del Ensayo Proctor Modificado de las canteras Cañipia, se encuentran en las siguientes tablas. Obtenidas en ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ENSAYO DE PROCTOR							
(ASTM D - 1557 / AASHTO T 180 / MTC E115)							
DATOS DEL PROYECTO							
PROYECTO:	Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica cationica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)						
DISTRITO	Coporaque						
PROVINCIA	Espinar					FECHA:	24/08/2018
DEPARTAMENTO	Cusco						
DATOS DE LA MUESTRA							
Ubicación de Muestra: Cañipia							
TIPO PROCTOR: (MODIFICADO)	UND	PUNTOS				Observaciones:	
		1	2	3	4		
METODO DE COMPACTACION							
PESO SUELO + MOLDE	gr.	11280	11550	11720	11754		
PESO MOLDE	gr.	6753	6753	6753	6753		
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	2113	2113	2113	2113		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	gr.	4527	4797	4967	5001		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	2,142	2,270	2,351	2,367		
HUMEDAD	UND	RECIPIENTES				Observaciones:	
	cod.	0	0	0	0		
RECIPIENTE N°							
PESO SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	gr.	652,30	521,30	892,30	1071,20		
PESO SUELO SECO + RECIPIENTE	gr.	639,00	501,20	841,00	991,30		
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	0,00	0,00	0,00	0,00		
PESO DE AGUA	gr.	13,30	20,10	51,30	79,90		
PESO DE SUELO SECO	gr.	639,00	501,20	841,00	991,30		
CONTENIDO DE AGUA	%	2,08	4,01	6,10	8,06		
PESO VOLUMETRICO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2,099	2,183	2,216	2,190		
<p style="text-align: center;">DENSIDAD MAXIMA</p> <p style="text-align: center;">CURVA PROCTOR</p> <p style="text-align: center;">DENSIDAD MAXIMA gr/cm<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;">HUMEDAD OPTIMA (%)</p>							
Densidad Maxima	2,22 gr/cm <sup>3</sup>		Humedad Optima		6,20 %		
Densidad Maxima Corregida	gr/cm <sup>3</sup>		Humedad Optima Corregida		%		
Observacion:							

### 3.5.5. CBR

Este ensayo se realiza bajo la normativa nacional e internacional siguiente: (MTC E 132- 2000, ASTM D 1883, AASHTO T 193). -

El valor de soporte de una estructura de pavimento es la capacidad de soporte de cargas que poseen las capas que conforman el camino, siendo este un parámetro muy importante para el buen funcionamiento de un camino.

En la actualidad para determinar la capacidad soportante de un camino se utiliza valor que se obtiene a través del CBR (California Bearing Ratio), denominado así debido a que fue en California donde dio origen este ensayo.

La determinación de este ensayo se realiza bajo la norma AASHTO y que consiste en un procedimiento conjunto de penetración e hinchamiento.

El hinchamiento de la muestra se registra sometiendo el espécimen en inmersión durante un periodo de 4 días. Se efectúan dos lecturas, una al inicio y una al final; usando un trípode debidamente calibrado. El hinchamiento requiere un cuidado especial en suelos arcillosos o con mucho fino, debido a que pueden provocar asentamientos diferenciales, causales de muchos danos en obras civiles.

El ensayo de penetración tiene por objetivo determinar la capacidad soportante de un suelo o la mezcla de agregados, en analogía el SPT (Standard Penetración Test) empleado en geotecnia. Se basa en la aplicación de una presión creciente efectuada mediante una prensa a la que va acoplado un pistón de área anular sobre una muestra de suelo o mezcla con una humedad óptima de Proctor, en el caso de las Bases Proctor Modificado. La velocidad de penetración de la carga también está normalizada, debiendo ser de 1.27 mm/min. EL tamaño de los moldes a utilizar tendrá un diámetro interno de  $152.4 \pm 0.7$  mm y una altura de  $177.8 \pm 0.5$  mm; deberán tener un collar de extensión metálica de 50.8 mm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual a 1.6 mm.

El valor de CBR se definió como la relación entre la presión necesaria para que penetre una cierta profundidad y la necesaria para conseguir esa

misma penetración en un suelo patrón de grava machacada, expresada en porcentaje.

Comúnmente se toman diversos pares valores presión - penetración, para elaborar una gráfica que represente la tendencia del CBR a medida que varía la profundidad, suele tomarse 0.1" y 0.2", comparándose con los de la muestra patrón.

#### • OBJETIVO

Determinar la relación de soporte de California (CBR) de las bases granulares conformadas con los agregados estudiados, además evaluar la calidad relativa del para su uso como base.

#### • EQUIPO

- Molde. - Metálico cilíndrico, diámetro interior  $6.0 \pm 0.026$  pulg, altura  $7.0 \pm 0.018$  pulg, provistos de un collar de 2 pulg de altura y un plato base perforado.
- Disco espaciador
- Pisón Metálico: Cara plana circular de 2 pulg de diámetro,
  
- Dispositivo para medir la expansión
  
- Trípode con deformímetro
- Pesos de sobrecarga
- Pistón de penetración
- Cilíndrico metálico diámetro  $1.954 \pm 0.005$  pulg, área 3 pulg<sup>2</sup>, y una longitud no inferior a 4 pulg.
- Dispositivo de Carga. - Aparato de compresión capaz de aplicar carga creciente uniforme a una razón de 0.05 pulg/min.
- Tanque de remojo
- 10. Horno capaz de mantener una temperatura de (11 O) oc. 11.  
Recipientes para contenido de humedad

#### • PROCEDIMIENTO

1. De una muestra que tenga un peso de 35 kg (75 lb) o más, seleccione una porción representativa de una masa aproximada de 11 kg (25 lb) para una prueba de humedad - densidad y divida el

resto de la muestra para obtener tres porciones representativas que tengan una masa de 6.8kg (15 lb) cada una.

2. Determine la humedad óptima y la densidad seca máxima por medio del ensayo (AASHTO T -180).
3. Determine la humedad natural como lo establece la norma AASHTO T-265. Añada agua necesaria para llegar a la humedad óptima.
4. Compactar tres especímenes, para que sus densidades compactadas vayan desde 95% o más baja a 100% ó más alta de la densidad seca máxima determinada.
5. Empalme el molde a la base del plato y pese.
6. Inserte el disco espaciador dentro del molde y coloque un papel filtro en la parte superior del disco.
7. Mezcle cada una de las tres porciones de 6.8 kg (15 lb) ya preparadas con suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo. Se obtiene el contenido de humedad óptimo por la siguiente formula:

$$\% \text{ de agua añadida} = \frac{H - h}{100 - h} * 100$$

Dónde:

H = Humedad prefijada

h= Humedad natural

8. Compacte en cinco capas iguales si la densidad máxima fue determinada por la norma AASHTO T180.
9. Compactando cada capa con 65, 30 y 10(AASHTO) o con 56, 25 Y 10 (ASTM).
10. Determinar el contenido de humedad del material compactado, al inicio y fin de la compactación (dos muestras). La determinación del contenido de humedad será de acuerdo con la norma AASHTO T 265.
11. Quitar el collar y usando un enrazado recorte el suelo compactado en la parte superior del molde.

12. Las irregularidades de la superficie deben ser rellenados con material más pequeño.
13. Quitar el disco espaciador, colocar un papel filtro en el plato base perforado e invierta el molde Sujete el plato base perforado al molde y coloque el collar.
14. Determine la masa del molde y el espécimen con una aproximación de 5 gr ó 0.01 lb.
15. Compacte las otras dos porciones de 6.8 kg ó 15 lb. Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, excepto por el número intermedio de golpes por capa que debe ser usado para compactar el segundo espécimen y el número más alto de golpes por capa que debe ser usado para compactar el tercer espécimen.

### **Remojo o saturación**

- Colocar sobre la superficie de la muestra en el molde la placa perforada con vástago y sobre ésta los pesos anulares suficientes para originar una sobrecarga equivalente a la originada por las capas de materiales que van sobre el material que se está probando.
- Colocar el trípode con el dial encima del molde y haga una lectura inicial.
- Sumerja al molde en agua.
- Durante el remojo, mantener el nivel de agua 1pulg sobre la parte superior del espécimen. Registre lecturas cada 24 horas por un periodo de 96 horas (4 días), se toman y se registran lecturas en el dial.
- Al final de las 96 horas, haga una lectura del dial final en los especímenes empapados.
- Calcule la hinchazón como un porcentaje de la longitud de la muestra inicial con la siguiente expresión:

$$\text{Aumento \%} = \frac{\text{Cambio de Longitud(mm) durante remojo}}{127} \times 100$$

### **Drenaje**

1. Después de saturada la muestra durante los 4 días, quitar los moldes cuidadosamente del tanque de remojo, vierta el agua retenida en la parte superior del mismo y se deja escurrir el molde durante 15 minutos.
2. Retire los pesos de la sobrecarga y plato.
3. Registre el peso del molde más suelo después de la saturación (96 horas o 4 días).

### **Prueba de Penetración**

1. Aplicar una sobrecarga de pesas anular y cortada, igual a las usadas durante el remojo.
2. Coloque el pistón de penetración, aplique una carga de 44N (10 lb).
3. Poner ambos diales el de penetración y el de carga en cero.
4. Aplique la carga sobre el pistón de penetración, con una velocidad de penetración uniforme de 0.05pulg/min. De acuerdo con la tabla siguiente.

### **Cálculos**

#### **Curva de deformación:**

Trazar la curva de deformaciones (resistencia a la penetración vs profundidad de penetración) para cada espécimen. Si las curvas son semejantes a la del ensayo N° 1 no necesitan correcciones. Si las curvas son semejantes a las correspondientes a los de la curva N°2 y N°3, deberán ser corregidas trazando tangentes en la forma como se indica las gráficas.

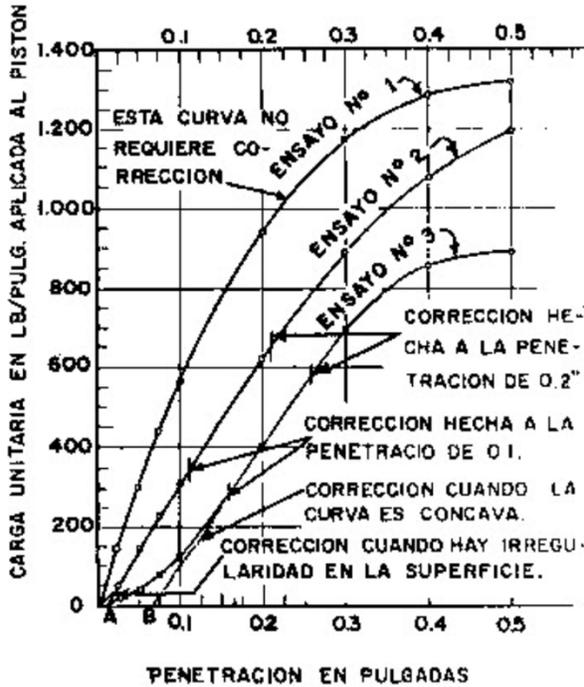


Figura 11 Curvas obtenidas en ensayos de CBR

### Relación de soporte de California (CBR)

Los valores de carga corregidos se determinan para cada espécimen a 0.10 pulgada y 0.20 pulgada de penetración. El CBR es obtenido en porcentaje, dividiendo los valores de carga corregidos a 0.10pulg y 0.20 pulgada para las cargas normales de (1000 psi y 1500 psi) respectivamente y multiplicando estas por 100.

$$\text{Carga } 0.1'' = \frac{\text{Presión de Penetración para } 0.1''}{\text{Carga Unitaria Patrón para } 0.1'' \text{ de Penetración}} \times 100$$

$$\text{Carga } 0.2'' = \frac{\text{Presión de Penetración para } 0.2''}{\text{Carga Unitaria Patrón para } 0.2'' \text{ de Penetración}} \times 100$$

El CBR es generalmente seleccionado a 0.10pulg de penetración. Si la relación a 0.20 pulg de penetración es mayor a la penetración de 0.1



pulg la prueba será realizada otra vez. Si la prueba de chequeo da un resultado similar a la relación 0.20 pulg de penetración se usará esta.

**Diseño CBR para un solo contenido de agua**  
Usando los datos obtenidos de los tres especímenes, trace la gráfica CBR vs Densidad Seca. El diseño de CBR puede determinarse al porcentaje deseado de la densidad seca máxima.

- **RESULTADOS**

Los resultados del Ensayo CBR de los materiales granulares, de la cantera Cañipia, se encuentran en el siguiente gráfico.



ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)														
( ASTM D 1883 / AASHTO T-190 /MTC E 132)														
PROYECTO: Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica cationica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)														
DISTRITO Coporaque														
PROVINCIA Espinar										FECHA: 24/08/2018				
DEPARTAMENTO Cusco														
DATOS DE LA MUESTRA														
Ubicación de Muestra: Cañipia														
COMPACTACION														
Molde N°	5					4					1			
Capas N°	5					5					5			
Golpes por capa N°	56					25					12			
Condición de la muestra	SATURADO		SATURADO		SATURADO		SATURADO		SATURADO		SATURADO			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13340,00				13250,00				12980,00					
Peso de molde (g)	8391,00				8518,00				8472,00					
Peso del suelo húmedo (g)	4949,00				4732,00				4508,00					
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117,00				2114,00				2127,00					
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2,338				2,238				2,119					
Tara (N°)	0				0				0					
Peso suelo húmedo + tara (g)	615,30				652,30				720,30					
Peso suelo seco + tara (g)	579,00				614,20				678,00					
Peso de tara (g)	0,00				0,00				0,00					
Peso de agua (g)	36,30				38,10				42,30					
Peso de suelo seco (g)	579,00				614,20				678,00					
Contenido de humedad (%)	6,27				6,20				6,24					
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,200				2,108				1,995					
EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm	%		mm	%		mm	%			
20/08/2018	13:23	0,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0			
21/08/2018	13:23	24,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0			
22/08/2018	13:23	48,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0			
23/08/2018	13:23	72,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0			
24/08/2018	13:23	96,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0			
PENETRACION														
PENETRACION mm	CARGA STAND. pulg. kg/cm2	MOLDE N° 5				MOLDE N° 4				MOLDE N° 1				
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0,000	0,000	0	0			0	0			0	0			
0,635	0,250	145	144,9			117	116,9			68	67,8			
1,270	0,500	420	420,5			250	250,1			150	149,9			
1,905	0,750	800	801,2			452	452,6			254	254,2			
<b>2,540</b>	<b>1,000</b>	<b>70,455</b>	1550	1552,7	1390,0	<b>97,7</b>	750	751,1	800,0	<b>56,2</b>	384	384,4	320,0	<b>22,5</b>
3,810	1,500	2015	2018,7			1100	1101,8			538	538,7			
<b>5,080</b>	<b>2,000</b>	<b>105,680</b>	2503	2507,7	2550,0	<b>119,5</b>	1520	1522,7	1480,0	<b>69,4</b>	752	753,2	740,0	<b>34,7</b>
6,350	2,500	3201	3207,0			1895	1898,4			954	955,6			
7,620	3,000	3584	3590,8			2200	2204,0			1200	1202,0			
10,160	4,000	3958	3965,6			2510	2514,7			1500	1502,6			

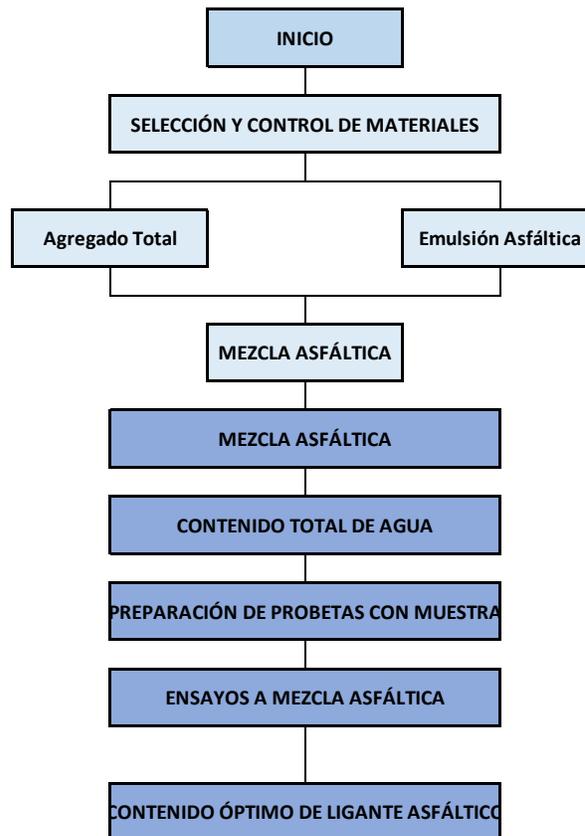
ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)															
( ASTM D 1883 / AASHTO T-190 /MTC E 132)															
<b>PROYECTO:</b> Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)															
<b>DISTRITO:</b> Coporaque		<b>FECHA:</b> 24/08/2018													
<b>PROVINCIA:</b> Espinar															
<b>DEPARTAMENTO:</b> Cusco															
DATOS DE LA MUESTRA															
<b>Ubicación de Muestra:</b> Cañipia															
<b>METODO DE COMPACTACION</b> : AASHTO T-180															
<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>)</b> : 2,217															
<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b> : 6,20															
<b>95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>)</b> : 2,106															
<b>90% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>)</b> : 1,995															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>C.B.R. al 100% de M.D.S. (0.1":</td> <td style="text-align: center;">98</td> <td style="text-align: center;">0.2":</td> <td style="text-align: center;">120</td> </tr> <tr> <td>C.B.R. al 95% de M.D.S. (0.1":</td> <td style="text-align: center;">56</td> <td style="text-align: center;">0.2":</td> <td style="text-align: center;">69</td> </tr> <tr> <td>C.B.R. al 90% de M.D.S. (0.1":</td> <td style="text-align: center;">23</td> <td style="text-align: center;">0.2":</td> <td style="text-align: center;">35</td> </tr> </table>				C.B.R. al 100% de M.D.S. (0.1":	98	0.2":	120	C.B.R. al 95% de M.D.S. (0.1":	56	0.2":	69	C.B.R. al 90% de M.D.S. (0.1":	23	0.2":	35
C.B.R. al 100% de M.D.S. (0.1":	98	0.2":	120												
C.B.R. al 95% de M.D.S. (0.1":	56	0.2":	69												
C.B.R. al 90% de M.D.S. (0.1":	23	0.2":	35												
<b>RESULTADOS:</b> Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = <b>98%</b> Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = <b>56%</b> Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. = <b>23%</b>															
<b>OBSERVACIONES:</b> _____ _____ _____															
<b>EC = 56 GOLPES</b>															
<b>EC = 25 GOLPES</b>															
<b>EC = 12 GOLPES</b>															

### **3.6. Diseño de mezcla MARSHALL MODIFICADO**

Este ensayo, tiene como objetivo determinar la combinación más efectiva de materiales que conformarán las capas asfálticas. Generalmente, el diseño adecuado es el más económico y el que cumple satisfactoriamente los criterios establecidos al inicio del proyecto. El método de diseño comúnmente usada hasta la actualidad, es el Marshall Modificado, basado en el método Marshall para diseño de mezclas en caliente el cual es modificado para adecuarse al diseño de mezclas preparadas a temperatura ambiente. Que tiene como principal propósito la de proveer la cantidad adecuada de ligante asfáltico que establezca el material granular con el fin de dar la resistencia o estabilidad requerida para soportar las aplicaciones de carga sin una deformación permanente excesiva o los efectos por cambios bruscos de temperatura. El diseño analiza la relación estabilidad-flujo en muestras compactadas y la relación densidad-análisis de vacíos.

#### **3.6.1. Metodología de diseño**

La metodología Marshall Modificado para mezclas en frío lo desarrollamos gráficamente en la siguiente figura que indica el flujo de procesos, inicia con la evaluación y caracterización de los materiales mediante ensayos de laboratorio, llegando al cálculo del contenido tentativo de ligante asfáltico requerido, estableciendo la humedad para compactación, continua con el ensayo de probetas que contienen un contenido de asfalto variado y concluye con la selección del contenido óptimo de ligante asfáltico que satisface de la mejor manera todos los criterios de diseño.



*Figura 12 Flujo para diseño de mezclas*

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.6.2. Selección y control de calidad de materiales

Los agregados para mezclas asfálticas se emplean en combinación con el asfalto, y constituyen el 90% en peso de dichas mezclas, siendo sus propiedades de gran influencia sobre el producto terminado. Los agregados más utilizados son la piedra, grava chancada o natural, arena chancada y arena natural.

Para la selección del ligante se toma en cuenta la compatibilidad con la naturaleza y la granulometría de los agregados, con el cual debe tener buena adherencia y una consistencia acorde a las condiciones de clima de la zona de trabajo. Así mismo, en las mezclas en frío toma mucha importancia el contenido de agua que se utilizará para el diseño. Un alto contenido de agua favorece el mezclado, pero perjudica las propiedades

físico-mecánicas de la mezcla, afectando negativamente a la densidad final, los mismo que se deben cuidar al momento del diseño.

### 3.6.3. Contenido de ligante asfáltico

La cantidad o el contenido de asfalto residual tentativo se determina en función a los resultados del análisis granulométrico del agregado o de la mezcla de agregados y de la capacidad de absorción de estos de los mismos, cuando fueron ensayados en el laboratorio. De los mismos existen varios métodos para determinar el contenido óptimo de emulsión, siendo el método del Instituto del Asfalto (IA) el más usado.

- a) Método del Instituto del Asfalto (USA): Por este método se busca determinar un porcentaje de asfalto residual, es por el peso de la mezcla, iniciando con la aplicación de una formula empírica basada en las características granulométricas del agregado:

$$P = (0.05 \times A + 0.1 \times B + 0.5 \times C) \times 0.7$$

Donde

P = Porcentaje por peso de emulsión asfáltica, basado en el peso de agregado seco.

A = Porcentaje de agregado retenido en la malla n° 8

B = Porcentaje de agregado que pasa la malla n° 8 y es retenido en la malla n° 200

C = Porcentaje de agregado que pasa la malla n° 200

Con este valor calculado, se obtiene el "Contenido Estimado de Asfalto residual" (CA) con la expresión:

$$CA = \frac{P \times CARE}{100}$$

Donde:

CARE = Contenido de asfalto residual en la emulsión (%)

CA = Contenido de asfalto residual total por peso de mezcla (%)

El CA es un punto de partida para la aplicación del método de diseño, con el cual se calcula el porcentaje de contenido tentativo de ligante asfáltico en torno al cual se van haciendo variaciones que pueden ser cada 0.5% o 1% (+- 0.5% o +-1.0%) y así, dentro de ese rango, se podrá encontrar el contenido óptimo de emulsión.

#### 3.6.4. Contenido total de agua en la mezcla

El contenido total de agua en la mezcla comprende la suma de los contenidos de agua en la emulsión, humedad natural y agua de premezcla. El contenido de humedad natural, calculado del material mezclado, es la relación que existe entre el peso de agua de una muestra del material y el peso sólido del mismo. El contenido de agua de premezcla funciona como el medio para que la emulsión pueda recubrir el agregado y puede ser visualizada mediante un ensayo de recubrimiento.

También se calcula el contenido de agua para la compactación. Es necesario optimizar el contenido óptimo de agua en la compactación para maximizar las propiedades de la mezcla deseada, debido a que este contenido de agua define las propiedades de densificación de las muestras compactadas. El cálculo se determina mediante una curva de valores de Estabilidad vs Contenido de Agua de compactación obtenidos al ensayar unas muestras preparadas con cada contenido de agua de compactación a ser evaluado, donde el valor óptimo es determinado como el punto más alto de la curva.

#### 3.6.5. Preparación de la muestra

Teniendo como base el contenido de asfalto teórico calculado, se prepara varias porciones idénticas de muestras con diferentes contenidos de asfalto. Emplea las mismas probetas, martillo y equipo utilizados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con el método Marshall,

preparando tres probetas por cada contenido de emulsión a ensayar. La temperatura de mezclado, compactación y ensayo utilizada normalmente es de 25 °C, sin embargo, esta temperatura puede adecuarse a las temperaturas probables de encontrar en los lugares donde se empleará la mezcla. Dependen mucho de la altitud, así como lo definen los usos granulométricos.

### 3.6.6. Ensayo y análisis de diseño final

Luego del proceso del curado, las probetas son sometidas a varios ensayos para evaluar sus propiedades de ingeniería. Para determinar el contenido óptimo de asfalto residual, los resultados de los ensayos son graficados con respecto al contenido de asfalto residual de cada mezcla. El contenido de asfalto residual que permite lograr las propiedades deseadas es considerado como el contenido óptimo de asfalto. Los ensayos a los que debe ser sometido las probetas se desarrollan en el siguiente cuadro.

Tabla 13 Ensayos requeridos para Marshall

Ensayo	Descripción	Normativa
Densidad Bulk	Relación entre el peso de una probeta en el aire y su volumen incluyendo vacíos permeables. Útil para cálculo de % de vacíos de aire.	ASTM D2726
Estabilidad modificada (en modo seco y saturado)	Determina la resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica, mediante el aparato Marshall, reflejando que tan estable es la mezcla.	ASTM D-1559
Pérdida de Estabilidad	Determina la pérdida de cohesión de la mezcla acción del agua.	ASTM D-1559
Flujo o Fluencia	Determina la deformación de la mezcla por efectos de esfuerzos de compresión diametral y es medido mediante un dial de deformación vertical.	ASTM D-1559
Humedad absorbida	Determina el peso específico aparente y la cantidad de agua que la mezcla puede absorber.	ASTM D-1559
Análisis de densidad y vacíos	Determina la cantidad de bolsas de aire que se encuentra entre las partículas de agregado cubiertas con asfalto, luego de compactada la mezcla.	ASTM D-3203

### 3.6.7. Determinación del contenido óptimo de asfalto

El contenido óptimo de asfalto residual es elegido el valor que proporciona la estabilidad húmeda máxima, siendo ajustado ese valor dependiendo de

la humedad absorbida, % pérdida de estabilidad, los vacíos totales, y el recubrimiento de los agregados. Los valores obtenidos, deben cumplir con los requisitos mínimos de estabilidad. Si uno o más criterios no se cumplen, la mezcla es considerada inadecuada y por defecto se aplica su nulidad. De no haber ningún pico en la gráfica de contenido de asfalto residual vs la Estabilidad húmeda u otras propiedades desarrolladas, el contenido óptimo de emulsión se establece sobre la base de las mejores combinaciones de propiedades tales como la estabilidad Marshall, el porcentaje de pérdida de estabilidad y la densidad seca, con especial atención a los efectos del agua sobre las propiedades de las muestras. Ya que es el agua un agente destructivo posterior a la construcción.

- La elección del valor óptimo se basa en los siguientes criterios:
  - ✓ La mezcla debe proporcionar una estabilidad adecuada en una condición "húmeda" para proporcionar una resistencia adecuada a la carga de tráfico durante las estaciones húmedas.
  - ✓ El porcentaje de pérdida de estabilidad de la mezcla en condición "húmeda" no debe ser excesiva. Una gran pérdida es indicadora que la mezcla tiene una gran susceptibilidad a la humedad y puede causar desintegración durante las estaciones húmedas.
  - ✓ El asfalto residual debe proporcionar un adecuado recubrimiento del agregado y debe ser resistente a la abrasión.
  - ✓ El total de vacíos debe estar dentro de un rango aceptable para prevenir la deformación permanente excesiva y la absorción de humedad (para contenidos de vacíos muy alto), o exudación del asfalto residual de la mezcla (para un contenido de vacíos bajo).
  - ✓ La absorción de humedad en la mezcla no debe ser excesivo para minimizar el potencial de debilitamiento de la unión entre el asfalto residual y el agregado.

---

## **IV. DISCUSIÓN.**

Este capítulo presenta la discusión de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, realizados a los materiales provenientes de la canteras Cañipia, ensayos que usan como guía al Manuales de carreteras del Ministerio de Transporte y comunicaciones; así mismo se utilizan como patrón guía a las normas internacionales comúnmente aceptadas en nuestro medio como las normas ASTM y AASHTO , donde se establecen las especificaciones que deben cumplir los materiales granulares para su uso en bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

El presente trabajo, muestra los resultados basados en las propiedades físico - químicas de las bases estabilizada con emulsión según procedimientos propuestos por el Instituto del Asfalto y para el análisis de los datos se utilizaron procedimientos comunes como son la comparación de diferentes propiedades de la mezcla compactada contra el contenido de Emulsión Asfáltica.

Se determina la densidad Bulk de la mezcla compactada para las probetas como propiedad volumétrica importante de las briquetas elaboradas con la metodología Marshall Modificada para su uso en Mezclas Frías.

Con las propiedades de las mezclas compactadas y el parámetro volumétrico de la mezcla asfáltica, se determina el contenido óptimo de emulsión asfáltica, que será el mínimo para cumplir con las condiciones requeridas.

### **4.1. Análisis granulométrico**

Se realizaron pruebas granulométricas a las diferentes muestras de Material granular, extraídas de las canteras en estudio utilizando la norma ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 - 20001, Comprobado el cumplimiento de normas se procede a la catalogación de este material para su uso como base estabilizada con emulsión.

Al analizar los resultados del análisis granulométrico se puede observar claramente que estamos trabajando con partículas pasantes del tamiz de 1 1/2” pulgadas hasta pasante del tamiz N° 200.

EL análisis granulométrico realizado a los materiales granulares de la Cantera Cañipia, presentan una granulometría continua, bien graduada y según los requerimientos de una de las franjas granulométricas (Gradación A)

Para la utilización del método propuesto por el Instituto Americano del Asfalto para la estabilización de este tipo de material también se cumplió con la granulometría propuesta para estos materiales. Los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 14 Granulometría cantera Cañipia

GRANULOMETRÍA BASE GRANULAR						Especi. Inst.
Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso Retenido	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Asfalto Gradación "A"
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100				100	100
1"	25.400	1452.00	6.2	6.2	93.8	
3/4"	19.050	3355.00	14.3	20.4	79.6	
1/2"	12.700	4102.00	17.4	37.9	62.1	30 - 65
3/8"	9.525	1706.00	7.3	45.1	54.9	
1/4"	63.500	1843.00	8.6	53.8	46.2	
Nº 4	4.760	601.00	2.6	56.3	43.7	25 - 55
8	2.360	124.70	7.1	63.4	36.6	
10	2.000	40.40	2.3	65.7	34.3	15 - 40
16	1.180	125.00	7.1	72.8	27.2	
30	0.600	124.00	7.1	79.9	20.1	
40	0.420	80.00	4.6	84.5	15.5	8 - 20
50	0.300	50.00	2.8	87.3	12.7	
100	0.150	55.00	3.1	90.4	9.6	
200	0.074	22.30	0.6	91.0	9.0	2 - 8
Pasa		159.90	9.0	100.0	0.0	

Por ser este un diseño para una base granular, la granulometría debe ser evaluada de acuerdo con las especificaciones indicadas en el Manual de Carreteras del MTC (EG-2013). Según sus indicaciones, la composición final del material debe presentar una granulometría continua, bien graduada y evaluarse según los usos granulométricos correspondientes a una Granulometría del tipo A, indicados en la tabla anterior el uso de la gradación

mencionada es seleccionada para trabajos en zonas con altitudes mayores a 3,000 msnm.

- La granulometría de la muestra de la carretera Yauri desvío Livitaca, presenta una notable diferencia en el porcentaje de agregado grueso para el tamiz N° 200", por tal motivo debe realizarse una corrección en la granulometría con la adición de agregado fino nuevo, el cual debe contar con características mineralógicas similares al material de base existente, esto con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de ellos.
- El agregado nuevo que se utiliza proviene de la cantera Cañipia, cantera que puede ser utilizada debido a su cercanía al tramo en estudios, estando ubicada a la altura del Km 43+600 de la carretera Yauri – Dv Livitaca.

Tabla 15 Granulometría Base granular + cantera Cañipia

GRANULOMETRÍA BASE GRANULAR + CANTERA CAÑIPIA							Especi. Inst.
Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso Retenido	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa		Asfalto Gradación "A"
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100				100		100
1"	25.400	374.00	1.5	1.5	98.5		
3/4"	19.050	4237.00	17.3	18.8	81.2		
1/2"	12.700	4868.00	19.8	38.6	61.4		30 - 65
3/8"	9.525	1915.00	7.8	46.5	53.5		
1/4"	63.500	2428.00	9.9	56.4	43.6		
Nº 4	4.760	962.00	3.9	60.3	39.7		25 - 55
8	2.360	124.70	6.3	66.6	33.4		
10	2.000	40.40	2.1	68.7	31.3		15 - 40
16	1.180	143.60	7.3	76.0	24.0		
30	0.600	191.00	9.7	85.7	14.3		
40	0.420	83.30	4.2	89.9	10.1		8 - 20
50	0.300	52.10	2.6	92.5	7.5		
100	0.150	59.20	3.0	95.5	4.5		
200	0.074	22.30	1.1	96.6	3.4		2 - 8
Pasa		64.70	3.4	100.0	0.0		

Con el agregado final determinado, inicia la selección de la emulsión asfáltica. Debe cumplirse dos criterios básicos para su selección, siendo el primero y de mayor importancia la compatibilidad de la emulsión con la naturaleza del agregado, y luego la elección de la velocidad en la rotura de la emulsión para lograr un reparto homogéneo del asfalto sobre la masa de materiales. La emulsión catiónica de rotura lenta CSS-1h, seleccionada para la investigación, cumple con los criterios establecidos ya que las emulsiones del tipo catiónicas tienen una gran versatilidad para ser empleado con muchos tipos de materiales pétreos, sumándole que al ser de rotura lenta otorga el tiempo apropiado para la mezcla de materiales antes de la rotura.

Tabla 16 Requerimientos mínimos para ensayos de Emulsión

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIÓN	
			Mín.	Máx.
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL A 25°C (SFS)	ASTM D 244	27	20	100
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24h, %	ASTM D 244	1	–	1
MEZCLA CON CEMENTO, %	ASTM D 244	0.1	–	2
DESTILACIÓN CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL, %	ASTM D 244	60.74	57	–
PRUEBA DEL TAMIZ N°20, %	ASTM D 244	0.01	–	0.1
CARGA DE PARTICULA	ASTM D 244	POSITIVO	POSITIVO	
<b>ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO ASFALTICO</b>				
PENETRACIÓN, a 25°C, 100g, 0.1 mm	ASTM D5-06E1	61.0	40	90
DUCTILIDAD, a 25°C, 5 cm/min, cm	ASTM D 113-99	> 100	40	–
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, %Masa	ASTM D 2042-01	99.9	97.5	–

Fuente: Instituto de asfalto

## 4.2. Cálculo del contenido teórico de asfalto

El contenido de emulsión normalmente varía en relación a la cantidad de agregado nuevo adicional y si se llega a considerar el material existente de base granular, no debería de afectar al momento de agregar otra materia de similar característica.

El contenido inicial de asfalto residual, denominado CA, es el punto de partida para poder aplicar el método de diseño de mezcla y en torno a este valor, se realizan variaciones de 0.5% ó 1%(CA +/- 0.5% o CA +/-1.0%), estableciendo un rango de valores donde poder encontrar el contenido óptimo.

Según el manual MS-14 del Instituto del Asfalto, para el cálculo del contenido teórico de emulsión se emplea la siguiente expresión:

$$P = (0.05 \times A + 0.1 \times B + 0.5 \times C) \times 0.7$$

Donde

P = Porcentaje por peso de emulsión asfáltica, basado en el peso de agregado seco.

A = Porcentaje de agregado retenido en la malla n° 8

B = Porcentaje de agregado que pasa la malla n° 8 y es retenido en la malla n° 200

C = Porcentaje de agregado que pasa la malla n° 200

Empleando los resultados de la granulometría obtenida para la mezcla final y reemplazando los valores en la expresión se obtiene:

$$A=67, B=33, C=0$$

$$P = (0.05 \times 67 + 0.1 \times 33 + 0.5 \times 0) \times 0.7$$

$$P = 4.7\%$$

Para el cálculo del contenido de asfalto residual, esta será la ecuación para utilizar:

$$CA = \frac{P \times CARE}{100}$$

Donde:

CARE = Contenido de asfalto residual (%)

CA = Contenido de asfalto residual total por peso de mezcla (%)

$$CA = 4.7 \times 60.74 / 100$$

$$CA = 2.9 \%$$

De acuerdo con las variaciones que se realizan se establece un rango de valores para la aplicación del método:

$$CA - 0.5\% < CA < CA + 0.5\%$$

$$2.4\% < 2.9\% < 3.4\%$$

Debido a que inicialmente el agregado no cuenta con ningún ligante asfáltico, se hace necesario considerar el intervalo desde un contenido de asfalto bajo, por lo cual, el rango de valores puede considerarse a partir de 1% como contenido de asfalto residual. Los valores de CA iguales a 1 %, 2 % y 3 % fueron considerados como los valores de diseño para la elaboración de probetas de ensayo.

#### 4.3. Cálculo del contenido total de agua en la mezcla

El contenido inicial de agua proviene de la emulsión, la cual aporta un valor igual a 1.1% según los parámetros de diseño, y del contenido de humedad natural que aporta el agregado, obtenido mediante ensayo y dando un resultado igual a 1.0%. Al sumar estas cantidades, se tiene un total de 2.1% de

contenido de agua como aporte de los componentes a la mezcla, con lo cual faltaría adicionar el contenido de agua de premezcla.

Al realizar el ensayo de recubrimiento de la emulsión sobre el agregado, se verifica si la emulsión logra un recubrimiento adecuado del agregado antes de la rotura y se obtiene el contenido de agua de premezcla. Variando los contenidos de asfalto residual tentativo de acuerdo con lo establecido, se consideran valores alternativos de agua para la premezcla hasta obtener la cantidad que proporcione un recubrimiento adecuado del material, siendo los valores resultantes mostrados en la tabla.

Tabla 17 Contenido de agua premezcla

<b>Contenido de agua de premezcla</b>			
Asfalto residual en la mezcla (%)	1.0	2.0	3.0
Agua de premezcla (%)	1.5	2.2	2.8

Respecto al recubrimiento, la mezcla logra un recubrimiento del 90%, valor que supera al indicado en el manual MS-14 con un 50% como valor mínimo.

El resultado del contenido de agua total para cada contenido de asfalto residual, obtenido de la suma de los valores mencionados anteriormente, se observa en el cuadro.

Tabla 18 Contenido total de agua en mezcla

<b>Contenido de agua total en la mezcla</b>			
Asfalto residual en la mezcla (%)	1.0	2.0	3.0
Agua de premezcla (%)	3.6	4.3	4.9

#### 4.4. Cálculo y resultados de ensayos en probetas de diseño

Propiedades como la Densidad Específica Bulk y el Contenido de Humedad son calculadas al inicio del proceso. Para el cálculo de la Densidad Bulk (G) se toman datos de cada probeta, elaborada con un

determinado contenido de asfalto residual, y emplea la siguiente expresión:

$$G = \frac{D}{F - E}$$

Donde:

D = peso de la probeta seca en el aire (gr)

E = peso de la probeta en el agua (gr)

F = peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca (SSD) (gr).

Tabla 19 Resultado de densidad de Bulk

<b>Resultados densidad Bulk</b>					
Cont. de asfalto		Peso de briqueta al aire (D)	Peso de briqueta en agua (E)	Peso de briqueta SSD (F)	Densidad Bulk Gr/Cm3 (G)
1%	M1	1,196.5	679.0	1,199.8	2,301
	M2	1,101.2	600.0	1,150.6	2,000
2%	M1	1,199.8	682.1	1,204.5	2,301
	M2	1,108.1	604.0	1,157.0	2,004
	M3				
3%	M1	1201.9	683.9	1,205.7	2,307.0
	M2	1,127.3	606.0	1,1175.5	1,979.0

Para el cálculo del contenido de humedad (K), la expresión matemática empleada es la siguiente:

$$K (\%) = \frac{(H - I) - (F - G)}{I} \times (100 + A)$$

Donde:

A = % Contenido de asfalto residual en la probeta

H = Peso de la muestra húmeda, gr. (De ensayo de contenido de humedad)

I = Peso de la muestra seca, gr. (Del ensayo de contenido de humedad)

D = Peso de la briqueta seca al aire. (Del ensayo de densidad Bulk)

F = Peso de briqueta saturada superficialmente seca. (Del ensayo de densidad Bulk)

Los valores para el contenido de humedad de cada muestra, en estado seco o saturado, son indicados en la tabla n° 17

Tabla 20 Contenido de humedad

Resultados de contenido de Humedad							
Contenido de Asfalto (A)			Peso muestra húmeda en Gr. (H)	Peso muestra seca en Gr. (I)	Peso de briqueta SSD en Gr. (F)	Peso briqueta en aire en Gr. (D)	Contenido de humedad % (K)
1%	Seco	M1	1142.3	11260	1,199.8	1,196.5	1.1
		M2	1150.6	1092	1,150.6	1,101.2	0.8
	Saturado	M3	1178.1	2133	0.0	0.0	8.0
		M4	1177.1	1177.7	0.0	0.0	7.8
2%	Seco	M1	1169.3	11520	1,204.0	1,199.8	0.7
		M2	1157.0	1098.7	1,157.0	1,108.1	0.9
	Saturado	M3	1161.9	2256	0.0	0.0	5.0
		M4	1162.3	1162.3	0.0	0.0	5.1
3%	Seco	M1	1169.2	11750	1,205.7	1,201.9	0.8
		M2	1175.5	1175.5	1,175.5	1,127.3	0.8
	Saturado	M3	1162.7	2365	0.0	0.0	4.9
		M4	1159.1	1159.1	0.0	0.0	4.9

Existe cierto contenido de humedad que termina siendo absorbida al pasar del estado seco al estado saturado. Este valor es conocido como Humedad absorbida y utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Humedad – Absorbida (\%)} = \frac{K_1 + K_2}{2} - \frac{K_3 + K_4}{2}$$

Donde:

$K_n$  = Valor del contenido de humedad de la muestra "n" para un determinado contenido de asfalto, expresado en porcentaje.

Tabla 21 Porcentaje de humedad absorbida

<b>Resultado % Humedad Absorbida</b>					
Contenido de emulsión	Seco		Saturado		% Humedad adsorbida
	K1	K2	K3	K4	
1%	1.1.	0.8	0.8	7.8	-0.7
2%	0.7	0.9	5.0	5.1	- 4.3
3%	0.8	0.8	4.9	4.6	- 4.0

Definido los valores de la densidad Bulk y el contenido de humedad de las muestras en estado seco, se logra obtener los resultados de la Densidad seca Bulk, abreviado como Gd, mostrados en el cuadro 4.14 y calculados con la expresión:

$$Gd = G \times \frac{(100 + A)}{(100 + A + K)}$$

Donde:

G = Densidad Bulk

A = Contenido de asfalto residual en la probeta (%)

K = Contenido de humedad de la muestra (%)

Tabla 22 Resultado Densidad seca Bulk

<b>Resultado de Densidad Seca Bulk</b>				
Contenido de Emulsión (A)		Contenido de humedad % (K)	Densidad Bulk Gr/Cm3 (G)	Densidad seca Bulk Gr/Cm3 (Gd)
1%	M1	1.1	2,301	1.973
	M2	0.8	2,000	1.985
2%	M1	0.7	2,301	1.979
	M2	0.9	2,004	1.987
3%	M1	0.8	2,307.0	1.982
	M2	0.8	1,979.0	1.964

Haciendo uso de la información obtenida, respecto al Contenido de Humedad y la Densidad Bulk, el proceso continúa con un análisis de vacíos de las muestras, siendo tres los tipos de valores considerados para el análisis: la cantidad máxima de vacíos, los vacíos de aire y los vacíos en el agregado mineral.

Empleando la siguiente expresión se obtiene el Máximo total de vacíos (V), cuyo valor es expresado en porcentaje:

$$V(\%) = \left\{ \left( \frac{100 + A + K}{G} - \frac{100}{C} - \frac{A}{B} \right) \div \left( \frac{100 + A + K}{G} \right) \right\} \times 100$$

Donde:

A = Contenido de asfalto residual en la probeta (%)

B = gravedad específica del asfalto.

C = gravedad específica aparente del agregado

G = Densidad Bulk

K = Contenido de humedad (%)

Los valores obtenidos como el Máximo total de vacíos (%) se encuentran en la tabla n° 20.

Tabla 23 Resultado Máximo total de vacíos

<b>Resultados del Máximo total de vacíos</b>						
Contenido de emulsión % (A)		Gravedad específica del asfalto (B)	Gravedad específica aparente del agregado (C)	Densidad de Bulk (G)	Contenido de Humedad (K)	Máximo Total de vacíos % (V)
1%	M1	1.01	2.581	1,994	1.1	<b>22.4</b>
	M2			2,000	0.8	<b>21.9</b>
2%	M1	1.01	2.581	1,992	0.7	<b>20.9</b>
	M2			2,004	0.9	<b>20.6</b>
3%	M1	1.01	2.581	1,998	0.8	<b>19.7</b>
	M2			1,979	0.8	<b>20.4</b>

Luego de haber obtenido el valor del máximo total de vacíos, puede calcularse el contenido de vacíos de aire haciendo uso de la siguiente expresión:

$$Vacios - aire(\%) = \left\{ \left( \frac{K \times 100}{L} \right) \div \left( \frac{100 + A + K}{G} \right) \right\}$$

Donde:

V= máximo total de vacíos (%)

K =Contenido de humedad (%)

L =gravedad específica del agua (gr/cm<sup>3</sup>)

A =Contenido de asfalto residual en la probeta (%)

G =Densidad Bulk (gr/cm<sup>3</sup>)

Tabla 24 Porcentaje de vacíos en agregado

<b>Resultados de % Contenido de vacíos en agregado</b>					
Contenido de emulsión % (A)		Gravedad específica aparente del agregado (C)	Densidad Bulk (G)	Contenido de Humedad (K)	V.M.A. %
1%	M1	2.581	1.994	1.1	24.3
	M2		2.000	0.8	23.8
2%	M1	2.581	1.992	0.7	24.8
	M2		2.004	0.9	24.5
3%	M1	2.581	1.998	0.8	25.4
	M2		1.979	0.8	26.1

Otro dato importante en el resultado final es la información de la Estabilidad y Flujo de la mezcla al ser sometida a un determinado esfuerzo, ya sea en estado seco o saturado. Por medio de ensayos realizados con el equipo Marshall, se obtienen los resultados presentados en el siguiente cuadro.

Tabla 25 Resultados de Estabilidad y Flujo

<b>Resultados de estabilidad y flujo</b>				
<b>Contenido de Emulsión</b>			<b>Flujo, mm</b>	<b>Estabilidad Kg-f</b>
1%	Seco	M1	4.95	829.9
		M2	3.8	853
	Saturado	M3	2.5	641
		M4	3.0	676
2%	Seco	M1	4.83	805.0
		M2	3.8	740
	Saturado	M3	3.3	762
		M4	3.0	654
3%	Seco	M1	4.83	801.9
		M2	5.1	697
	Saturado	M3	3.3	654
		M4	3.8	554

El valor de la estabilidad es sometido a una corrección mediante un factor, indicado en la tabla n° 22. el cual varía de acuerdo con el volumen de la muestra.

Tabla 26 Factor de corrección

<b>Factor de corrección</b>			
Volumen la muestra cm <sup>3</sup>	Espesor aproximado de la muestra		Factor de corrección
	mm.	In	
457 - 470	57.2	2 1/4	1.19
471 - 482	58.7	2 5/16	1.14
483 - 495	60.9	2 3/8	1.09
496 - 508	61.9	2 7/16	1.04
509 - 522	63.5	2 1/2	1.00
523 - 535	64.0	2 9/16	0.96
536 - 546	65.1	2 5/8	0.93
547 - 559	66.7	2 11/16	0.89

560 - 573	68.3	2 ¾	0.86
-----------	------	-----	------

Fuente: Manual MS-14 del IA

Con el empleo de los factores mostrados en la tabla anterior, se realiza la corrección del valor de la estabilidad y los resultados son presentados en la tabla n°24.

Tabla 27 Resultados de estabilidad corregida

Resultados de estabilidad corregida						
Contenido de Emulsión (A)			Estabilidad Kg-f	Volumen de briqueta Cm3	Factor de corrección	Estabilidad corregida Kg-f (S)
1%	Seco	M1	830	520.8	1.00	830
		M2	853	556.6	0.89	759
	Saturado	M3	641	556.0	0.89	570
		M4	676	550.4	0.89	602
2%	Seco	M1	805.0	522.4	1.00	805
		M2	740	553.0	0.89	659
	Saturado	M3	762	561.9	0.86	655
		M4	654	547.7	0.89	582
3%	Seco	M1	802	521.8	1.00	802
		M2	697	569.5	0.86	599
	Saturado	M3	654	561.6	0.86	562
		M4	554	559.6	0.89	493

La estabilidad muestra una disminución en su valor al pasar del estado seco al saturado. Esta disminución es conocida como pérdida de estabilidad cuyo valor es indicado en porcentaje y se calcula con la expresión:

$$\% \text{pérdida} - \text{estabilidad} = \frac{\frac{S_1 + S_2}{2} - \frac{S_3 - S_4}{2}}{\frac{S_1 + S_2}{2}} \times 100$$

Donde:

$S_n$  = Valor de la Estabilidad en la muestra "n" para un determinado contenido de asfalto, expresado en porcentaje.

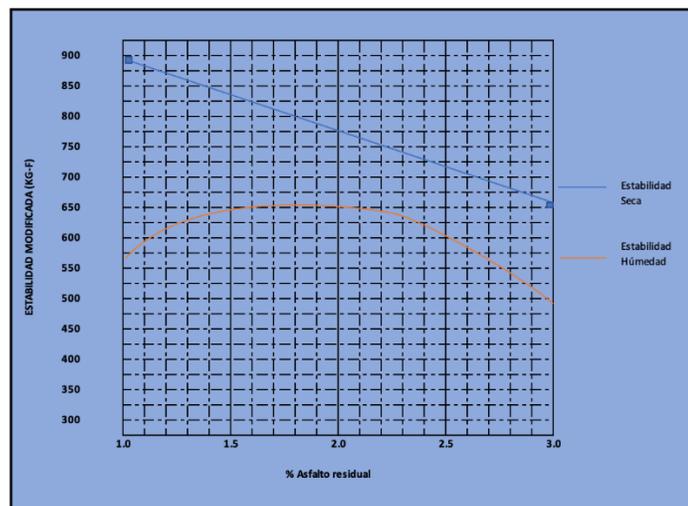
Los resultados mostrados en la tabla n°25 pertenecen a la pérdida de estabilidad por cada contenido de emulsión.

*Tabla 28 Resultado de perdida de estabilidad*

<b>Resultados de la perdida de estabilidad</b>					
Contenido de emulsión	Seco		Saturado		% Perdida de estabilidad
	S1	S2	S3	S4	
1%	830	759	570	602	24.0
2%	805	659	655	582	3.1
3%	802	599	562	493	2.9

#### 4.5. Análisis de propiedades en la mezcla asfáltica

Los valores obtenidos en los ensayos, realizados para determinar propiedades de la mezcla, son representados y analizados gráficamente. y como punto de partida para el análisis, se evalúa un primer gráfico donde son representados los valores de Estabilidad modificada en estado seco y húmeda vs. el contenido de asfalto residual, dando origen a la Figura 4.4



*Figura 13 Estabilidad húmeda y seca vs Contenido de asfalto*

## Estabilidad Húmeda y seca vs Contenido de asfalto

El valor buscado de estabilidad para la mezcla asfáltica es aquel que proporciona la mayor estabilidad en condición húmeda, por ser el caso más desfavorable entre los dos estados, sin descuidar otro factor importante como la pérdida de estabilidad.

Analizando el gráfico y comparando los resultados obtenidos de la Estabilidad húmeda contra la Estabilidad seca, la estabilidad llega a presentar un valor máximo en el rango establecido para el contenido de asfalto residual, lo cual comprueba que no es necesario aumentar el rango más allá del 3% de contenido, además se observa una menor pérdida de estabilidad para los valores comprendidos en el rango de 1.5% a 2.5%.

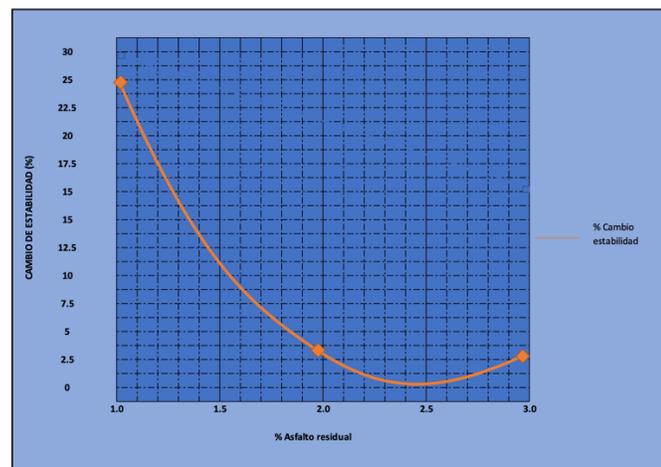


Figura 14 Pérdida de estabilidad vs Asfalto

Considerando el rango de resultados donde se encuentra el valor máximo de la Estabilidad húmeda, el intervalo de contenido óptimo se reduce a los que están comprendidos entre 1.6% y 2.0 % de contenido de asfalto, teniendo su punto más alto para un contenido de asfalto residual de 1.8%. Dicho valor viene a ser, según gráfico, el valor óptimo para obtener la estabilidad húmeda máxima.

En base a estas cantidades es desarrollado la tabla siguiente con los resultados numéricos del análisis.

Tabla 29 Resultados Estabilidad vs Asfalto residual

<b>Resultados Estabilidad vs Asfalto residual</b>			
% Asfalto Residual	Estabilidad húmeda (Kg-f)	Estabilidad seca (Kg-f)	% Perdida de Estabilidad
1.6	621.3	688.9	9.1
1.8	622.8	664.8	5.9
2.0	619.5	641.8	3.4

#### 4.6. Cálculo del contenido óptimo de asfalto

El contenido óptimo de asfalto residual es elegido como el que proporciona la estabilidad húmeda máxima, pero se ajusta su valor dependiendo del cumplimiento de las especificaciones de mezcla respecto a la humedad absorbida, pérdida de estabilidad (%), vacíos totales y el recubrimiento del agregado, inspeccionado de manera visual. Este valor debe cumplir primero con el requisito mínimo de estabilidad, de lo contrario la mezcla se rechaza. De los resultados obtenidos, se determinó que el valor de 1.8% era el valor máximo de estabilidad húmeda, por lo tanto, es considerado como el contenido óptimo de asfalto residual en la mezcla(%) y, para poder determinar su cumplimiento junto a otros parámetros, se evaluó el comportamiento que presentaría la mezcla con ayuda de las gráficas al usar los valores de 1.6%, 1.8% y 2.0%, presentando en el Tabla n° 27 un resumen de los resultados para cada propiedad.

Tabla 30 Resumen de resultados variando cantidad de asfalto

<b>Resumen de resultados variando asfalto residual (%)</b>			
Características Marshall modificado	Asfalto residual (%)		
	1.6	1.8	2.0
Densidad Seca Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,983	1,984	1,983
Estabilidad Seca (Kg-f)	688.9	664.8	641.8
Estabilidad Húmeda (Kg-f)	621.3	622.8	619.5
Cambios de Estabilidad (%)	9.1	5.9	3.4
Vacíos totales (%)	21.3	21.0	20.8
Humedad Absorbida	5.1	4.7	4.4

Comparando los parámetros indicados en el Manual Series N°14 del Instituto del Asfalto con los datos obtenidos para el valor óptimo de asfalto residual igual a 1.8%, se tiene la tabla n°28.

Tabla 31 Parámetros de MS-14

<b>Comparación de parámetros de MS-14</b>				
Parámetros	Mínimo	Máximo	Resultado	
Estabilidad (Kg-f)	227	-	622.8	✓
Cambio de estabilidad (%)	-	50	5.9	✓
Revestimiento (%)	50	-	90	✓

Estos parámetros también están indicados en la Tabla F-3 de la sección 424 del capítulo 4 "Pavimentos Flexibles" en el Manual de Carreteras del MTC EG-2013.

De acuerdo con esta información, queda establecido el valor de 1.8 % como el contenido óptimo de asfalto residual en la mezcla. Para el diseño de mezcla, es necesario expresar este valor como contenido de emulsión en la mezcla, por lo tanto, al ser la cantidad de asfalto residual en la emulsión igual al 61.5%, el contenido óptimo de emulsión asfáltica en la mezcla será igual a 2.9 % del peso de los agregados. Los valores finales para el diseño de mezcla en frío quedarán establecidos según se indica la siguiente tabla.

Tabla 32 Resultado del Diseño de mezclas

<b>DISEÑO DE MEZCLA EN FRIO</b>	
<b>1.- MEZCLA DE AGREGADO (% EN PESO)</b>	
Cantera Cañipia	50%
Material base granular existente	50%
<b>2.- LIGANTE ASFALTICO</b>	
Tipo de emulsión asfáltica	Cationica CSS-1h
% óptimo de emulsión asfáltica	2.9
% óptimo de asfalto residual	1.8
<b>3.- AGUA</b>	
% de humedad natural	1.0
% de humedad en la emulsión	1.1
% de agua de pre mezcla	2.0
% de agua total en la mezcla	4.1
% de agua de compactación	1.9

Fuente: Elaboración propia del resultado de cálculos y ensayos de laboratorio

#### 4.7. Análisis y evaluación económica

Con el objeto de realizar una comparación de vía construida a nivel de base granular afirmado y otra con base granular estabilizada. Se desarrollará un análisis de costos unitarios para los dos casos. Precizando que para el primer caso se considera un afirmado compactado de 20 cm de espesor y para el segundo caso un escarificado de 15 cm de espesor agregando un 50% de la cantera Cañipia y 1.8% de emulsión asfáltica.

Por tanto, el precio de la base estabilizada conformase el costo de los 20 cm de afirmado compactado mas el escarificado de 15 cm de espesor incluida la emulsión asfáltica.

Tabla 33 Costo unitario Base granular - Afirmado

PARTIDA	BASE GRANULAR - AFIRMADO					
	Rendimiento	2300	m2/día	Costo unitario m2		S/13.98
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. U	Parcial
<b>Mano de obra</b>						
	Capataz	HH	0.50	0.0017	18.4	0.032
	Peón	HH	6.00	0.0209	12.3	0.257
						<b>0.29</b>
<b>Materiales</b>						
	Afirmado (e=0.20 m)	M3		0.2200	55.1	12.122
	Agua	M3		0.0275	10.1	0.278
						<b>12.40</b>
<b>Equipos y herramientas</b>						
	Herramientas manuales	%	3.00	0.2887	0.01	0.003
	Rodillo 11Tn	HM	1.00	0.0035	171.9	0.598
	Motoniveladora 140	HM	1.00	0.0035	197.9	0.688
						<b>1.29</b>

Tabla 34 Costo unitario Base granular - Estabilizada

PARTIDA	BASE GRANULAR - ESTABILIZADO					
	Rendimiento	2300	m2/día	Costo unitario m2		S/15.45
	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. U	Parcial
<b>Mano de obra</b>						
	Capataz	HH	0.50	0.0017	18.4	0.032
	Peón	HH	6.00	0.0209	12.3	0.257
						<b>0.29</b>
<b>Materiales</b>						
	Emulsión asfáltica CSS-1h	GIN		1.0500	12.5	13.125
	Agua	M3		0.0175	10.1	0.177
						<b>13.30</b>
<b>Equipos y herramientas</b>						
	Herramientas manuales	%	3.00	0.2887	0.01	0.003
	Rodillo 11Tn	HM	1.00	0.0035	171.9	0.598
	Motoniveladora 140	HM	1.00	0.0035	197.9	0.688
	Camion cisterna 5,00 gln	HM	1.00	0.0035	165.1	0.574
						<b>1.86</b>



Tabla 35 Resumen de precios unitarios

<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>P.U.</b>
Afirmado	Afirmado	S/. 13.98
Estabilizado	Afirmado + Emulsión	S/. 15.45

Se observa que la hacer trabajos de en una vía de con material afirmado de cantera y luego compactarlo cuesta s/. 13.98 soles y la base granular estabilizada cuesta s/. 15.45 soles. Lo que representaría una diferencia de s/. 1.47 soles. Si se considera que la base estabilizada incrementa modificando las propiedades físico - mecánicas de la base granular existente, la segunda sería una mejor opción.

---

## V. CONCLUSIONES

- Se ejecuto el levantamiento topográfico, determinando que corresponde a una topografía accidentada. De los mismo se extrajeron los volúmenes de aporte de material en las 7 curvas de la vía Yauri desvío Livitaca calculando la longitud de 1.97 km y un ancho de 9.0 m de ancho.
  
- Realizado el estudio de tráfico, se resaltó lo siguiente: La distribución de vehículos en el IMDa muestra que la mayoría son vehículos livianos. Sin embargo, los vehículos pesados, en especial semitrailers y buses de transporte público, también conforman un porcentaje representativo del tránsito que circula por la zona. Considerando los factores de diseño anotados anteriormente, el número de ejes equivalentes para el pavimento flexible es  $4.1E+07$ .
  
- Al realizar los estudios pluviométricos, se determinó que, Las máximas temperaturas de la zona se han registrado entre  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Y las temperaturas mínimas registradas se ubican entre  $-12^{\circ}\text{C}$ . Y la precipitación media mensual se observa que los meses más lluviosos son diciembre, enero y febrero con 5.5 mm y 7.8 mm respectivamente; La máxima precipitación registrada en los últimos años en la estación Pomacanchi de Lamay ha sido de 22.8 mm.
  
- Realizando las mediciones del aporte estructural con la mezcla del material existente en la base granular, se obtuvieron los valores de soporte no cumplían con lo requerido en el manual del MTC por lo que se tuvo que aportar material de la cantera Cañipia y cumplir con el requerimiento de las especificaciones.
  
- Se definió el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica que es del 1.8 % con respecto al peso de agregado (Base granular + Material cantera Cañipia). Esté es el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para



---

estabilizar la a nivel de base granular la carretera Yauri desvió Livitaca (7curva).



## **VII. RECOMENDACIONES.**

- ✓ Hay contenido bibliográfico, donde el asfalto del pavimento es recuperado y reutilizado. Para los casos donde el pavimento ha superado su tiempo de vida útil, se recomienda que el material asfáltico proveniente de la base no sea reutilizado debido a que existe bastante pérdida de finos por tanto sus propiedades no cumplirían con las especificaciones respectivas.
- ✓ Tener en cuenta la rotura de la emulsión asfáltica, en la mezcla para obtener resultados similares al de este proyecto de tesis.
- ✓ Utilizar emulsiones asfálticas, porque desde el punto de vista ecológico lo único que libera al medio es agua, por este motivo no es inflamable y las emanaciones de vapores de hidrocarburos hacia la atmosfera son casi nulas.
- ✓ Aplicar la técnica de la preparación para mezclas en frio con emulsiones asfálticas ya que con un correcto curado obtenemos resultados que superan los límites de diseño En los diferentes usos de las emulsiones asfálticas, el de mezclas frías como tanto en estabilizaciones y mezclas asfálticas.
- ✓ Realizar Estudio de Impacto Ambiental, para evitar cualquier tipo de contaminación por derrame de emulsión al momento de su ejecución.

---

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Coronado, J. (2002) Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. Guatemala: Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

De la Cruz Salcedo. (2010). Diseño y evaluación de un afirmado con emulsión asfáltica. Tesis para obtener grado de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú

Huang, Y. (2004) Pavement analysis and design. Traducción propia. Segunda edición Estados Unidos: Pearson Prentice Hall.

Montejo, A. (2006) Ingeniería de pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño. Tercera edición. Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Olsece, M. (2009) Pavimentos – Apuntes del Curso. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Rengifo K. (2014) Diseño de los pavimentos de la nueva carretera Panamericana norte. Tesis para obtener grado de Ing. Civil. Pontificia universidad católica del Perú- Lima

Rico, A., Y Del Castillo, H. (1999) La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Volumen 2. México: Limusa

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO 1993 Guide for design of pavement structures. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials

ASPHALT INSTITUTE. (1981) Thickness Design: Asphalt Pavements for Highways and Streets, Manual Series No. I (MS-1). Estados Unidos: College Park, MD.

Ministerio de transporte y comunicaciones (2003) Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Reglamento Nacional de Vehículos. (En línea). Consulta: 12 de abril del 2012 <[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_21.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_21.pdf)>

Ministerio de transportes y comunicaciones  
2000 Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2000. Segunda edición (En línea). Consulta: 25 de abril del 2012 <[http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos\\_ferro/manual/eg-2000/index.htm](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/eg-2000/index.htm)>

Ministerio de transportes y comunicaciones  
2001 Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de diseño geométrico para carreteras DG-2001. Perú: MTC.

Ministerio de transportes y comunicaciones  
Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Estadísticas de Transporte carretero. (en línea) Portal de estadísticas del MTC.  
Consulta: 18 de mayo del 2012. <<http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>>

Ministerio de transportes y comunicaciones  
2013 Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (En línea). Consulta: 10 de octubre del 2012.  
<[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)>

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ  
Servicio Nacional De Meteorología E Hidrología Del Perú. Datos históricos – Estación Lomas de Lachay. Portal web del SENAMHI. Consulta: 24 de Junio del 2018.  
<[http://www.senamhi.gob.pe/include\\_mapas/\\_dat\\_esta\\_tipo.php?estacion es=000534](http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estacion es=000534)>



## **IX. ANEXOS.**

### **9.1. Resultado de laboratorio de suelos**

### **9.2. Panel fotográfico**

### **9.3. formatos**

### **9.4. Planos**



## **Resultado de laboratorio de suelos**

**Registro nº 1 17/08/2018**



## **Resultado de laboratorio de suelos**

**Registro n° 2 24/08/2018**



**E&C QUALITY CONTROL**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**

**ENSAYO DE ABRASION ( MAQUINA DE LOS ANGELES )**  
(NORMA AASHTO T-96)

**OBRA** Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)

**MUESTRA** : Base Granular

**FECHA** : 24/08/2018

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CANTERA** Cañipia  
**MATERIAL** Base Granular

TAMIZ	GRADACIONES			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"	1250,0			
3/4"	1250,0			
1/2"	1250,0			
3/8"	1250,0			
1/4"				
Nº 4				
PESO TOTAL	5000,0			
Retenido en la malla Nº 12	3758,0			
Que pasa en la malla Nº 12	1.242,0			
Nº de Esferas	12			
Peso de las Esferas				
% Desgaste	<b>24,8%</b>			

**OBSERVACIONES :**



**E&C QUALITY CONTROL**

**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**

**EQUIVALENTE DE ARENA (NORMA ASTM D-2419 MTC E- 114)**

**PROYECTO:** Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)

**DATOS DEL PROYECTO**

	FECHA: 24/08/2018

**DATOS DE LA MUESTRA**

Tipo material: Base Granular	
Ubicación de Muestra: Cañipia	

<b>Nº DE ENSAYOS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
Tamaño máximo (pasa malla Nº 4)				
Hora de entrada a saturación	10:10	10:12	10:14	
Hora de salida de saturación (mas 10")	10:20	10:22	10:24	
Hora de entrada a decantación	10:22	10:24	10:26	
Hora de salida de decantación (mas 20")	10:42	10:44	10:46	
Altura máxima de material fino	5,5	5,2	5,1	
Altura máxima de la arena	3,5	3,4	3,3	
Equivalente de Arena (%)	63,6	65,4	64,7	<b>64,6</b>
<b>Resultado Final Considerado por Norma EG 2000 (%)</b>	<b>65</b>			



# E&C QUALITY CONTROL

## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

### ANALISIS MECANICO POR TAMIZADO

### ASTM D 422/ MTC E 204

**Cantera** Cañipia **Hecho por :** H.P.C.  
**Registro** 02 **Revisado :** M.B.E.  
**Estructura** Base Granular  
**Fecha** 24-08-18  
**Muestra** Producción

#### Granulometría (MTC E 204)

#### Humedad Natural

#### Datos de ensayo

Peso Total : 24527,0 P.M.H. = 642,3  
 Peso de fracción : 781,3 P.M.S. = 605,0  
 Peso de muestra lavada: 23720,2 % W = 6,2

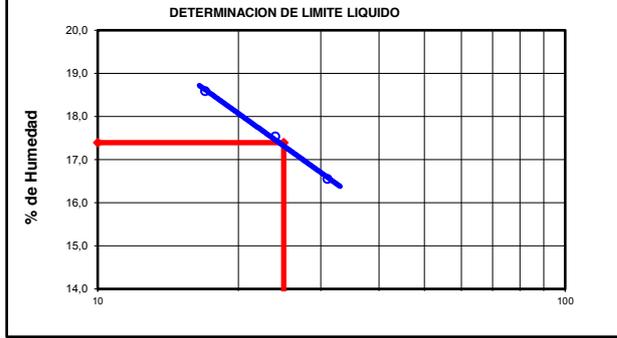
#### Límite Líquido (MTC E-110 / ASTM D-4318)

Ensayo	1	2	3
Nº de Golpes	31	24	17
Recipiente Nº	4	10	12
R + Suelo Hum.	30,12	32,02	29,00
R + Suelo Seco	27,85	29,36	26,69
Peso Recip.	14,13	14,19	14,26
Peso Agua	2,27	2,66	2,31
Peso S. Seco	13,72	15,17	12,43
% de Humedad	16,55	17,53	18,58

#### Límite Plástico (MTC E-111 / ASTM D-4318)

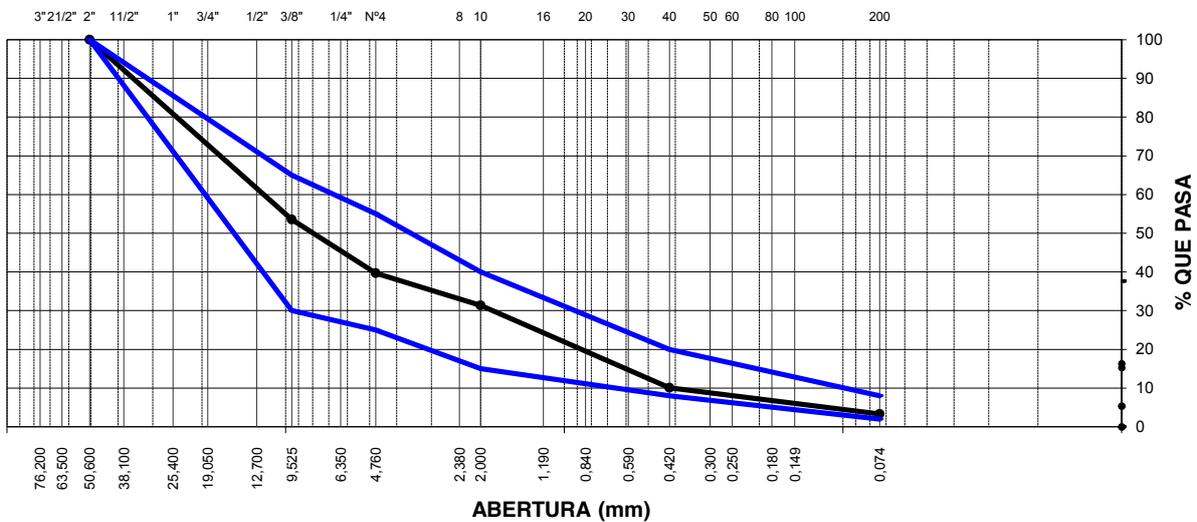
Ensayo	1	2	3
Recipiente Nº			
R + Suelo Hum.			
R + Suelo Seco			
Peso Recip.			
Peso Agua			
Peso S. Seco			
% de Humedad			

Malla	Peso	% Ret	% Ret	% que	Especifi-
Tamiz	mm.	Parcial	Acum.	Pasa	caciones
3"	76,200				Gradacion
2 1/2"	63,500				"A"
2"	50,600				100 100
1 1/2"	38,100			100,0	
1"	25,400	374,0	1,5	98,5	
3/4"	19,050	4237,0	17,3	81,2	
1/2"	12,700	4868,0	19,8	61,4	
3/8"	9,525	1915,0	7,8	53,5	30 65
1/4"	6,350	2428,0	9,9	43,6	
No4	4,760	962,0	3,9	39,7	25 55
8	2,360	124,7	6,3	33,4	
10	2,000	40,4	2,1	31,3	15 40
16	1,190	143,6	7,3	24,0	
30	0,600	191,0	9,7	14,3	
40	0,420	83,3	4,2	10,1	8 20
50	0,300	52,1	2,6	7,4	
100	0,149	59,2	3,0	4,4	
200	0,074	22,3	1,1	3,3	2 8
< 200		64,7	3,3	100,0	



Clasificación SUCS **GP** L.L : 17,39  
 Clasificación AASHTO **A-1-a (0)** I.P : NP

#### CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES :

.....

.....

.....



**E&C QUALITY CONTROL**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**  
**PESO ESPECIFICO DE SOLIDOS**  
**(ASTM C 127 / D 854 / AASHTO T 100 / MTC E 206, 205)**

**DATOS DEL PROYECTO**

PROYECTO:	Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)		
DISTRITO	Coporaque		
PROVINCIA	Espinar	FECHA:	24/08/2018
DEPARTAMENTO	Cusco		

**DATOS DE LA MUESTRA**

Ubicación de Muestra Cañipia	-----		

**(ASTM C 127)**

**GRAVA**

		Unidad
PESO DE MUESTRA SECA EN HORNO	2062,0	gr
PESO DE MUESTRA SAT. SUPERF. SECA EN AIRE	2085,0	gr
PESO DE MUESTRA SAT. SUPERF. SECA EN AGUA	1296,0	gr
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2,692	gr/cm3
PESO ESPEC. BULK BASE SATURADA	2,643	gr/cm3
BULK SPECIFIC GRAVITY	2,613	gr/cm3
ABSORCION	1,115	%
CONTENIDO SECO DE AGUA DE LAS PARTICULA DE SOBRETAMAÑO		%

**(ASTM C 128)**

**ARENA**

		Unidad
PESO SECO EN HORNO		gr
PESO DE FIOLA + AGUA		gr
PESO DE FIOLA + SUELO + AGUA		gr
PESO MUESTRA SATURADA SUPERF. SECA		gr
PESO ESPECIFICO NOMINAL		gr/cm3
ABSORCION		%

**(ASTM D 854)**

<b>PESO ESPECIFICO DE SOLIDOS (Gs)</b>	<b>2,692</b>	<b>gr/cm3</b>
--	--------------	---------------

Observaciones:



## E&C QUALITY CONTROL

### LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

#### ENSAYO DE PROCTOR

(ASTM D - 1557 / AASHTO T 180 / MTC E115)

#### DATOS DEL PROYECTO

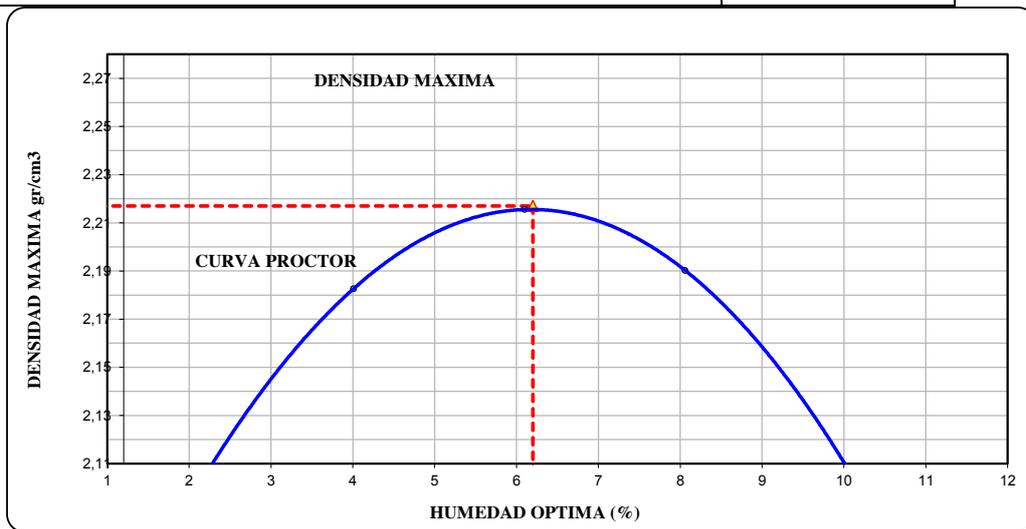
PROYECTO:	Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)		
DISTRITO	Coporaque		
PROVINCIA	Espinar	FECHA:	24/08/2018
DEPARTAMENTO	Cusco		

#### DATOS DE LA MUESTRA

Ubicación de Muestra Cañipia

TIPO PROCTOR: (MODIFICADO)	UND	PUNTOS				Observaciones:
		1	2	3	4	
METODO DE COMPACTACION						
PESO SUELO + MOLDE	gr.	11280	11550	11720	11754	
PESO MOLDE	gr.	6753	6753	6753	6753	
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	2113	2113	2113	2113	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	gr.	4527	4797	4967	5001	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	gr/cm <sup>3</sup>	2,142	2,270	2,351	2,367	

HUMEDAD	UND	RECIPIENTES				Observaciones:
		1	2	3	4	
RECIPIENTE N°	cod.	0	0	0	0	
PESO SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	gr.	652,30	521,30	892,30	1071,20	
PESO SUELO SECO + RECIPIENTE	gr.	639,00	501,20	841,00	991,30	
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	0,00	0,00	0,00	0,00	
PESO DE AGUA	gr.	13,30	20,10	51,30	79,90	
PESO DE SUELO SECO	gr.	639,00	501,20	841,00	991,30	
CONTENIDO DE AGUA	%	2,08	4,01	6,10	8,06	
PESO VOLUMETRICO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2,099	2,183	2,216	2,190	



Densidad Maxima	2,22 gr/cm <sup>3</sup>	Humedad Optima	6,20 %
Densidad Maxima Corregida	gr/cm <sup>3</sup>	Humedad Optima Corregida	%

Observacion:



**E&C QUALITY CONTROL**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**  
**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
**( ASTM D 1883 / AASHTO T-190 / MTC E 132 )**

PROYECTO: Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)  
 DISTRITO: Coporaque  
 PROVINCIA: Espinar  
 DEPARTAMENTO: Cusco  
 FECHA: 24/08/2018

**DATOS DE LA MUESTRA**

Ubicación de Muestra: Cañipia

**COMPACTACION**

Molde N°	5		4		1	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SATURADO	SATURADO	SATURADO	SATURADO	SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13340,00		13250,00		12980,00	
Peso de molde (g)	8391,00		8518,00		8472,00	
Peso del suelo húmedo (g)	4949,00		4732,00		4508,00	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117,00		2114,00		2127,00	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2,338		2,238		2,119	
Tara (N°)	0		0		0	
Peso suelo húmedo + tara (g)	615,30		652,30		720,30	
Peso suelo seco + tara (g)	579,00		614,20		678,00	
Peso de tara (g)	0,00		0,00		0,00	
Peso de agua (g)	36,30		38,10		42,30	
Peso de suelo seco (g)	579,00		614,20		678,00	
Contenido de humedad (%)	6,27		6,20		6,24	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,200		2,108		1,995	

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/08/2018	13:23	0,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0
21/08/2018	13:23	24,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0
22/08/2018	13:23	48,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0
23/08/2018	13:23	72,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0
24/08/2018	13:23	96,00	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0	0	0,000	0,0

**PENETRACION**

PENETRACION		CARGA STAND.	MOLDE N° 5				MOLDE N° 4				MOLDE N° 1			
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0,000	0,000		0	0			0	0			0	0		
0,635	0,250		145	144,9			117	116,9			68	67,8		
1,270	0,500		420	420,5			250	250,1			150	149,9		
1,905	0,750		800	801,2			452	452,6			254	254,2		
<b>2,540</b>	<b>1,000</b>	<b>70,455</b>	1550	1552,7	1390,0	<b>97,7</b>	750	751,1	800,0	<b>56,2</b>	384	384,4	320,0	<b>22,5</b>
3,810	1,500		2015	2018,7			1100	1101,8			538	538,7		
<b>5,080</b>	<b>2,000</b>	<b>105,680</b>	2503	2507,7	2550,0	<b>119,5</b>	1520	1522,7	1480,0	<b>69,4</b>	752	753,2	740,0	<b>34,7</b>
6,350	2,500		3201	3207,0			1895	1898,4			954	955,6		
7,620	3,000		3584	3590,8			2200	2204,0			1200	1202,0		
10,160	4,000		3958	3965,6			2510	2514,7			1500	1502,6		

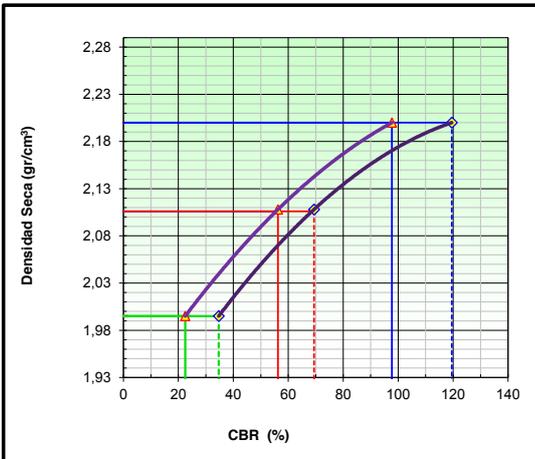


**E&C QUALITY CONTROL**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**  
**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
**(ASTM D 1883 / AASHTO T-190 /MTC E 132)**

PROYECTO: Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)  
 DISTRITO: Coporaque  
 PROVINCIA: Espinar  
 DEPARTAMENTO: Cusco  
 FECHA: 24/08/2018

**DATOS DE LA MUESTRA**

Ubicación de Muestra: Cañipia



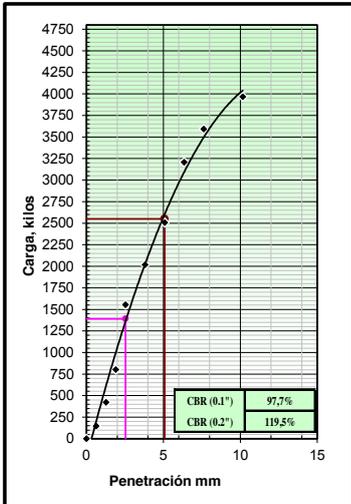
**METODO DE COMPACTACION** : AASHTO T-180  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2,217  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 6,20  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2,106  
 90% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1,995

C.B.R. al 100% de M.D.S. (0.1"):	98	0.2":	120
C.B.R. al 95% de M.D.S. (º 0.1"):	56	0.2":	69
C.B.R. al 90% de M.D.S. (º 0.1"):	23	0.2":	35

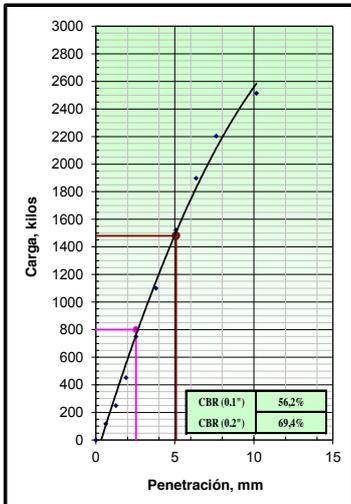
**RESULTADOS:**  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 98%  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 56%  
 Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. = 23%

**OBSERVACIONES:**

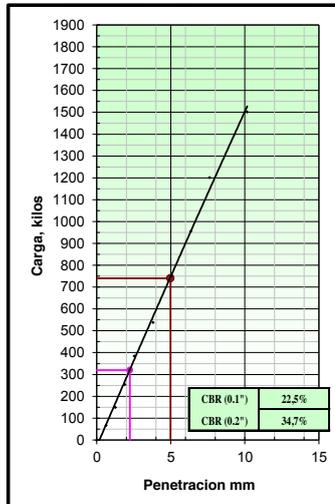
**EC = 56 GOLPES**



**EC = 25 GOLPES**



**EC = 12 GOLPES**





## E&C QUALITY CONTROL

### LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

ENSAYO MARSHALL AASHTO T - 245 ASTM D 1559

Proyecto:

Tratamiento de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica Carretera Yauri – Dv Livitaca (7)

Material :

Suelo estabilizado con Emulsion Asfáltica

#### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, ASFALTO Y CONCRETO

(Marshall - 01)

BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	PROMEDIO	ESPECIF.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9	Peso de la briketa al aire	gr	1196,5	1199,8	1201,9		
10	Peso de la briketa	gr	1199,8	1204,5	1205,7		
11	Peso de la briketa	gr	679,0	682,1	683,9		
12	Volumen de briketa (10-11)	c.c.	520,8	522,4	521,8		
13	Peso de la parafina (10-9)	gr	0,819	0,819	0,819		
14	Volumen de la parafina (13/Pe.parafina)	c.c.	0,910	0,910	0,910		
15	Volumen de la briketa por desplazamiento (12-14)	c.c.	519,9	521,5	520,9		
16	Peso específico Bulk de la briketa (9/15)	gr/cc	2,301	2,301	2,307	2,303	
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25	Flujo	mm	4,95	4,83	4,83	4,87	
26	Estabilidad sin corregir	kg	829,9	805,0	801,9		
27	Factor de estabilidad		1,00	1,00	1,00		
28	Estabilidad corregida	kg	830	805	802	812	Min. 230
29	ESTABILIDAD-FLUJO		1676	1668	1662	1668	
30							

OBSERVACIONES:

---



---



---



---



## Panel fotográfico



Imagen 01. Curva nº 1



Imagen 02. Curva nº 2



Imagen 03. Curva nº 3



Imagen 04. Curva nº 4



Imagen 05. Curva nº 5



Imagen 06. Curva nº 6



Imagen 07. Curva n° 7



Imagen 08. Trabajos de campo medición de curvas



Imagen 09. Trabajos de laboratorio de suelos (Ensayo de granulométrica)



Imagen 10. Trabajos de laboratorio de suelos (Ensayos de CBR)



Imagen 11. Trabajos de preparación de muestra asfáltica

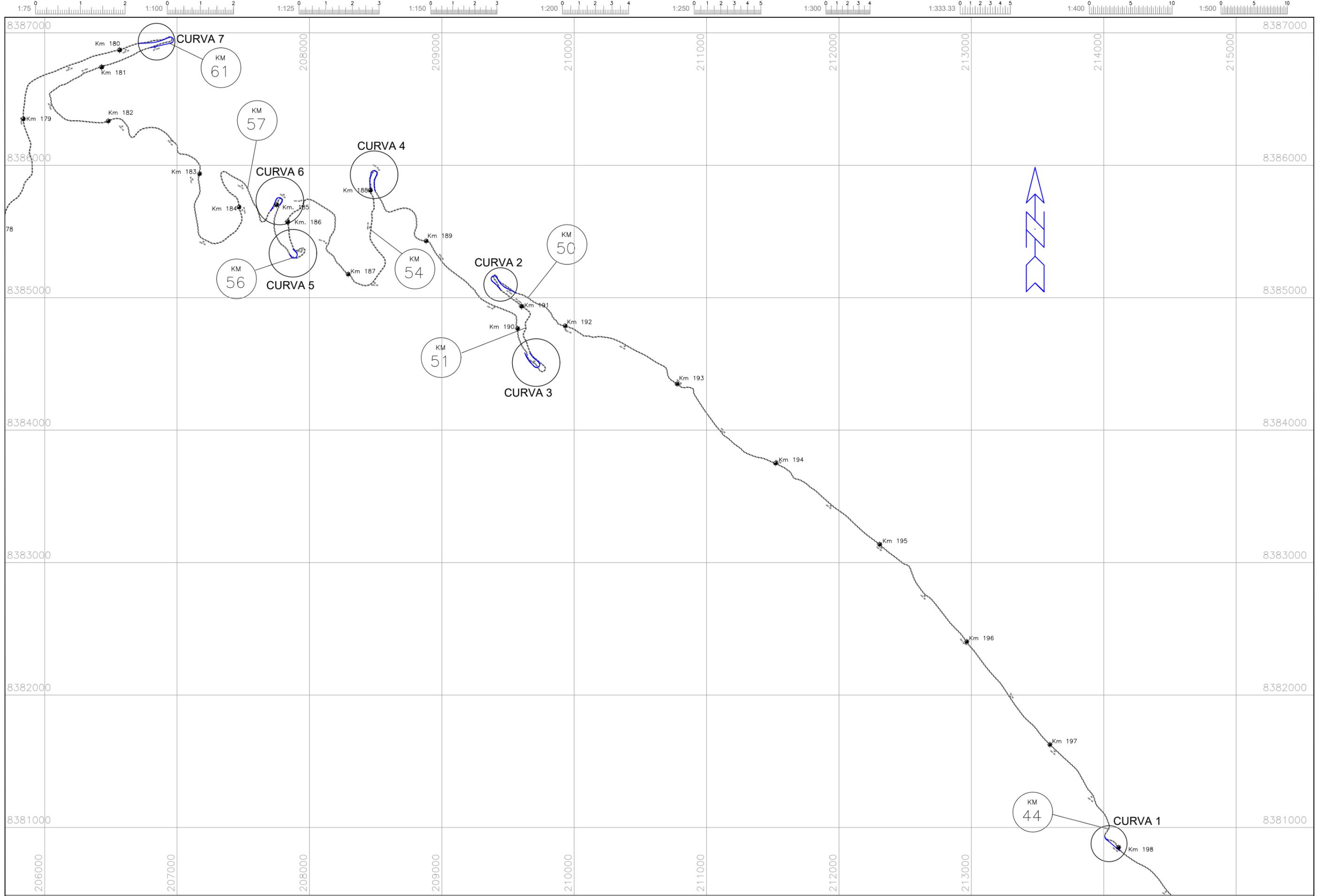


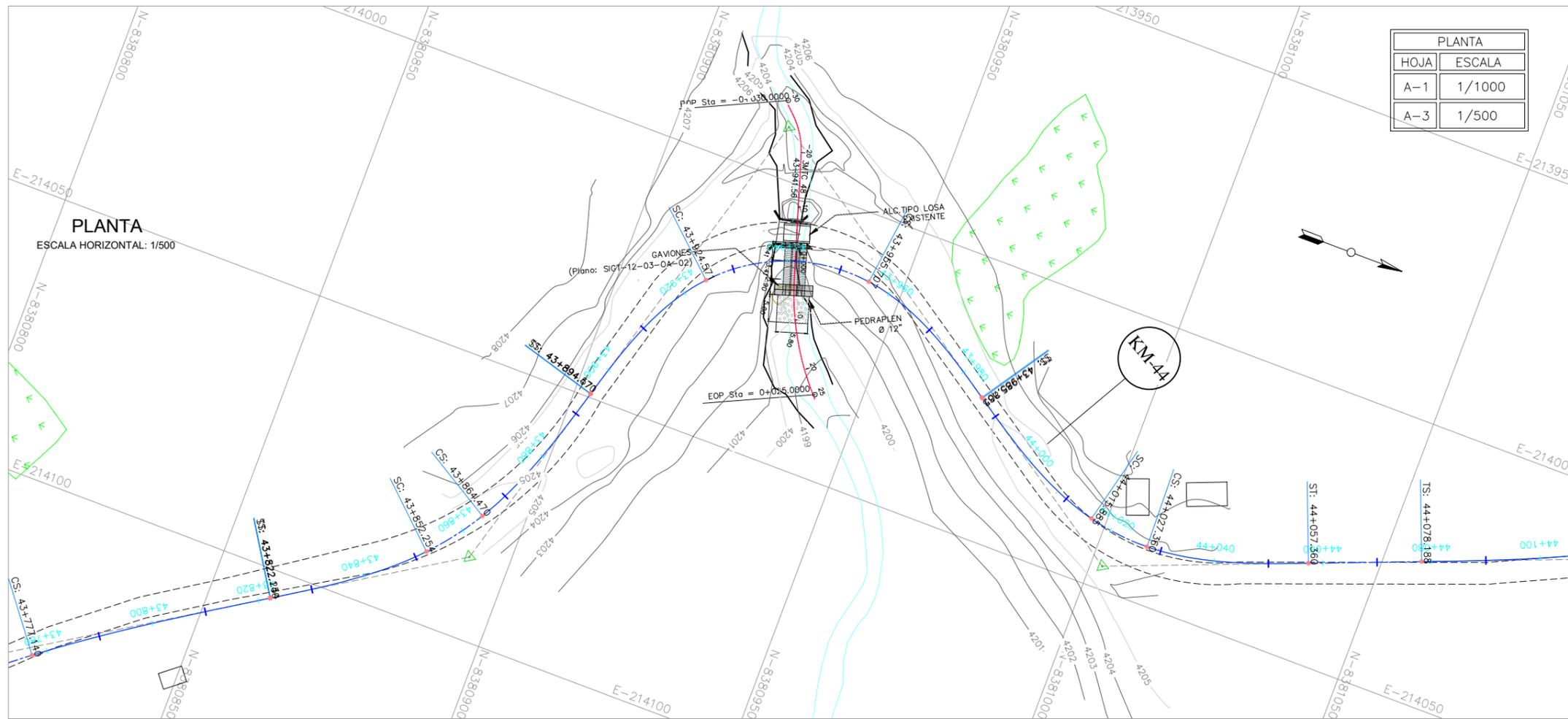
Imagen 12. Colocación de muestra asfáltica en briquetas



Imagen 11. Briquetas para para ensayos Marshall

# Planos





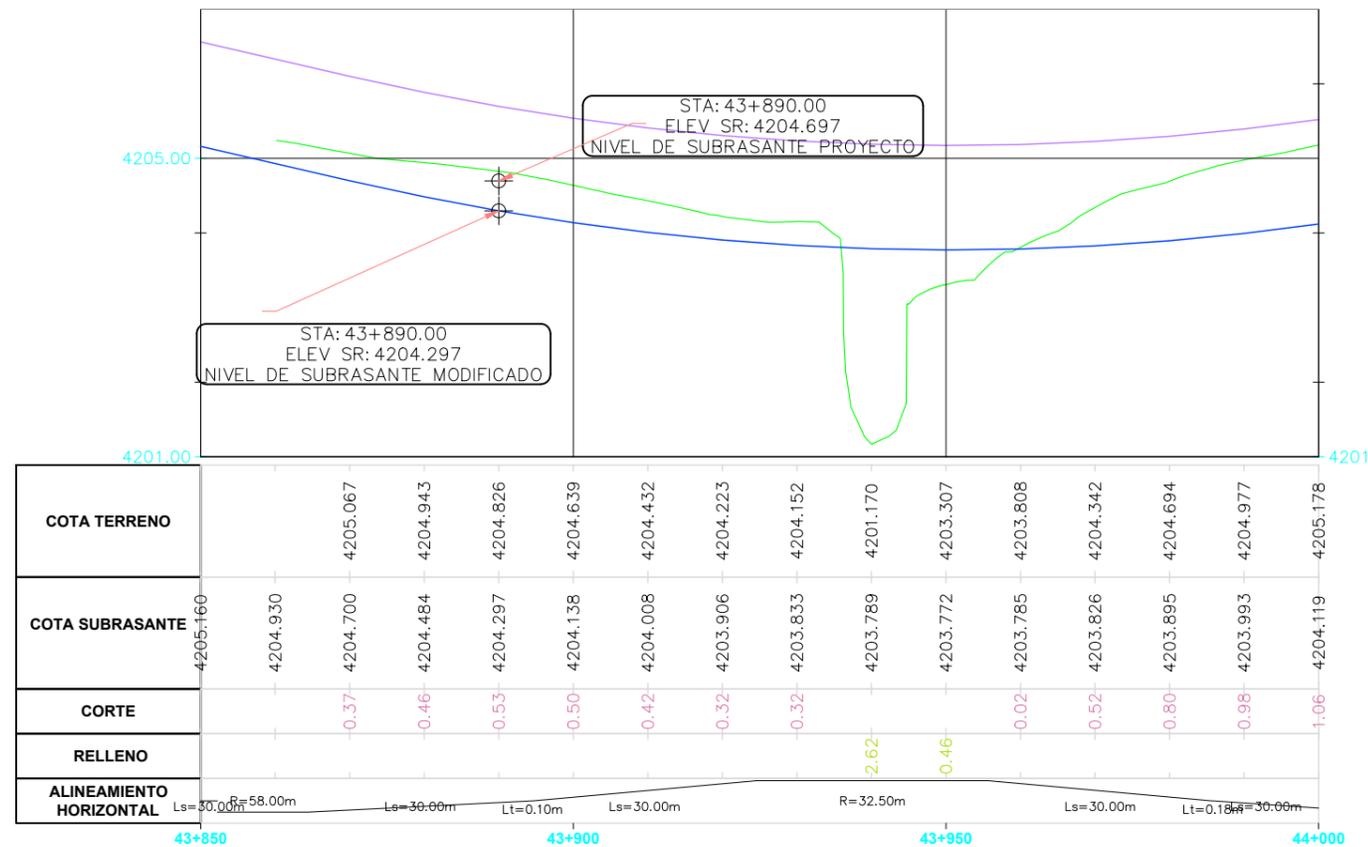
PLANTA	
HOJA	ESCALA
A-1	1/1000
A-3	1/500

### LEYENDA

TE	PUNTO DE INICIO DE LA ESPIRAL
EC/PC	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (FIN DE LA ESPIRAL)
CE/PT	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (INICIO DE LA ESPIRAL)
ET	PUNTO DE FIN DE LA ESPIRAL
PI	PUNTO DE INFLEXIÓN HORIZONTAL
NORTE/ESTE	COORDENADAS DEL PI
Delta	ANGULO DE DEFLEXIÓN
Le	LONGITUD DE LA CLOTOIDE (m)
Radio	RADIO DE LA CURVA CIRCULAR
Lc	LONGITUD DE CURVA CIRCULAR (m)
Tang	LONGITUD DE LA TANGENTE (PC a PI y PI a PT)
EXT	DISTANCIA TOTAL EXTERNA
SA	SOBREANCHO
%P	PERALTE (%)
	CURVAS DE NIVEL
	EJE DE REPLANTEO
	NUMERO DE KILOMETRO
	PUNTO DE CONTROL GEODESICO
	POLIGONAL DE APOYO
	PROF. DISTANCIA
	Nº BM BASE/HERO KM
	NUMERO DE BM EN PLANTA

### LEYENDA

PLANTA	
	EJE CARRETERA
	CURVAS DE NIVEL
	VIA EXISTENTE
PERFIL:	
	SUBRASANTE CONTRACTUAL
	SUBRASANTE MODIFICADO
	TERRENO NATURAL
	PUNTO DE CONTROL

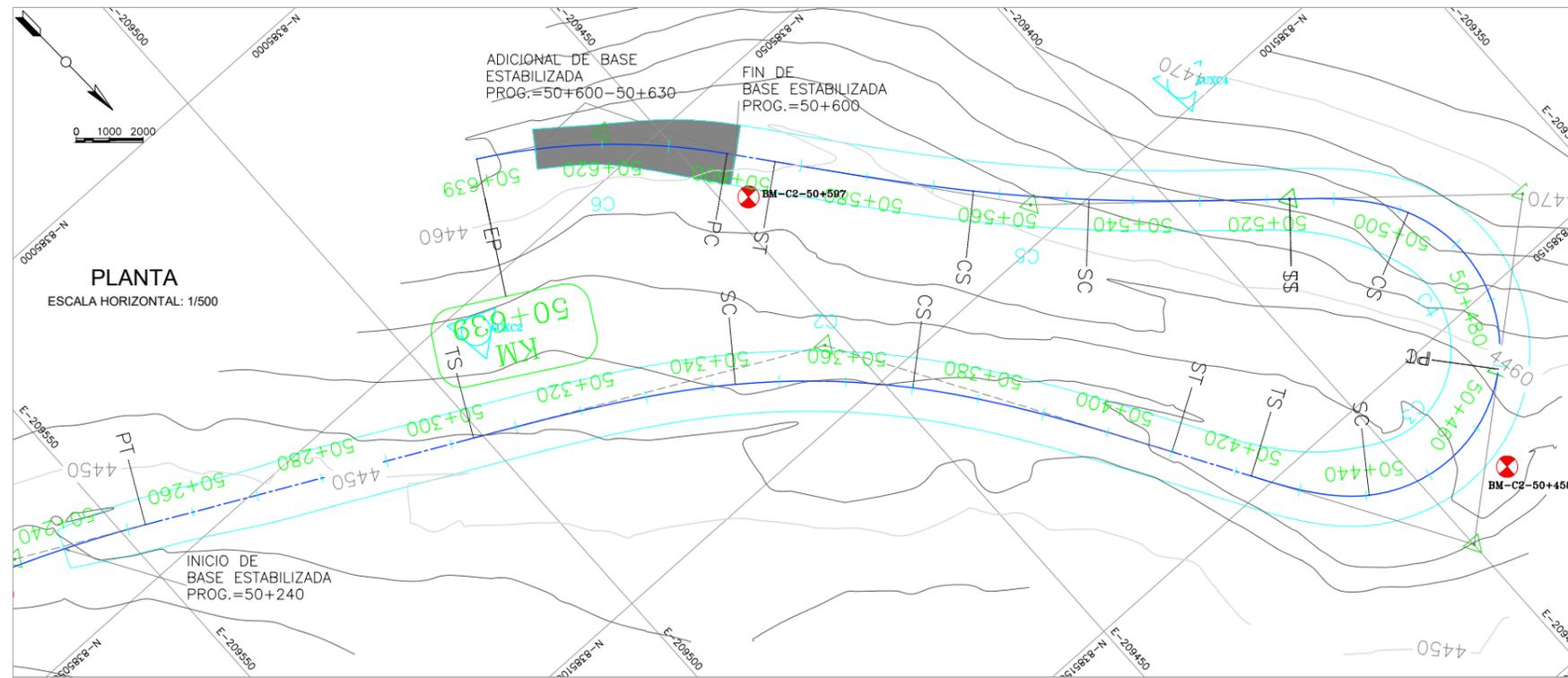


PERFIL	
%	PENDIENTE
E	EXTERNA DE LA CURVA VERTICAL
K	PARAMETRO DE LA CURVATURA VERTICAL
L.C.	LONGITUD DE LA CURVA VERTICAL EN PLANO HORIZONTAL (m)
PCV	PUNTO DE CURVA VERTICAL
PIV	PUNTO DE INFLEXIÓN VERTICAL
PTV	PUNTO DE TANGENCIA VERTICAL
	BASE ESTABILIZADA
	TERRENO BASE GRANULAR DESGASTADA

### PERFIL LONGITUDINAL

ESCALA HORIZONTAL: 1/500

NOTAS:  
 1 - MEDIDAS EN METROS.  
 2 - PROGRESIVA EN km.  
 3 - SUBRASANTE A 0.36m ABAJO DE LA BASE ESTABILIZADA.  
 4 - COORDENADAS TOPOGRAFICAS (WGS84).



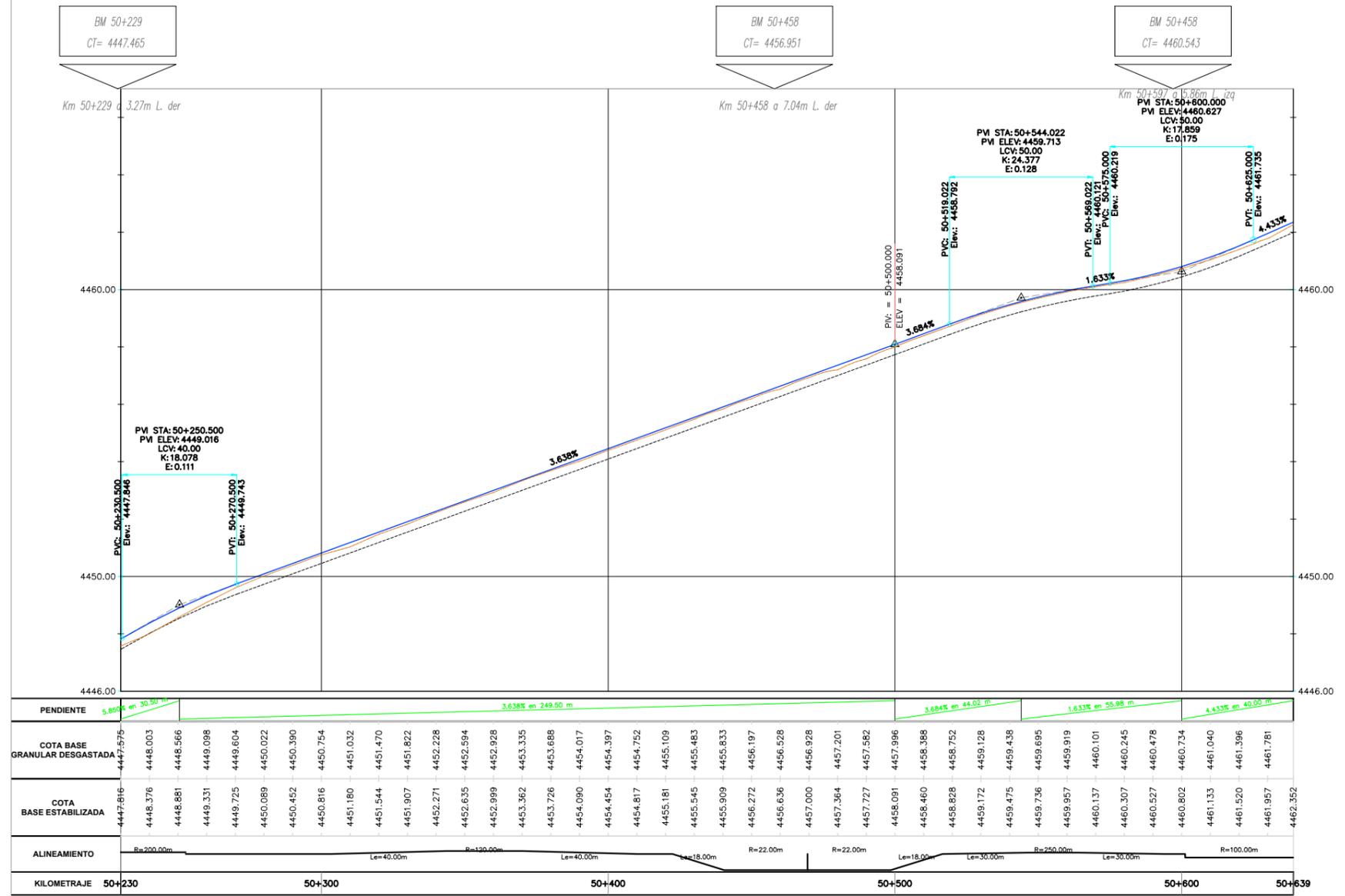
ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C1	N68°56'00"W	11°33'31"	200.00	20.242	40.35	1.022	50+212.340	50+232.582	50+252.686	8385033.715	209564.639
C2	N47°15'07"W	12°42'20"	120.00	13.360	26.61	0.741	50+343.458	50+356.818	50+370.068	8385090.318	209452.807
C3	S87°21'24"W	75°42'30"	22.00	17.098	29.07	5.863	50+440.452	50+457.550	50+469.522	8385177.072	209399.956
C4	S11°38'25"W	75°43'27"	22.00	17.103	29.08	5.866	50+469.522	50+486.625	50+498.598	8385148.792	209366.841
C5	S44°13'52"E	3°58'26"	250.00	8.673	17.34	0.150	50+546.594	50+555.267	50+563.933	8385088.264	209421.316
C6	S49°36'24"E	21°36'03"	100.00	19.077	37.70	1.803	50+601.204	50+620.281	50+638.905	8385044.325	209456.652

**LEYENDA**

TE	PUNTO DE INICIO DE LA ESPIRAL
EC/PC	PUNTO DE INICIO DE LA CURVA (FIN DE LA ESPIRAL)
CE/PT	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (INICIO DE LA ESPIRAL)
ET	PUNTO DE FIN DE LA ESPIRAL
PI	PUNTO DE INFLEXIÓN HORIZONTAL
NORTE/ESTE	COORDENADAS DEL PI
Delta	ANGULO DE DEFLEXIÓN
Le	LONGITUD DE LA CLOTOIDE (m)
Radio	RADIO DE LA CURVA CIRCULAR
Lc	LONGITUD DE LA CURVA CIRCULAR (m)
Tang	LONGITUD DE LA TANGENTE (PC a PI Y PI a PT)
EXT	DISTANCIA TOTAL EXTERNA
SA	SOBRECANCHO
%P	PERALTE (%)
	CURVAS DE NIVEL
	EJE DE REPLANTEO
	NUMERO DE KILOMETRO
	PUNTO DE CONTROL GEODESICO
	POLIGONAL DE APOYO
	NUMERO DE BM EN PERFIL
	NUMERO DE BM EN PLANTA

HOJA	ESCALA
A-1	1/500
A-3	1/1000

HOJA	ESCALA
A-1	V:1/100 H:1/1000
A-3	V:1/200 H:1/2000



**PERFIL LONGITUDINAL**  
ESCALA HORIZONTAL: 1/1000

- NOTAS:
- 1 - MEDIDAS EN METROS.
  - 2 - PROGRESIVA EN Km.
  - 3 - SUBRASANTE A 0.36m ABAJO DE LA BASE ESTABILIZADA.
  - 4 - COORDENADAS TOPOGRAFICAS (WGS84).



Diseño: RETA  
Dibujo: RETA  
Revisado: EMDB  
Aprobado:

PROYECTO DE TESIS :  
DISEÑO PARA ESTABILIZADA CON EMULSION ASFALTICA CATIONICA  
CARRETERA YAURI - DV LIVITACA (7 CURVAS)

PLANTA Y PERFIL  
KM 50+240 A KM 50+630 CURVA N°2

ESCALA: 1/1000  
FECHA: JULIO 2018

N° DE PLANO:  
PP-02



**PLANTA**  
ESCALA HORIZONTAL: 1/500

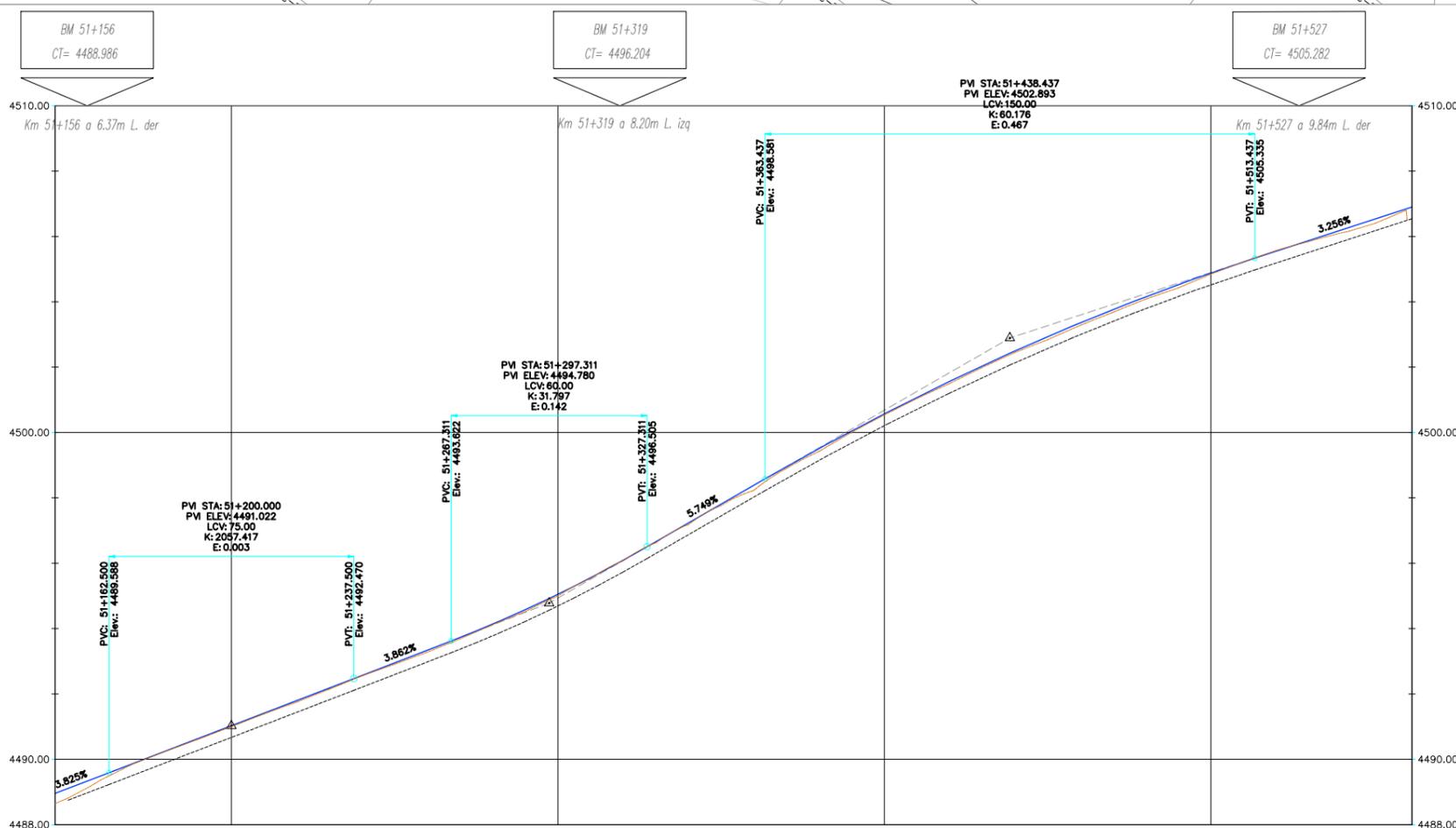
ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C7	S14°57'47"E	14°00'49"	50.00	6.145	12.23	0.376	51+158.224	51+164.370	51+170.454	8384616.574	209651.115
C8	S35°59'44"E	11°20'23"	120.00	11.914	23.75	0.590	51+208.760	51+220.674	51+232.510	8384563.693	209672.448
C9	S14°39'42"W	51°14'06"	22.00	10.549	19.67	2.398	51+313.270	51+323.819	51+332.943	8384499.298	209749.248
C10	S65°54'00"W	51°14'29"	22.00	10.550	19.68	2.399	51+332.943	51+343.493	51+352.618	8384460.494	209716.364
C11	N33°32'28"W	6°11'25"	160.00	8.652	17.29	0.234	51+435.193	51+443.844	51+452.479	8384532.788	209649.177
C12	N19°29'59"W	9°21'32"	100.00	8.185	16.33	0.334	51+521.412	51+529.597	51+537.746	8384611.281	209613.935
C13	N20°33'19"W	11°28'10"	80.00	8.034	16.01	0.402	51+545.573	51+553.607	51+561.588	8384634.528	209607.784

**LEYENDA**

TE	PUNTO DE INICIO DE LA ESPIRAL
EC/PC	PUNTO DE INICIO DE LA CURVA (FIN DE LA ESPIRAL)
CE/PT	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (INICIO DE LA ESPIRAL)
ET	PUNTO DE FIN DE LA ESPIRAL
PI	PUNTO DE INFLEXIÓN HORIZONTAL
NORTE/ESTE	COORDENADAS DEL PI
Delta	ANGULO DE DEFLEXIÓN
Le	LONGITUD DE LA CLOTOIDE (m)
Radio	RADIO DE LA CURVA CIRCULAR
Lc	LONGITUD DE CURVA CIRCULAR (m)
Tang	LONGITUD DE LA TANGENTE (PC a PI Y PI a PT)
EXT	DISTANCIA TOTAL EXTERNA
SA	SOBREANCHO
%P	PERALTE (%)
	CURVAS DE NIVEL
	EJE DE REPLANTEO
	NUMERO DE KILOMETRO
	PUNTO DE CONTROL GEODESICO
	POLIGONAL DE APOYO
	NUMERO DE BM EN PERFIL
	NUMERO DE BM EN PLANTA

PLANTA	
HOJA	ESCALA
A-1	1/500
A-3	1/1000

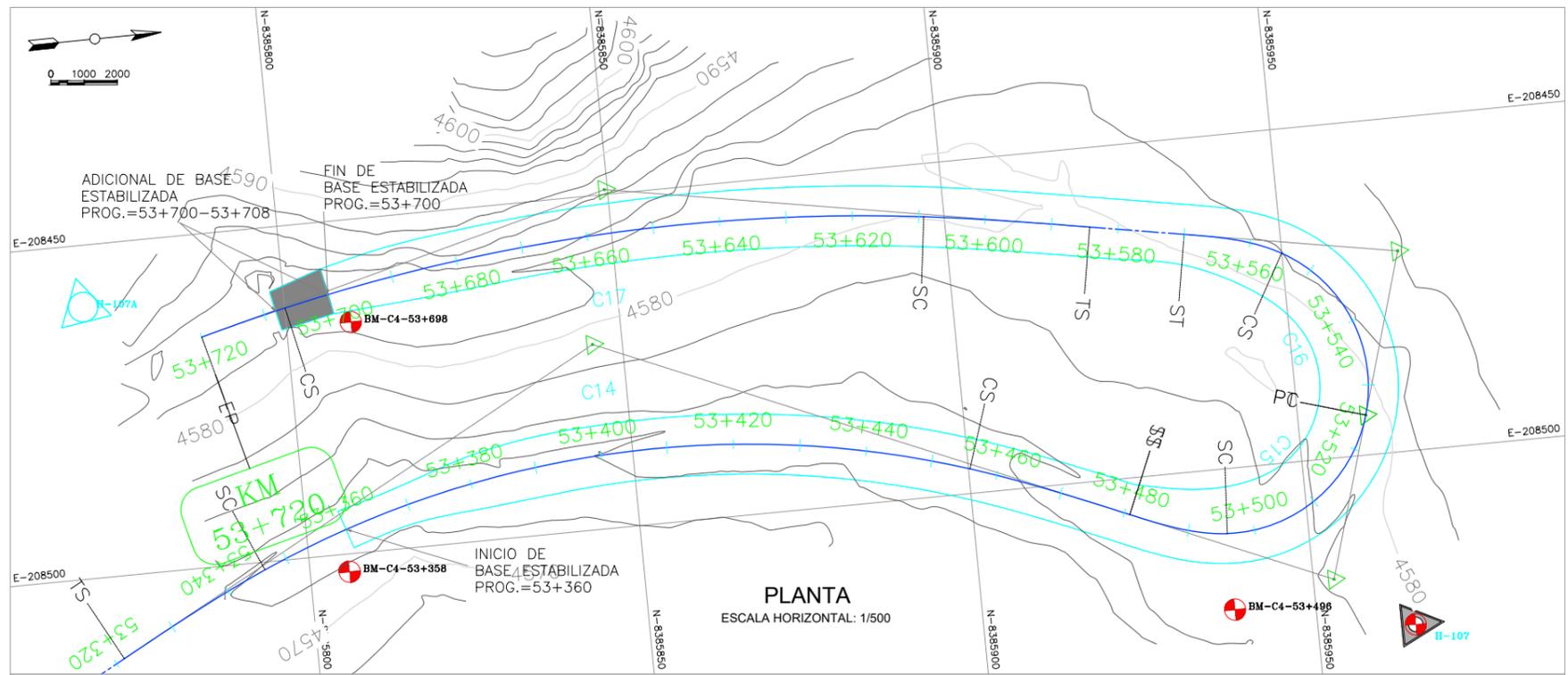
PERFIL	
HOJA	ESCALA
A-1	V:1/100 H:1/1000
A-3	V:1/200 H:1/2000



PENDIENTE	COTA BASE GRANULAR DESGASTADA	COTA BASE ESTABILIZADA	ALINEAMIENTO	KILOMETRAJE
3.825% en 59.18 m	4488.645	4488.957	R=50.00m	51+146
3.862% en 97.31 m	4488.616	4489.110	Le=35.00m	51+200
5.749% en 141.13 m	4489.368	4489.492	R=120.00m	51+300
3.256% en 124.99 m	4489.863	4489.875	Le=35.00m	51+400
	4490.249	4490.258	R=22.00m	51+500
	4490.619	4490.642	Le=35.00m	51+562
	4490.997	4491.026		
	4491.387	4491.410		
	4491.748	4491.795		
	4492.141	4492.181		
	4492.551	4492.567		
	4492.910	4492.953		
	4493.281	4493.339		
	4493.684	4493.727		
	4494.116	4494.137		
	4494.523	4494.579		
	4494.998	4495.052		
	4495.531	4495.557		
	4496.075	4496.093		
	4496.623	4496.659		
	4497.181	4497.234		
	4497.761	4497.809		
	4498.230	4498.384		
	4498.903	4498.955		
	4499.425	4499.511		
	4500.008	4500.050		
	4500.540	4500.572		
	4501.041	4501.078		
	4501.501	4501.567		
	4501.989	4502.040		
	4502.448	4502.496		
	4502.942	4502.935		
	4503.281	4503.358		
	4503.680	4503.764		
	4504.084	4504.153		
	4504.427	4504.526		
	4504.846	4504.882		
	4505.226	4505.222		
	4505.574	4505.548		
	4505.843	4505.874		
	4506.112	4506.199		
	4506.393	4506.525		
	4506.623	4506.851		

**PERFIL LONGITUDINAL**  
ESCALA HORIZONTAL: 1/1000

- NOTAS:
- 1 - MEDIDAS EN METROS.
  - 2 - PROGRESIVA EN KM.
  - 3 - SUBRASANTE A 0.36m ABAJO DE LA BASE ESTABILIZADA.
  - 4 - COORDENADAS TOPOGRAFICAS (WGS84).



**PLANTA**  
ESCALA HORIZONTAL: 1/500

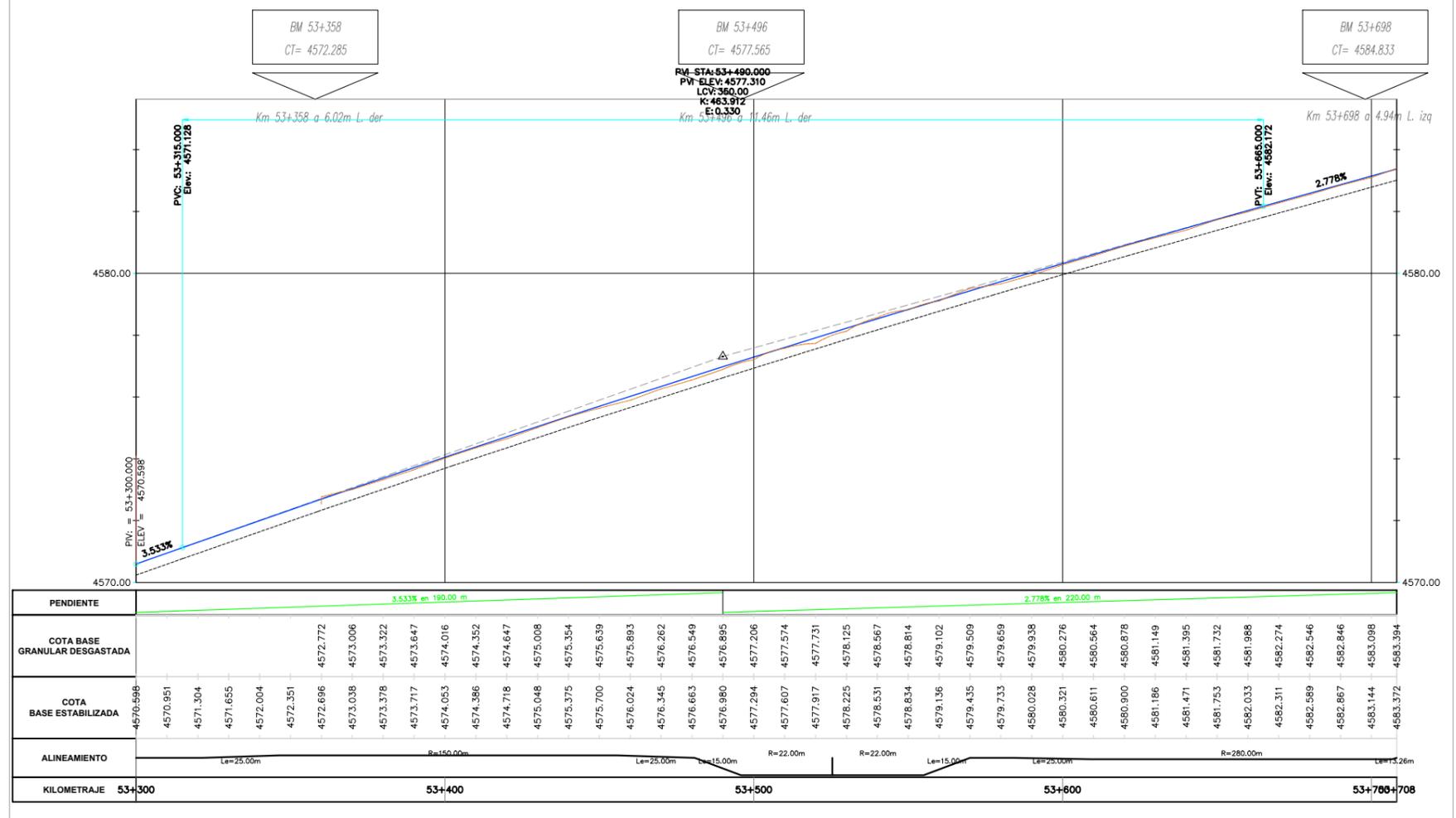
ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C14	N2°36'06"W	41°48'59"	150.00	57.304	109.47	10.573	53+346.384	53+403.688	53+455.859	8385845.818	208478.304
C15	N34°58'10"W	77°02'09"	22.00	17.511	29.58	6.118	53+495.860	53+513.371	53+525.440	8385955.258	208510.800
C16	S67°59'52"W	77°01'47"	22.00	17.509	29.58	6.117	53+525.441	53+542.950	53+555.018	8385965.212	208477.224
C17	S2°34'53"E	19°56'53"	280.00	49.241	97.49	4.297	53+609.259	53+658.500	53+706.744	8385848.117	208451.631

**LEYENDA**

TE	PUNTO DE INICIO DE LA ESPIRAL
EC/PC	PUNTO DE INICIO DE LA CURVA (FIN DE LA ESPIRAL)
CE/PT	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (INICIO DE LA ESPIRAL)
ET	PUNTO DE FIN DE LA ESPIRAL
PI	PUNTO DE INFLEXIÓN HORIZONTAL
NORTE/ESTE	COORDENADAS DEL PI
Delta	ANGULO DE DEFLEXIÓN
Le	LONGITUD DE LA CLOTOIDE (m)
Radio	RADIO DE LA CURVA CIRCULAR
Lc	LONGITUD DE CURVA CIRCULAR (m)
Tang	LONGITUD DE LA TANGENTE (PC a PI Y PI a PT)
EXT	DISTANCIA TOTAL EXTERNA
SA	SOBREANCHO
%P	PERALTE (%)
CURVAS DE NIVEL	
EJE DE REPLANTEO	
<b>KM 50+000</b> NUMERO DE KILOMETRO	
<b>H-103</b>	PUNTO DE CONTROL GEODESICO
<b>AUXC4</b>	POLIGONAL DE APOYO
<b>PROCE. DISTANCIA</b>	
<b>N° BM Apotacion</b>	NUMERO DE BM EN PERFIL
<b>BM 0.00</b>	NUMERO DE BM EN PLANTA

HOJA	ESCALA
A-1	1/500
A-3	1/1000

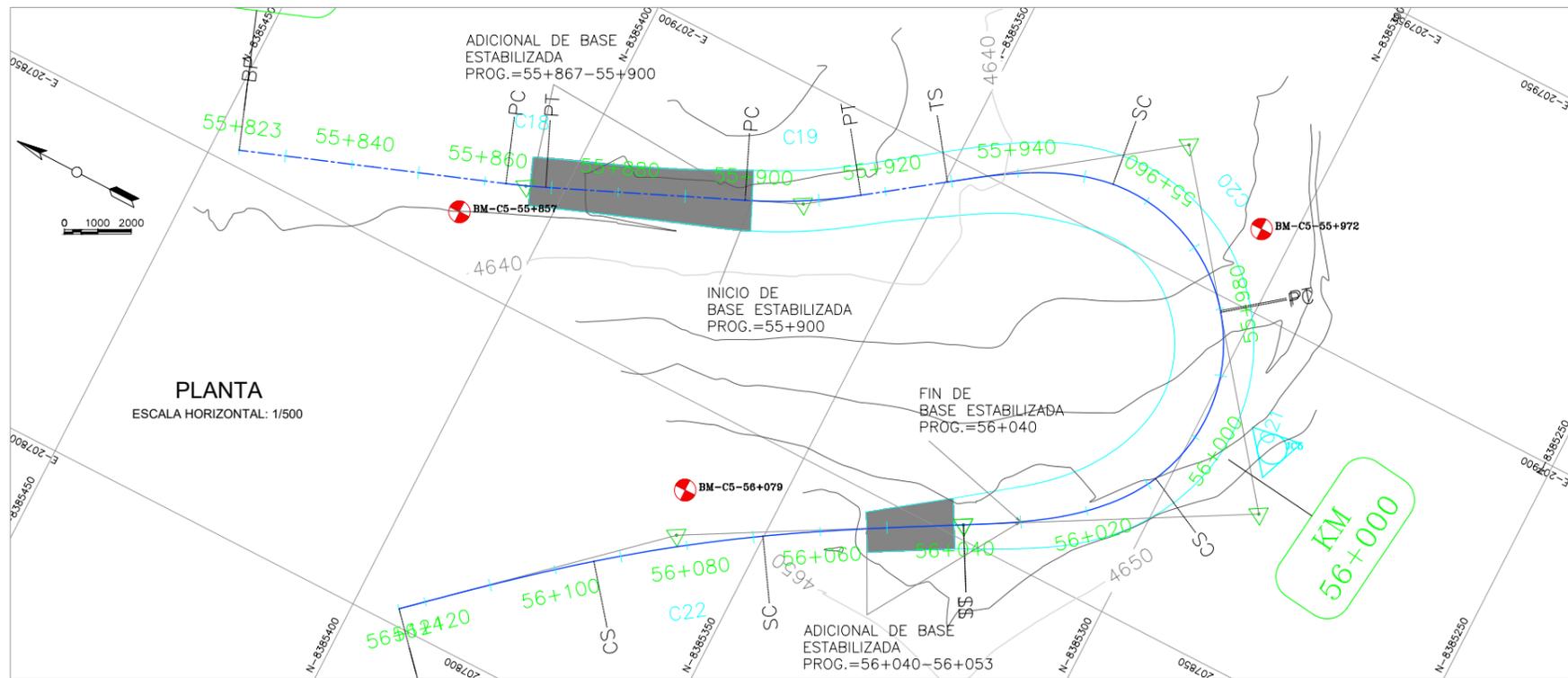
HOJA	ESCALA
A-1	V:1/100 H:1/1000
A-3	V:1/200 H:1/2000



**PERFIL LONGITUDINAL**  
ESCALA HORIZONTAL: 1/1000

<b>%</b>	PENDIENTE
<b>E</b>	EXTERNA DE LA CURVA VERTICAL
<b>K</b>	PARAMETRO DE LA CURVATURA VERTICAL
<b>L.C.</b>	LONGITUD DE LA CURVA VERTICAL EN PLANO HORIZONTAL (m)
<b>PCV</b>	PUNTO DE CURVA VERTICAL
<b>PIV</b>	PUNTO DE INFLEXIÓN VERTICAL
<b>PTV</b>	PUNTO DE TANGENCIA VERTICAL
BASE ESTABILIZADA	
TERRENO BASE GRANULAR DESGASTADA	

- NOTAS:
- 1 - MEDIDAS EN METROS.
  - 2 - PROGRESIVA EN Km.
  - 3 - SUBRASANTE A 0.36m ABAJO DE LA BASE ESTABILIZADA.
  - 4 - COORDENADAS TOPOGRAFICAS (WGS84).



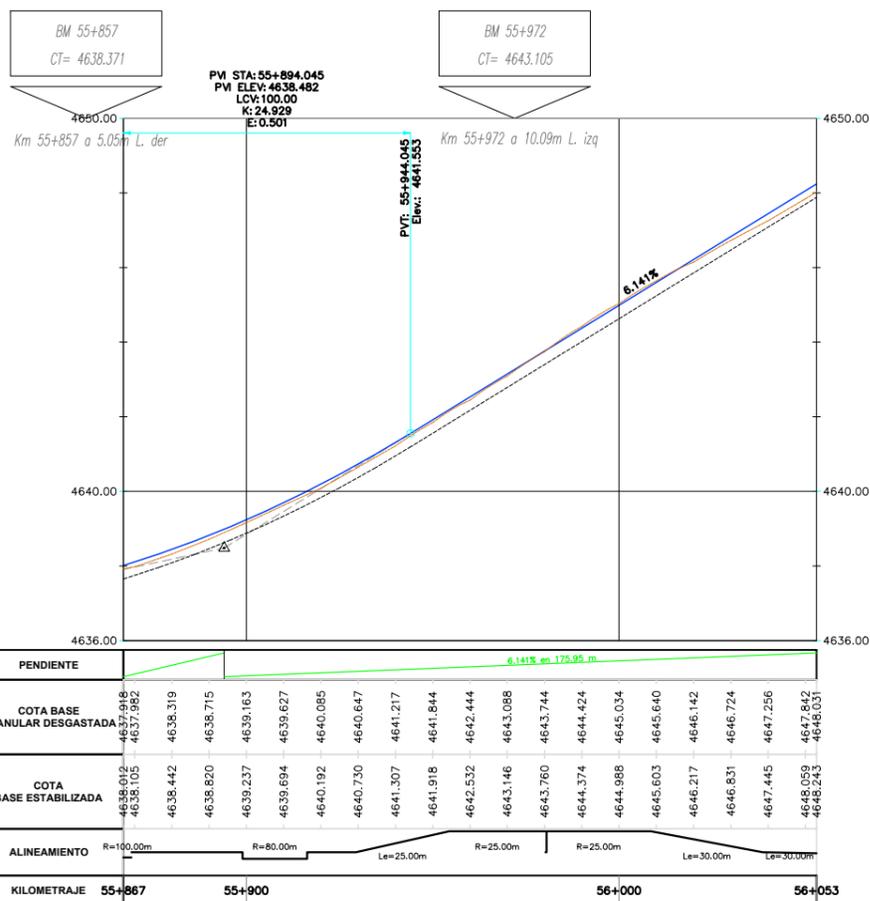
ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C18	S21°44'08"E	3°25'37"	100.00	2.992	5.98	0.045	55+863.169	55+866.160	55+869.150	8385405.446	207867.189
C19	S29°39'13"E	12°24'33"	80.00	8.697	17.33	0.471	55+898.968	55+907.665	55+916.294	8385367.367	207883.706
C20	S22°27'24"W	59°20'03"	25.00	14.241	25.89	3.771	55+954.383	55+968.624	55+980.273	8385320.132	207917.846
C21	S84°15'24"W	64°15'58"	25.00	15.703	28.04	4.522	55+980.524	55+996.226	56+008.565	8385294.885	207885.388
C22	N35°35'48"W	5°51'08"	250.00	12.779	25.54	0.326	56+068.565	56+081.344	56+094.100	8385360.896	207830.020

**LEYENDA**

TE	PUNTO DE INICIO DE LA ESPIRAL
EC/PC	PUNTO DE INICIO DE LA CURVA (FIN DE LA ESPIRAL)
CE/PT	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (INICIO DE LA ESPIRAL)
ET	PUNTO DE FIN DE LA ESPIRAL
PI	PUNTO DE INFLEXIÓN HORIZONTAL
NORTE/ESTE	COORDENADAS DEL PI
Delta	ANGULO DE DEFLEXIÓN
Le	LONGITUD DE LA CLOTOIDE (m)
Radio	RADIO DE LA CURVA CIRCULAR
Lc	LONGITUD DE CURVA CIRCULAR (m)
Tang	LONGITUD DE LA TANGENTE (PC a PI Y PI a PT)
EXT	DISTANCIA TOTAL EXTERNA
SA	SOBREAÑO
%P	PERALTE (%)
CURVAS DE NIVEL	
EJE DE REPLANTEO	
	NUMERO DE KILOMETRO
	PUNTO DE CONTROL GEODESICO
	POLIGONAL DE APOYO
	NUMERO DE BM EN PERFIL
	NUMERO DE BM EN PLANTA

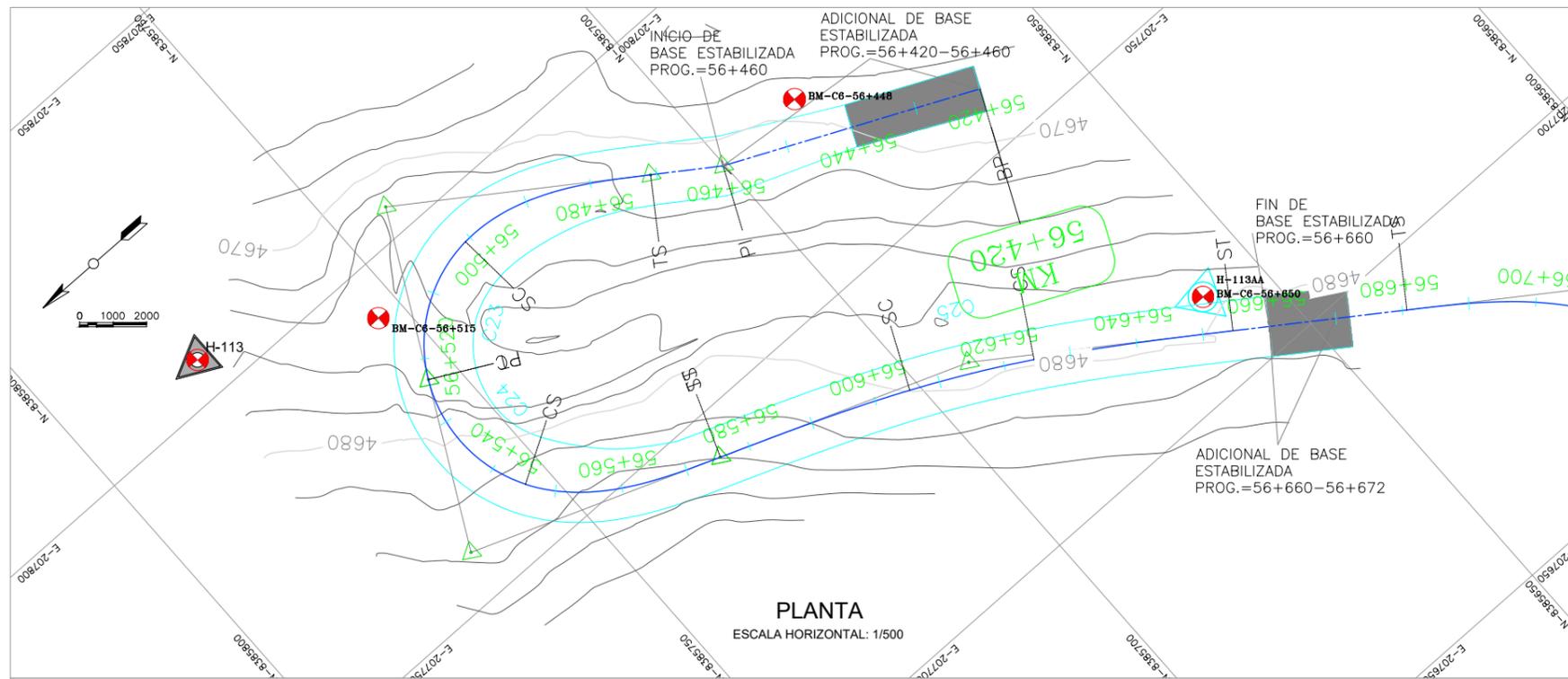
HOJA	ESCALA
A-1	1/500
A-3	1/1000

HOJA	ESCALA
A-1	V:1/100 H:1/1000
A-3	V:1/200 H:1/2000



**PERFIL LONGITUDINAL**  
ESCALA HORIZONTAL: 1/1000

- NOTAS:
- 1 - MEDIDAS EN METROS.
  - 2 - PROGRESIVA EN KM.
  - 3 - SUBRASANTE A 0.36m ABAJO DE LA BASE ESTABILIZADA.
  - 4 - COORDENADAS TOPOGRAFICAS (WGS84).



ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C23	N33°32'32"W	57°55'25"	22.00	12.176	22.24	3.144	56+500.913	56+513.089	56+523.154	8385748.741	207791.676
C24	S88°31'56"W	57°55'37"	22.00	12.176	22.24	3.145	56+523.155	56+535.331	56+545.397	8385759.984	207770.074
C25	S27°32'21"W	5°28'36"	200.00	9.566	19.12	0.229	56+605.400	56+614.966	56+624.518	8385692.803	207728.152
C26	N80°41'07"W	80°22'10"	35.00	29.561	49.09	10.813	56+710.697	56+740.259	56+759.792	8385600.854	207646.504
C27	N20°37'04"W	1°19'25"	250.00	2.888	5.77	0.017	56+844.225	56+847.112	56+850.000	8385705.302	207598.427

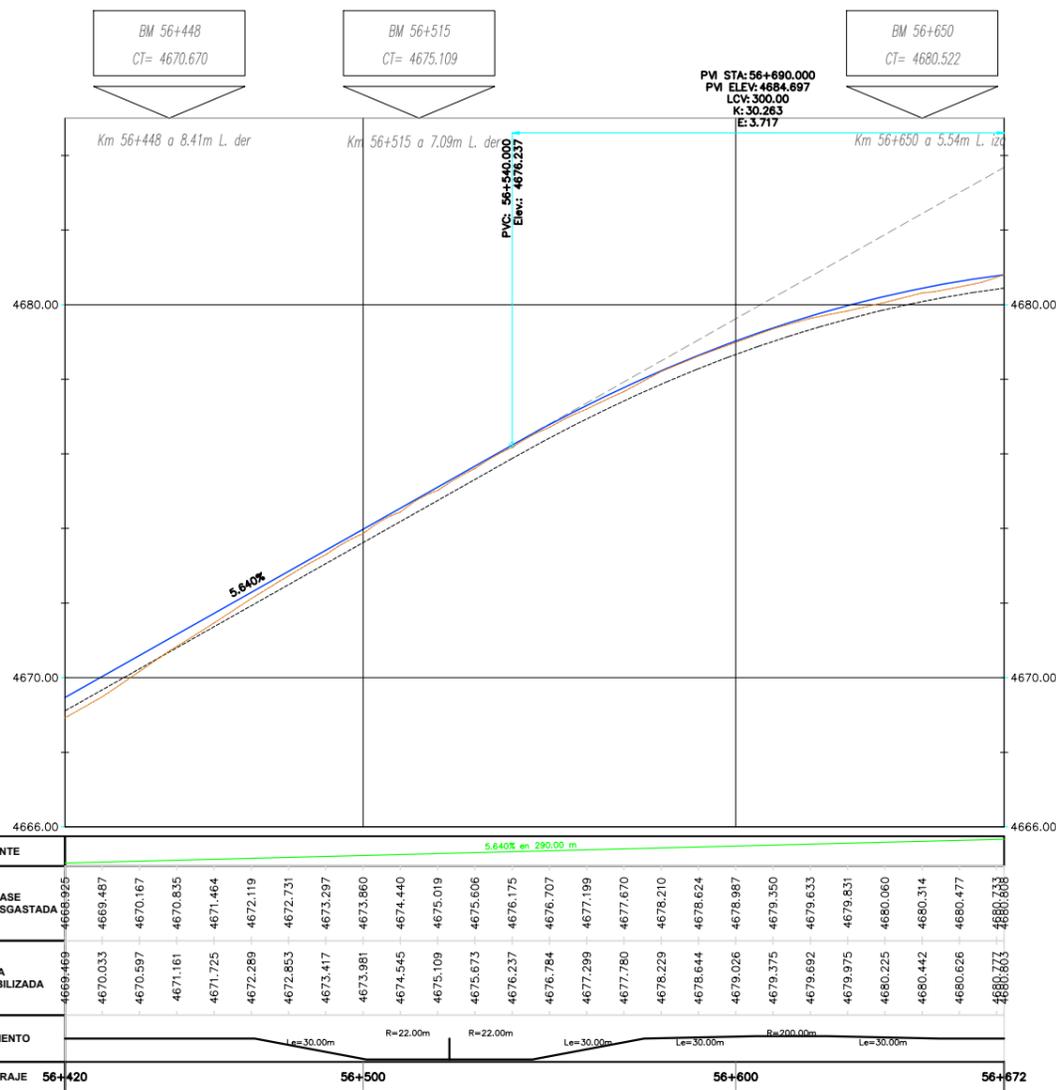
PLANTA  
ESCALA HORIZONTAL: 1/500

LEYENDA

TE	PUNTO DE INICIO DE LA ESPIRAL
EC/PC	PUNTO DE INICIO DE LA CURVA (FIN DE LA ESPIRAL)
CE/PT	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (INICIO DE LA ESPIRAL)
ET	PUNTO DE FIN DE LA ESPIRAL
PI	PUNTO DE INFLEXIÓN HORIZONTAL
NORTE/ESTE	COORDENADAS DEL PI
Delta	ANGULO DE DEFLEXIÓN
Le	LONGITUD DE LA CLOTOIDE (m)
Radio	RADIO DE LA CURVA CIRCULAR
Lc	LONGITUD DE CURVA CIRCULAR (m)
Tang	LONGITUD DE LA TANGENTE (PC a PI Y PI a PT)
EXT	DISTANCIA TOTAL EXTERNA
SA	SOBREANCHO
%P	PERALTE (%)
	CURVAS DE NIVEL
	EJE DE REPLANTEO
	NUMERO DE KILOMETRO
	PUNTO DE CONTROL GEODESICO
	POLIGONAL DE APOYO
	NUMERO DE BM EN PERFIL
	NUMERO DE BM EN PLANTA

HOJA	ESCALA
A-1	1/500
A-3	1/1000

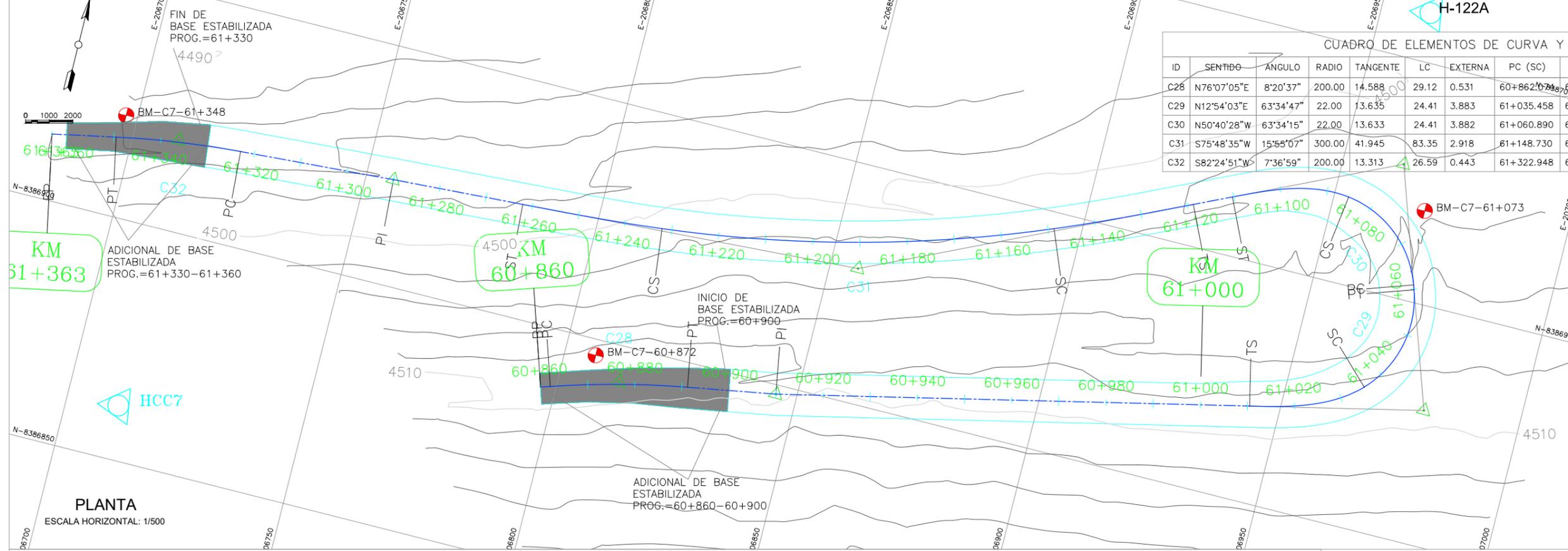
HOJA	ESCALA
A-1	V:1/100 H:1/1000
A-3	V:1/200 H:1/2000



PERFIL LONGITUDINAL  
ESCALA HORIZONTAL: 1/1000

- NOTAS:
- 1 - MEDIDAS EN METROS.
  - 2 - PROGRESIVA EN Km.
  - 3 - SOBRESANTE A 0.36m ABAJO DE LA BASE ESTABILIZADA.
  - 4 - COORDENADAS TOPOGRAFICAS (WGS84).

ID	SENTIDO	ANGULO	RADIO	TANGENTE	LC	EXTERNA	PC (SC)	PI	PT (CS)	NORTE PI	ESTE PI
C28	N76°07'05"E	8°20'37"	200.00	14.588	29.12	0.531	60+862.074	60+876.662	60+891.199	8386892.412	206812.681
C29	N12°54'03"E	63°34'47"	22.00	13.635	24.41	3.883	61+035.458	61+049.094	61+059.871	8386928.388	206979.642
C30	N50°40'28"W	63°34'15"	22.00	13.633	24.41	3.882	61+060.890	61+074.523	61+085.300	8386977.920	206962.694
C31	S75°48'35"W	15°55'07"	300.00	41.945	83.35	2.918	61+148.730	61+190.674	61+232.079	8386928.113	206855.952
C32	S82°24'51"W	7°36'59"	200.00	13.313	26.59	0.443	61+322.948	61+336.261	61+349.535	8386919.176	206709.662



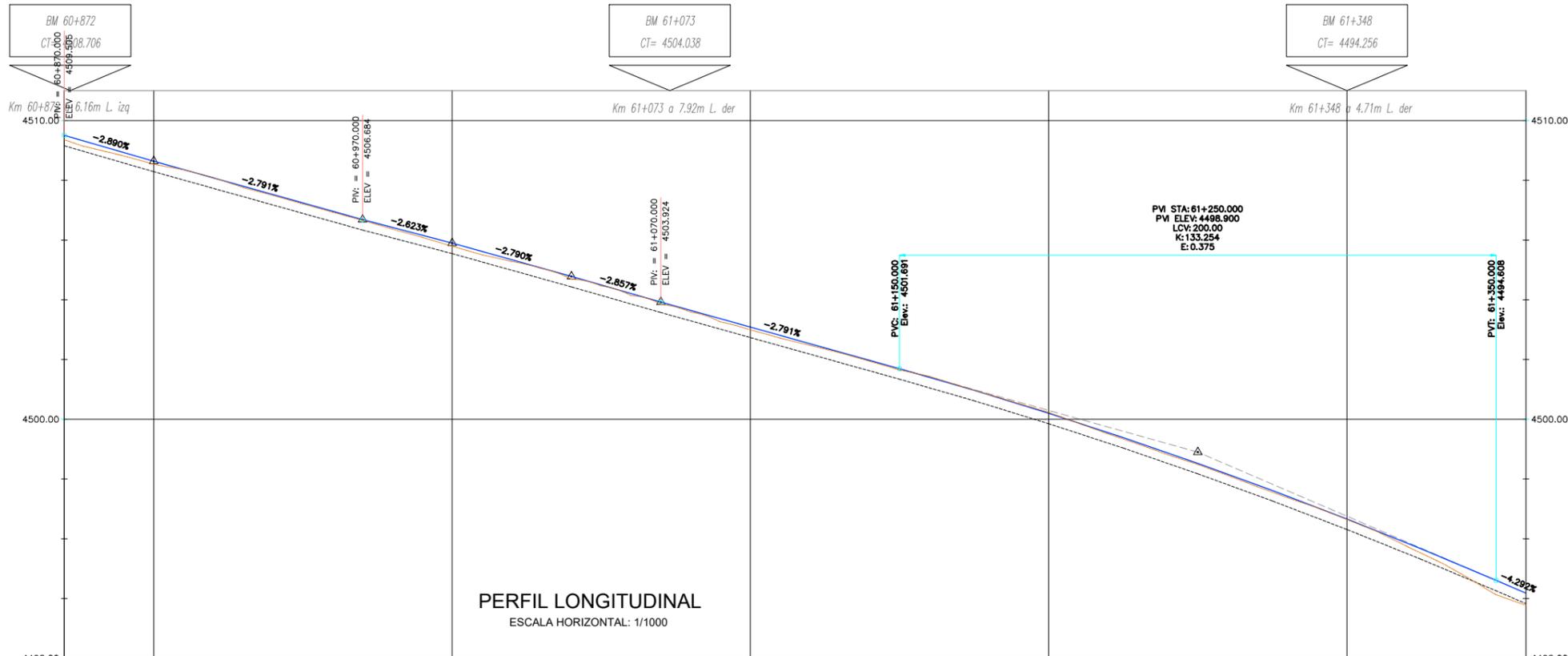
PLANTA  
ESCALA HORIZONTAL: 1/500

HOJA	ESCALA
A-1	1/500
A-3	1/1000

LEYENDA

TE	PUNTO DE INICIO DE LA ESPIRAL
EC/PC	PUNTO DE INICIO DE LA CURVA (FIN DE LA ESPIRAL)
CE/PT	PUNTO DE FIN DE LA CURVA (INICIO DE LA ESPIRAL)
ET	PUNTO DE FIN DE LA ESPIRAL
PI	PUNTO DE INFLEXION HORIZONTAL
NORTE/ESTE	COORDENADAS DEL PI
Delta	ANGULO DE DEFLEXION
Le	LONGITUD DE LA CLOTOIDE (m)
Radio	RADIO DE LA CURVA CIRCULAR
Lc	LONGITUD DE LA CURVA CIRCULAR (m)
Tang	LONGITUD DE LA TANGENTE (PC a PI Y PI a PT)
EXT	DISTANCIA TOTAL EXTERNA
SA	SOBRANCHO
%P	PERALTE (%)
	CURVAS DE NIVEL
	EJE DE REPLANTEO
	NUMERO DE KILOMETRO
	PUNTO DE CONTROL GEODESICO
	POLIGONAL DE APOYO
	NUMERO DE BM EN PERFIL
	NUMERO DE BM EN PLANTA

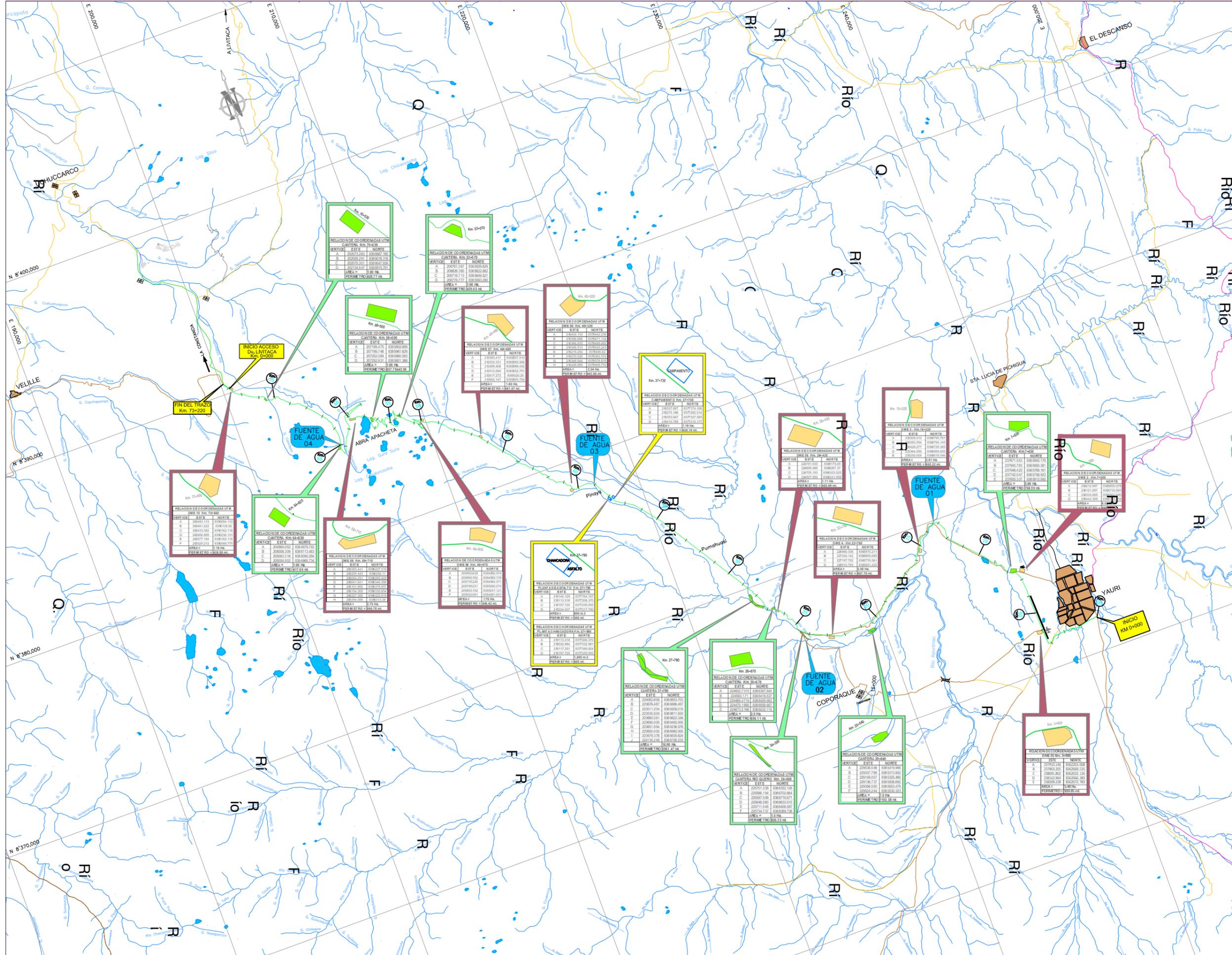
HOJA	ESCALA
A-1	V:1/100 H:1/1000
A-3	V:1/200 H:1/2000



PERFIL LONGITUDINAL  
ESCALA HORIZONTAL: 1/1000

PENDIENTE	COTA BASE GRANULAR DESGASTADA	COTA BASE ESTABILIZADA	ALINEAMIENTO	KILOMETRAJE
-2.890% en 30.00 m	4509.361	4509.505	R=200.00m	60+870
-2.791% en 70.00 m	4509.056	4509.216		60+900
-2.623% en 30.00 m	4508.814	4508.927		61+000
-2.790% en 40.00 m	4508.540	4508.638		61+100
-2.857% en 30.00 m	4508.353	4508.359		61+200
-2.791% en 180.00 m	4508.091	4508.080		61+300
-4.292% en 113.15 m	4498.487	4498.525		61+360

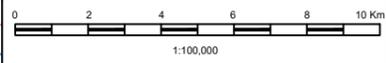
NOTAS:  
 1 - MEDIDAS EN METROS.  
 2 - PROGRESIVA EN km.  
 3 - SUBRASANTE A 0.35m ABAJO DE LA BASE ESTABILIZADA.  
 4 - COORDENADAS TOPOGRAFICAS (WGS84).



Ubicación

**Legenda**

Carretera de Estudio	DME	Canteras
Carretera Asfaltada	Fuentes de Agua	Coord. WGS-84
Carretera Afirmada		
Carretera no Afirmada		



Sistema : **WGS-84**

NOTA : LA ESCALA INDICADA CORRESPONDE AL FORMATO A-1, PARA EL FORMATO A-3 SE DEBE CONSIDERAR EL DOBLE.



Diseño: **IREVA**  
 Dibujo: **RETA**  
 Revisado: **EMDB**  
 Aprobado:

PROYECTO DE TESIS :  
**DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA  
 CARRETERA YAURI - DESVÍO LIVITACA (7 CURVAS) REGIÓN CUSCO - 2018**

PLANO :  
**UC-01**

ESCALA: **1/100,000**  
 FECHA: **JULIO 2018**  
 N° DE PLANOS: