

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LA PLATAFORMA DE
AFIRMADO Y CANTERA DE LA CARRETERA TOTORA PATA –
HUAYHUAHUASI, DEL DISTRITO DE COPORAQUE,
PROVINCIA ESPINAR – CUSCO**

TESIS

PRESENTADA POR:

HEDER FRANK MAMANI PANTI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA****ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LA PLATAFORMA DE AFIRMADO Y CANTERA
DE LA CARRETERA TOTORA PATA – HUAYHUHUASI, DEL DISTRITO DE
COPORAQUE, PROVINCIA ESPINAR – CUSCO

TESIS PRESENTADA POR:

HEDER FRANK MAMANI PANTI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE :
M.Sc. ERNESTO SAMUEL MACHACCA HANCCO

PRIMER MIEMBRO :
M.Sc. RONALD QUIZA VILCA

SEGUNDO MIEMBRO :
Ing. DANY EVANGELINA ALAVE CHATA

DIRECTOR / ASESOR :
Dr. HÉCTOR RAUL MACHACA CONDORI

ÁREA : Ingeniería Geotécnica

TEMA : Geología y Geotecnia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 DE DICIEMBRE DE 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto como profesional y como ser humano.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.
- A mi familia por incentivar me a concluir este proyecto de investigación y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo
- Agradezco de corazón a mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano Puno, a mis docentes, Un agradecimiento especial a mi asesor y jurados quienes orientaron, mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---------------|-------------|
| RESUMEN..... | 12 |
| ABSTRACT..... | 14 |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA..... | 17 |
| 1.1.1. Problema general..... | 18 |
| 1.1.2. Problemas específicos..... | 18 |
| 1.2. ANTECEDENTES..... | 19 |
| 1.3. JUSTIFICACION..... | 20 |
| 1.4. HIPÓTESIS..... | 21 |
| 1.4.1. Hipótesis general..... | 21 |
| 1.4.2. Hipótesis específico..... | 21 |
| 1.5. OBJETIVOS..... | 21 |
| 1.5.1. Objetivo general..... | 21 |
| 1.5.2. Objetivos específicos..... | 22 |

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

| | |
|-----------------------------------|----|
| 2. CONSIDERACIONES GENERALES..... | 23 |
| 2.1. MARCO TEÓRICO..... | 24 |
| 2.2. MARCO CONCEPTUAL..... | 25 |
| 2.2.1. Geotecnia..... | 25 |
| 2.2.2. Cantera..... | 25 |
| 2.2.3. Afirmado..... | 25 |

| | | |
|---------|------------------------------------------------|----|
| 2.2.4. | Agregado..... | 26 |
| 2.2.5. | Granulometría..... | 26 |
| 2.2.6. | Abrasión..... | 26 |
| 2.2.7. | Arcillas..... | 26 |
| 2.2.8. | Arena..... | 26 |
| 2.2.9. | Vías de comunicación..... | 27 |
| 2.2.10. | Explanación..... | 27 |
| 2.2.11. | Terraplén..... | 27 |
| 2.2.12. | La corona..... | 28 |
| 2.2.13. | El corte..... | 28 |
| 2.2.14. | Subrasante del camino..... | 29 |
| 2.2.15. | Afirmados de carreteras según MTC..... | 30 |
| 2.2.16. | Fuente de materiales..... | 36 |
| 2.2.17. | Estudio de suelos..... | 36 |
| 2.3. | MARCO GEOLÓGICO..... | 52 |
| 2.3.1. | Geología regional del distrito de Espinar..... | 52 |
| 2.3.2. | Rocas ígneas..... | 59 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | | |
|--------|---------------------------------------------------|----|
| 3.1. | LUGAR DE ESTUDIO..... | 61 |
| 3.2. | POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA..... | 62 |
| 3.2.1. | Población..... | 62 |
| 3.2.2. | Muestra..... | 62 |
| 3.3. | DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS, MATERIALES Y EQUIPOS..... | 63 |
| 3.3.1. | Herramientas para excavación de calicatas..... | 63 |

| | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2. | Materiales para realizar la extracción de muestras..... | 63 |
| 3.3.3. | Instrumentos, validación y confiabilidad de datos..... | 63 |
| 3.4. | FASES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 64 |
| 3.4.1. | Etapas preliminar..... | 64 |
| 3.4.2. | Trabajos de campo..... | 64 |
| 3.4.3. | Trabajos de laboratorio..... | 65 |
| 3.4.4. | Trabajos de gabinete..... | 65 |
| CAPÍTULO IV | | |
| EXPOSICIÓN DE RESULTADOS | | |
| 4.1. | IDENTIFICACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA PLATAFORMA DE AFIRMADO..... | 66 |
| 4.1.1. | Características Geológicas de la zona..... | 66 |
| 4.1.2. | Identificación Geotécnica de la plataforma existente..... | 68 |
| 4.2. | DETERMINACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LAS CANTERAS..... | 71 |
| 4.3. | PROPUESTA DE LA CANTERA..... | 73 |
| 4.3.1. | Gráfico comparativo según los resultados obtenidos de las canteras..... | 75 |
| | CONCLUSIONES..... | 76 |
| | RECOMENDACIONES..... | 77 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 78 |
| | ANEXOS..... | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1: Explanación de la vía..... | 27 |
| Figura 2: Corte y relleno de terraplén. | 28 |
| Figura 3: Capas de conformación de una carretera. | 29 |
| Figura 4: Símbolos para la Clasificación AASHTO. | 39 |
| Figura 5: Símbolos para la Clasificación SUCS | 40 |
| Figura 6: Se realiza el tamizado para determinar su clasificación. | 43 |
| Figura 7: Se realiza el ensayo de límite líquido. | 44 |
| Figura 8: Se realiza el ensayo de límite plástico. | 45 |
| Figura 9: Se pesa el material secado, para determinar la humedad natural. | 46 |
| Figura 10: Se realiza el ensayo de proctor modificado. | 48 |
| Figura 11: Verificación de la expansión. | 50 |
| Figura 12: Ensayo abrasión de los ángeles. | 51 |
| Figura 13: En la figura se observa la zona de estudio. | 62 |
| Figura 14: En la imagen se observa la Geología local. | 68 |
| Figura 15: Gráfico realizado según los resultados de la tabla N° 6. | 75 |
| Figura 16: Gráfico realizado según los resultados de la tabla N° 7. | 75 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1: Parámetros granulométricos..... | 31 |
| Tabla 2: Frecuencia de los ensayos..... | 34 |
| Tabla 3: Categorías de subrasante..... | 42 |
| Tabla 4: Resultados de los ensayos de laboratorio del material de la plataforma existente | 70 |
| Tabla 5: Conteo de tráfico vehicular..... | 71 |
| Tabla 6: Resultados de los ensayos de laboratorio de la cantera N° 1..... | 72 |
| Tabla 7: Resumen de los ensayos de laboratorio de la cantera N° 2..... | 73 |
| Tabla 8: Disponibilidad de canteras..... | 74 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| % | : Porcentaje |
| A.A.S.H.T.O | : American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte. |
| A.S.T.M | : American Society for Testing and Materials |
| CBR | : California Bearing ratio o “relación de soporte de california |
| Fm | : Formación. |
| GC | : Grava Arcillosa. |
| GM | : Grava Limosa. |
| GPS | : Sistema de posicionamiento global. |
| Gr | : Grupo. |
| I.P. | : Índice de Plasticidad |
| INGEMMET | : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. |
| Km | : Kilómetros. |
| L.L. | : Límite líquido. |
| L.P. | : Límite plástico. |
| m. | : Metros. |
| MDS | : Máxima densidad seca |

| | |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|
| MM | : Milímetro |
| MSN | : Metros sobre nivel del mar |
| MTC | : Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. |
| N.F. | : Nivel freático. |
| N° | : Número. |
| OCH | : Optimo contenido de humedad. |
| S.U.C.S. | : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos |
| U.T.M | : Universal Transverse Mercator. |
| WGS'84 | : World Geodetic System 84(Sistema Geodésico Mundial 1984). |

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de analizar los materiales que presenta la plataforma existente a nivel de afirmado y las canteras cercanas a esta, teniendo como objetivos identificar la geología y geotecnia de la plataforma a nivel de afirmado de la Carretera Totorá Pata - Huayhuahuasi; determinar las propiedades físicas, y mecánicas de los materiales de las canteras; asimismo, determinar la cantera adecuada para la conformación de la plataforma a nivel de afirmado de la Carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco, características que brindaron información valiosa para realizar el mantenimiento de la carretera mencionada. La metodología aplicada para esta investigación es de tipo analítico, descriptivo y transversal. Se evaluó detalladamente la importancia de la geología y geotecnia que presenta la carretera existente y los materiales de las canteras; se determinó que la identificación geológica de la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco, presenta formaciones del Grupo Puno y Grupo Barroso de edad Pliocena Pleistocena con depósitos volcánicos, tramos con presencia de depósitos aluviales, rocas intrusivas, las rocas están afectadas por meteorización, su composición predominante varía de diorita a granodiorita, lo que indica que son materiales estables para su conformación, el estado en el que se encuentra esta vía es accidentado y presenta erosión en mayor parte del tramo, en cuanto al espesor del afirmado es mínimo y en algunos tramos el afirmado está erosionado completamente. Los resultados de los ensayos realizados en los materiales de la cantera N° 1, se ajusta a lo establecido en las especificaciones técnicas, presenta Límite Líquido menor al 35%, índice de plasticidad (IP entre 4% - 9%), CBR es mayor al 40% y su Abrasión de los Ángeles es menor al 50% y los resultados de los materiales de la cantera N° 2 no son del todo favorables, ya que su índice de plasticidad es de 12 %, por lo tanto se descarta esta cantera. En la

determinación de la cantera adecuada se concluye que, la cantera sugerida es la N° 1, por su composición física, mecánica, fácil acceso y una gran cantidad de usos como material de relleno y material para nivel de afirmado. En esta investigación se desarrolló los siguientes ensayos: Contenido de humedad, clasificación granulométrica, constantes físicas, proctor modificado, CBR, y abrasión los ángeles, según norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Palabras clave: Afirmado, agregado, cantera, carretera, geología y geotecnia.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the purpose of analyzing the materials presented by the existing platform at the affirmative level and the quarries near it, with the objective of identifying the geology and geotechnics of the platform at the affirmed level of the Totora Pata - Huayhuahuasi Highway ; determine the physical and mechanical properties of quarry materials; also, determine the appropriate quarry for the conformation of the platform at the level of the Totora Pata - Huayhuahuasi Highway of the Province of Espinar - Cusco, characteristics that provided valuable information to perform the maintenance of the aforementioned road. The methodology applied for this research is analytical, descriptive and transversal. The importance of the geology and geotechnics of the existing road and quarry materials was evaluated in detail; it was determined that the geological identification of the Totora Pata - Huayhuahuasi highway of the Province of Espinar - Cusco, presents formations of the Puno Group and Barroso Group of Pliocena Pleistocena age with volcanic deposits, sections with presence of alluvial deposits, intrusive rocks, the rocks are affected by weathering, its predominant composition varies from diorite to granodiorite, indicating that they are stable materials for its conformation, the state in which this route is found is rugged and presents erosion in most of the section, in terms of the thickness of the affirmed It is minimal and in some sections the statement is eroded completely. The results of the tests carried out in the materials of quarry No. 1, conform to what is established in the technical specifications, presents a Liquid Limit of less than 35%, plasticity index (IP between 4% - 9%), CBR is higher at 40% and its Abrasion of the Angels is less than 50% and the results of the materials of the quarry No. 2 are not entirely favorable, since its plasticity index is 12%, therefore this quarry is discarded. In the determination of the appropriate quarry it is concluded that, the suggested quarry is No. 1, due to its physical, mechanical

composition, easy access and a large number of uses as filler material and material for affirmative level. In this investigation the following tests were carried out: Moisture content, granulometric classification, physical constants, modified proctor, CBR, and abrasion of the angels, according to the norm of the Ministry of Transportation and Communications.

Keywords: Affirmed, aggregate, quarry, road, geology and geotechnics.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La importancia del estudio geológico y geotécnico para el afirmado de la plataforma de carreteras es determinante, para evitar problemas geotécnicos de la infraestructura vial, los problemas típicos que atiende la geotecnia vial son la capacidad de soporte de subrasantes, estabilización, sustitución o reforzamiento; análisis de estabilidad de laderas y taludes, diseño de obras de estabilización de muros anclados y muros de contención, análisis de estabilidad y diseño de rellenos, análisis de compresibilidad, consolidación y asentamiento de rellenos, licuación de suelos y diseño de estructuras, como cimentaciones de puentes y pantallas de pilotes y otros.

La geotecnia es la especialidad que se encarga de atender las necesidades y problemas de la infraestructura vial relacionados con el suelo y las rocas como medio de soporte de las obras viales; la investigación analiza el suelo y las rocas por debajo de la superficie para conocer los principios de la mecánica, así como conceptos relacionados a la geología; el mejoramiento de la plataforma de afirmado de la carretera se efectuó verificando todos los controles de calidad en campo como también los

controles de los ensayos de laboratorio; en la explotación de la cantera se incrementa la producción para satisfacer la etapa de la construcción.

Asimismo, el mantenimiento de la estructura durante la etapa de la ejecución de la carretera tiene características geológicas y geotécnicas del comportamiento del terreno natural. Los ensayos realizados son (Humedad Natural, Clasificación Granulométrica, constantes físicas, Proctor Modificado, CBR y Abrasión los Ángeles), estos ensayos se realizaron en el laboratorio ICASEG EIRL. Un diseño adecuado para la identificación de la plataforma a nivel de afirmado y la explotación de las canteras de agregados permitió la extracción incrementándose la productividad y satisfaciendo las necesidades de la etapa de construcción de la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi, bajo todos los controles de calidad tanto en campo, laboratorio e impacto ambiental.

En los últimos años la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi se encuentra en mal estado, esto debido a que no se realizan los mantenimientos adecuados en su debida oportunidad, la vía existente se encuentra en un terreno accidentado, sinuoso y ondulado. Todo esto ocasiona el desgaste, erosión y deterioro de la vía existente, debido a la vulnerabilidad que presenta el terreno.

Debido al mal estado de la carretera mencionada se genera problemas tanto en el aspecto económico, social y cultural, ya que dificulta el crecimiento y desarrollo de la población como también de las localidades aledañas.

1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En el Perú, las vías terrestres ocupan un lugar primordial en la comunicación de regiones y poblados respectivamente, con lo cual se proporciona el intercambio de bienes y servicios para ofrecer al usuario la comodidad y la seguridad adecuada ya que a través

de las carreteras se desarrolla el crecimiento económico y el bienestar social de cada región.

Cabe mencionar que las carreteras se relacionan con cada fase de nuestras actividades diarias, tanto que es casi imposible imaginar cómo sería la vida sin ellos; los caminos nos sirven para trasladarnos de un lugar a otro, nos enlaza con amigos, con familiares, con zonas de interés.

El problema que presenta en la actualidad la carretera existente del tramo Totora Pata – Huayhuahuasi es que se encuentra en mal estado debido a la demasiada transitabilidad de vehículos, vulnerabilidad de la que presenta la zona, además no se realiza el adecuado mantenimiento de esta vía, esto debido a que no se tiene un estudio de canteras cercanas a la zona.

Por tal motivo nos hacemos las siguientes preguntas.

1.1.1. Problema general

¿Qué características presenta la geología y geotecnia de la plataforma a nivel de afirmado y las canteras para la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar - Cusco?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Qué características presenta la geología y geotecnia de la plataforma a nivel de afirmado de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar - Cusco?
- ¿Cuáles son las propiedades de los materiales de las canteras para la construcción de la plataforma a nivel de afirmado de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi

de la Provincia de Espinar - Cusco?

- ¿Cuál es la cantera adecuada para la conformación de la plataforma a nivel de afirmado de la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar - Cusco?

1.2. ANTECEDENTES

En el contexto mundial, se puede apreciar que poseen no solo caminos y carreteras asfaltadas, si no también cuentan con carreteras sin pavimentar, lo cual permite que se construya y realicen el mejoramiento de sus caminos sin pavimentar, lo cual es de suma importancia realizar la evaluación de las canteras, ya que de estas depende el buen estado de los caminos, para así de esta manera poder tener un mejor traslado de personas, productos agrícolas, productos de primera necesidad y también de animales.

El último antecedente que se tiene respecto a los trabajos realizados en el tramo Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco, se remonta a Abril del año 2015 en el que se realizaron trabajos de reposición de pavimento a nivel de afirmado, evaluación de canteras, estudio de fuentes de agua, levantamiento topográfico y evaluación de obras de arte. Estos trabajos fueron ejecutados por Provías Descentralizado y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

En la actualidad el tráfico vehicular está aumentando de manera notable debido a la importancia de su uso, por lo tanto es necesario realizar estudios de canteras que permita la construcción de carreteras para que estas brinden desarrollo económico y bienestar social en la población.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación permitirá obtener nueva información acerca de las características físicas y mecánicas de la vía existente y de las canteras, mediante la ejecución de estudios y ensayos de laboratorio para poder determinar la clasificación granulométrica, límites de consistencia, proctor modificado y su capacidad portante (CBR) para que el proyecto sea garantizado.

Con un diseño adecuado para la identificación de la plataforma de afirmado y la explotación de las canteras de agregados se optimizará la extracción de los materiales, incrementando la productividad y satisfaciendo las necesidades de la etapa de construcción de la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi, bajo todos los controles de calidad tanto en campo, laboratorio e impacto ambiental.

En los últimos años la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi se encuentra en un mal estado, esto debido a que no se realizan los mantenimientos adecuados de este tramo y también la vía existente se encuentra en un terreno accidentado, sinuoso y ondulado. Todo esto ocasiona problemas en la parte socio económico, ambiental, cultural de las localidades aledañas.

Por lo tanto existe la urgencia de realizar el mejoramiento de la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi, para que la población aledaña pueda realizar sus trabajos sin ninguna dificultad, a la vez para que no afecte la economía de cada familia y cono también para que se trasladen a las localidades que se encuentran en este tramo.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

Con la identificación del material de la plataforma a nivel de afirmado y las canteras, se determinará las características geológicas y geotécnicas de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.

1.4.2. Hipótesis específico

- Con la caracterización de la geología y la geotecnia se determinará las propiedades físicas y mecánicas de la plataforma a nivel de afirmado de la Carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.
- Con los análisis de los materiales de las canteras se determinará las propiedades físicas y mecánicas para la conformación de la Carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.
- Con los resultados obtenidos se propondrá la cantera adecuada para el mantenimiento de la Carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Determinar las propiedades de los materiales de la plataforma a nivel de afirmado y las canteras para la Carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar la geología y geotecnia de la plataforma a nivel de afirmado de la Carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de las canteras para la conformación de la plataforma a nivel de afirmado de la Carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.
- Proponer la cantera adecuada para la conformación de la plataforma a nivel de afirmado de la Carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2. CONSIDERACIONES GENERALES

Cuando escuchamos el término carretera nos imaginamos varias bandas de asfalto rodeadas de muros o barandillas de metal, con carriles bien delimitados de pintura blanca acompañados de señales que nos ayudan a mantener la seguridad.

Sin embargo, existen lugares en el mundo donde hay carreteras sin asfaltar. Por lo cual es de suma importancia realizar la evaluación de las canteras, ya que de estas depende el buen estado de los caminos, para así de esta manera poder tener un mejor traslado de Personas, productos agrícolas, productos de primera necesidad y también de animales. (Hoek, 1991)

La importancia del estudio de la estabilidad de taludes no es recomendable realizar a nivel general, sino talud por talud, ya que las inestabilidades suelen ir asociadas a la presencia de discontinuidades concretas con orientaciones determinadas. El coeficiente de seguridad de un talud bien calculado tiene una gran probabilidad que no se produzca fallas o deslizamientos. (Eberhardt, 2003)

2.1. MARCO TEÓRICO

Stead y Sciences (2001) presenta alternativas de diseño para la determinación de espesores de las diferentes vías de baja intensidad. Hace referencia a los métodos de AASHTO 93 y NAASRA (antes AUSTROADS), métodos que para la presente guía son utilizados en caminos no pavimentados y dichos espesores del paquete estructural pueden ser mejorados con adición de cal o cemento, recomendando que durante las épocas de lluvia el paquete estructural sea impermeabilizado con tratamientos superficiales consiguiendo así una alternativa funcional y económica. Además, se indica los diferentes tipos de tratamientos superficiales a emplazar y un análisis de costos para las partidas que se desarrollan en la construcción y mantenimiento de los caminos de baja intensidad para este País.

Chávez, García y Montalva (2014) resalta que la capital se verá dinamizado principalmente por las inversiones en proyectos, 27 inmobiliarios, comerciales y obras de desarrollo urbano tendrán como consecuencia el incremento significativo de la demanda de agregados. Ante tal positivismo, es que se ha optado por valorar la viabilidad técnica, económica y financiera de una planta procesadora de agregados en el cauce del río Rímac que abastezca parte de la demanda proveniente Lima Metropolitana y Callao, teniendo en cuenta el análisis estratégico, estudio de mercado, legal, organizacional y ambiental de la misma.

La explotación de canteras de áridos se trata de una actividad necesaria para el progreso económico, industrial y social, con futuro y que debe compatibilizarse con el desarrollo sostenible. Si el sector de los áridos es capaz de integrarse en unidades de mayor tamaño será posible abastecer la demanda con menor número de explotaciones, mejor gestionadas, con mayor vida operativa, mayor rentabilidad y una disminución del

impacto que este tipo de actividad causa sobre el medio ambiente y el territorio.
(Villanueva, 2008)

Carlotto, Cárdenas y Fidel (2009) considera la mayor cantidad de plataforma vial ya existente con el objetivo de evitar el incremento de los volúmenes de corte y relleno, pero manteniendo una pendiente apropiada para la circulación de los vehículos motorizados.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Geotecnia

“La geotecnia se refiere a la aplicación de principios geológicos y de ingeniería en el comportamiento de suelos, además del estudio de las propiedades físicas, mecánicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra”. (Sanabria, Brito y Rodrigues, 2010)

2.2.2. Cantera

Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras. (MTC, Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos, 2012)

2.2.3. Afirmado

Consiste en una capa de material granular natural procesada debidamente compactada, con una gradación específica la cual soporta directamente esfuerzos y cargas del tránsito. Debe tener la cantidad adecuada de material fino cohesivo que permita mantener juntas las partículas. Funciona como una superficie de rodadura en carreteras

no pavimentadas y en caminos. (MTC, Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos, 2012)

2.2.4. Agregado

Material granular de composición mineralógica como la grava, arena, escoria, roca triturada que es usada para mezclar en distintos tamaños. (MTC, Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos, 2012)

2.2.5. Granulometría

Representación de la distribución de los tamaños que posee el agregado grueso mediante el proceso de tamizado según especificaciones técnicas. (MTC, Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos, 2014)

2.2.6. Abrasión

Desgaste mecánico de agregados y rocas producto de la fricción y/o impacto. (MTC, Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos, 2014).

2.2.7. Arcillas

Partículas finas con tamaños de grano menor a (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de las rocas y minerales. (MTC, Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos, 2014)

2.2.8. Arena

Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm) y son retenidas por la malla N° 200. (MTC, Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos, 2014)

2.2.9. Vías de comunicación

Una vía es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. En el Perú para el desarrollo de una vía de comunicación, la primera condición que presenta es su difícil, variada y accidentada geografía. (Chávez;García y Montalva, 2014)

2.2.10. Explanación

Es el movimiento de tierras, conformado por cortes y rellenos (terraplén), para obtener la plataforma de la carretera hasta el nivel de la subrasante del camino. (MTC, Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos, 2014)



Figura 1: Explanación de la vía.

2.2.11. Terraplén

Es la parte de la explanación situada sobre el terreno preparado. También se conoce como relleno. La base y cuerpo del terraplén o relleno será conformado en capas

de hasta 0.30m y compactadas al 90% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado. (MTC, Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos, 2014).

2.2.12. La corona

Es la parte superior del terraplén tendrá un espesor mínimo de 0.30m y será conformada en capas de 0.15m, compactadas al 95% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado

2.2.13. El corte

Es la parte de la explanación constituida por la excavación del terreno natural hasta alcanzar el nivel de la Subrasante del Camino.

El fondo de las zonas excavadas se preparará mediante escarificación en una profundidad de 0.15m, conformando y nivelando de acuerdo con las pendientes transversales especificadas en el diseño geométrico vial; y se compactará al 95% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado. (MTC, Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos, 2014)



Figura 2: Corte y relleno de terraplén.

2.2.14. Subrasante del camino

La Subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La sub rasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento.

La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo Proctor modificado (MTC EM 115).

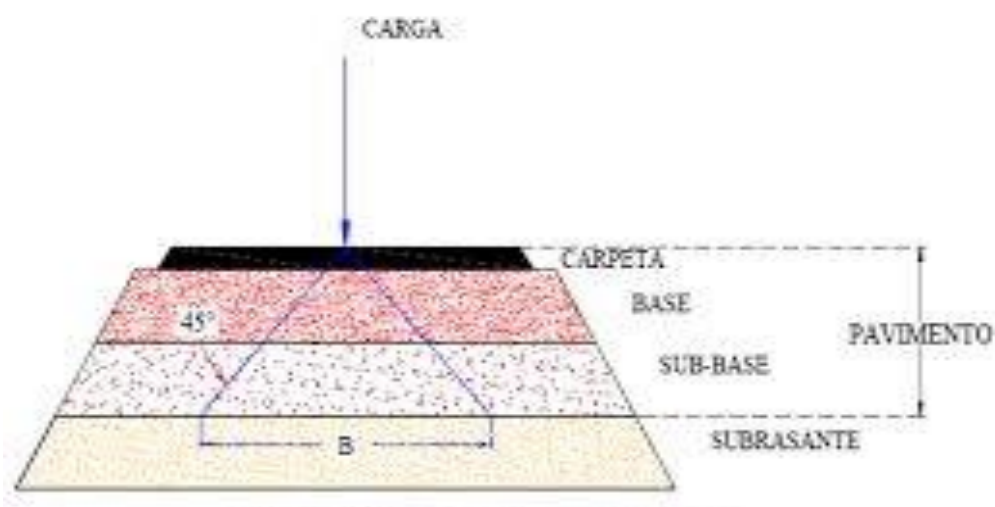


Figura 3: Capas de conformación de una carretera.

2.2.15. Afirmados de carreteras según MTC

2.2.15.1. Afirmados

Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas de afirmado (material granular seleccionado) como superficie de rodadura de una carretera, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, con o sin adición de estabilizadores de suelos, que se colocan sobre una superficie preparada. Los materiales aprobados son provenientes de canteras u otras fuentes. Incluye el suministro, transporte, colocación y compactación del material, en conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en el Proyecto y aprobados por el Supervisor, y teniendo en cuenta lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental.

Generalmente el afirmado que se especifica en esta sección se utilizará como superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas.

2.2.15.2. Materiales

Para la construcción de afirmados, con o sin estabilizadores, se utilizarán materiales granulares naturales procedentes de excedentes de excavaciones, canteras, o escorias metálicas, establecidas en el Expediente Técnico y aprobadas por el Supervisor; así mismo podrán provenir de la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversas procedencias.

Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Para el traslado del material de afirmado al lugar de obra, deberá humedecerse y cubrirse con lona para evitar emisiones de material particulado, que pudiera afectar a los trabajadores y poblaciones aledañas.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, deberán ajustarse a alguna de la siguiente franja granulométrica.

Tabla 1: Parámetros granulométricos

| Tamiz | Porcentaje que pasa | | | | | |
|-----------------|---------------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | A-1 | A-2 | C | D | E | F |
| 50 mm (2") | 100 | — | | | | |
| 37,5 mm (1½") | 100 | — | | | | |
| 25 mm (1") | 90-100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 19 mm (¾") | 65-100 | 80-100 | | | | |
| 9,5 mm (3/8 ") | 45-80 | 65-100 | 50-85 | 60-100 | | |
| 4,75 mm (N.º 4) | 30-65 | 50-85 | 35-65 | 50-85 | 55-100 | 70-100 |
| 2,0 mm (N.º 10) | 22-52 | 33-67 | 25-50 | 40-70 | 40-100 | 55-100 |
| 425 µm (N.º 40) | 15-35 | 20-45 | 15-30 | 25.45 | 20-50 | 30-70 |
| 75 µm (N.º 200) | 5-20. | 5-20. | 5-15. | 5-20. | 6-20. | 8-25 |

Fuente: MTC 2007 Manual de Carreteras.

Además, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4-9% (MTC E 111)

- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1” (2,5 mm)

2.2.15.3. Equipo

Requerimientos de construcción

a) Preparación de la superficie existente

El material de afirmado se descargará cuando se compruebe que la plataforma sobre la cual se va a apoyar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva deberán ser corregidas.

b) Transporte y colocación del material

Se deberá transportar y depositar el material de modo, que no se produzca segregación, evitando los derrames de material y por ende la contaminación de fuentes de agua, suelos y flora cercana al lugar, ni cause daño a las poblaciones aledañas.

La colocación del material sobre la capa subyacente se hará en una longitud que no sobrepase los 1.500 m del lugar de los trabajos de mezcla, conformación y compactación del material.

c) Extensión, mezcla y conformación del material

El material se dispondrá en un cordón de sección uniforme, donde será verificada su homogeneidad. Si es necesario construir combinando varios materiales, se mezclarán formando cordones separados para cada material en la vía, que luego se unirán para lograr su mezclado. Si fuere necesario humedecer o airear el material, para lograr la humedad

de compactación, Se empleará el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje una humedad uniforme en el material. Después de mezclado, se extenderá en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos.

2.2.15.4. Compactación

Cuando el material tenga la humedad apropiada, se compactará con el equipo aprobado hasta lograr la densidad especificada. En áreas inaccesibles a los rodillos, se usarán apisonadores mecánicos hasta lograr la densidad requerida.

La compactación se efectuará longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior.

2.2.15.5. Aceptación de los trabajos

a) Calidad de los materiales

De cada procedencia de los materiales a utilizarse y para cualquier volumen previsto se tomarán, cuatro muestras para los ensayos y frecuencias.

Tabla 2: Frecuencia de los ensayos.

| Mat. o Prod. | Propiedades y Características | Método de ensayo | Norma ASTM | Norma AASHTO | Frecuencia (1) | Lugar de muestreo |
|--------------|-------------------------------|------------------------|------------------|--------------|-----------------------------|-------------------|
| Afirmado | Granulometría | MTC E 204 | C 136 | T27 | 1 cada 750 m ³ | Cantera (2) |
| | Límites de Consistencia | MTC E 111 | D 4318 | T89 | 1 cada 750 m ³ | Cantera (2) |
| | Abrasión Los Ángeles | MTC E 207 | C 131 | T96 | 1 cada 2.000 m ³ | Cantera (2) |
| | CBR | MTC E 132 | D 1883 | T193 | 1 cada 2.000 m ³ | Cantera |
| | Densidad-Humedad | MTC E 115 | D 1557 | T180 | 1 cada 750 m ² | Pista |
| | Compactación | MTC E 117 MTC E 124 | D 1556 D 2922 | T191 T238 | 1 cada 250 m ² | Pista |

Fuente: MTC 2007 Manual de Carreteras.

Notas: (1) O antes, sí por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico-mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad o característica. (2) Material preparado previo a su uso.

Los resultados deberán satisfacer las exigencias indicadas. Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los materiales que presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

b) Calidad del trabajo terminado

• Compactación

Las determinaciones de la densidad de la capa compactada se realizarán de acuerdo a lo indicado en los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo

de 6 determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar, con la aprobación del Supervisor.

Las densidades individuales (D_i) deberán ser, como mínimo el 100% de la densidad obtenida en el ensayo Próctor Modificado de referencia (MTC E 115).

$D_i \geq D_e$

La humedad de trabajo no debe variar en $\pm 2,0\%$ con respecto del Óptimo Contenido de Humedad, obtenido con el Próctor Modificado.

En caso de no cumplirse estos términos se rechazará el tramo.

Siempre que sea necesario, se efectuarán las correcciones por presencia de partículas gruesas, previamente al cálculo de los porcentajes de compactación.

La densidad de las capas compactadas, podrá ser determinada por cualquier método aplicable, de los descritos en las normas de ensayo MTC E 117, MTC E 124.

- **Espesor**

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e_d).

$e_m \geq e_d$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, cuando menos, igual al 95% del espesor del diseño, en caso contrario se rechazará el tramo controlado.

$e_i \geq 0,95 e_d$

Todas las áreas de afirmado donde los defectos de calidad y terminación sobrepasen las tolerancias de la presente especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor.

2.2.16. Fuente de materiales

La naturaleza y propiedades físicas de dichos materiales, así como las formas en que se presentan y su disponibilidad, serán los factores principales que determinarán los usos de estos, así como el grado de procesamiento que requerirán antes de su empleo.

Las técnicas de diseño y construcción han establecido especificaciones bastante precisas para el uso de estos materiales, tanto en la ejecución de los terraplenes y obras básicas de la carretera, como en las distintas capas del pavimento o en las obras de concreto, por lo tanto una de las tareas más importantes de los proyectistas será asegurar la existencia de "áridos o agregados" con calidad y en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de la obra o identificar fuentes de las cuales puedan ser extraídos materiales que una vez procesados satisfagan las especificaciones fijadas.

La mayor o menor disponibilidad de estos en las proximidades de la obra, así como la intensidad del procesamiento afectan con frecuencia los costos de construcción, por lo cual se justifica una exploración sistemática del área del proyecto, siempre que se puedan lograr reducciones razonables de las distancias de transporte y de los procesos de transformación de los materiales.

2.2.17. Estudio de suelos

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Sí la información registrada y las muestras enviadas al

laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aún con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

2.2.17.1. Exploración de suelos y rocas

Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de:

Cambio en la topografía de la zona en estudio.

Por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular.

Delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados.

Zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0m; · zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ($h < 0.6$ m).

En zonas de corte, se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de subrasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos.

Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca (según Norma MTC E101).

2.2.17.2. Descripción de los suelos

Los suelos encontrados en la zona de estudio serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO (ver figura N° 4.) y SUCS (ver figura N° 5).

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200) | | | | | | | Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200) | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------|------------------|------------------------------|---------|---------|---------|--------------------------------------------------------------|---------|-------------------|-----------------------|
| | A-1 | | A-3 ^a | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 A-7-5 A-7-6 |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | |
| Tamizado, % que pasa | | | | | | | | | | | |
| No. 10 (2.00mm) | 50 máx. | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| No. 40 (425µm) | 30 máx. | 50 máx. | 51 mín. | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| No. 200 (75µm) | 15 máx. | 25 máx. | 10 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| Consistencia | | | | | | | | | | | |
| Límite líquido | ... | ... | ... | B | | | | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de plasticidad | 6 máx. | N.P. | ... | B | | | | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. ^b |
| Tipos de materiales característicos | Cantos, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena limoarcillosas | | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | |
| Calificación | Excelente a bueno | | | | | | | Regular a malo | | | |

^a La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^b El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que L-30.

Figura 4: Símbolos para la Clasificación AASHTO.

| | | | |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares. | | Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo. |
| | Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino. | | Arena arcillosa, mezcla de arena-arcilla. |
| | Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa. | | Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad. |
| | Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino. | | Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra. |
| | Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios. | | Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad. |
| | Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios. | | Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micácea o diatometacea, limo elástico. |

| | |
|--|--------------------------------------------------------------------|
| | Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa. |
| | Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico. |
| | Turba, suelo considerablemente orgánico. |

Figura 5: Símbolos para la Clasificación SUCS

2.2.17.3. Ensayos CBR

Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO y SUCS, para caminos contemplados en este manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará

referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm (Ensayo MTC EM 132).

Para la obtención del valor CBR de diseño de la subrasante, se debe considerar lo siguiente:

En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.

En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:

Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.

Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio.

Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según la siguiente tabla.

Tabla 3: Categorías de subrasante

| Categorías de subrasante | CBR |
|-----------------------------|-------------------------------|
| SO: Subrasante inadecuada | CBR < 3% |
| S1: Subrasante insuficiente | De CBR \geq 3% A CBR < 6% |
| S2: Subrasante regular | De CBR \geq 6% A CBR < 10% |
| S3: Subrasante buena | De CBR \geq 10% A CBR < 20% |
| S4: Subrasante muy buena | De CBR \geq 20% A CBR < 30% |
| S5: Subrasante excelente | CBR \geq 30% |

Fuente: MTC 2007 Manual de Carreteras.

2.2.17.4. Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos

Con las muestras extraídas de las calicatas efectuadas, se realiza el estudio de las propiedades y comportamiento mecánico del suelo, con fines de diseñar y construir con criterios de ingeniería obras civiles.

En el laboratorio de mecánica de suelos se logra tener los datos definitivos de las características del suelo, para su respectivo análisis y conclusión final.

2.2.17.5. Análisis Granulométrico

La determinación de los porcentajes de los apartados del suelo presentes en una muestra recibe el nombre de ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. El procedimiento comprende la preparación de la muestra seguida de dos tipos de operaciones. Los apartados arenosos se determinan tamizando y los correspondientes al limo y arcillas por su velocidad de sedimentación en agua. (Thompson y Troeh, 1988, pág. 57)

Este proceso consiste en separar las partículas de un Suelo, tamizándolo a través de una sucesión de mallas de abertura cuadrada y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, a fin de relacionar dichos retenidos, como porcentaje de la muestra total, para obtener la composición granulométrica; con este procedimiento se clasifican las partículas de un Suelo hasta un tamaño mínimo de 0.074 mm., correspondiente a la malla N° 200.

La composición granulométrica se representa gráfica y numéricamente, la distinción de los diferentes tamaños de las partículas que componen el Suelo.



Figura 6: Se realiza el tamizado para determinar su clasificación.

2.2.17.6. Límites de Atterberg

La plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar

esta característica, habiendo de recurrir al método descrito por el sueco ATTERBERG. Este método consiste en definir los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. (Llano, 1975, pág. 36)

El límite líquido y límite plástico nos da una idea de que tan compresible puede ser el Suelo.

- **Límite Líquido (LL)**

Lo fija el contenido de agua (expresado en % de peso seco) que debe tener un Suelo remodelado para que una muestra del mismo, que se haya practicado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierra sin resbalar en su apoyo.



Figura 7: Se realiza el ensayo de límite líquido.

- **Límite Plástico (LP)**

El límite plástico representa, el contenido de agua en el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo de aproximadamente 3.2 mm. de diámetro, al rodarlo sobre una superficie no absorbente.



Figura 8: Se realiza el ensayo de límite plástico.

- **Índice de Plasticidad (IP)**

Esta propiedad, es la diferencia aritmética entre el límite líquido y límite plástico del Suelo, se calcula con la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP (\%)$$

2.2.17.7. Contenido de Humedad

Esta propiedad física del Suelo es de gran utilidad en la construcción civil, y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los Suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. El contenido de

humedad de un Suelo es la relación de cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje. Se calcula con la siguiente expresión.

$$w = \frac{(P1 - P2)}{(P2 - P3)} \times 100 \quad [\%]$$

Dónde:

- **W** = contenido de humedad en (%).
- **p1** = peso de tara más el suelo húmedo (gr).
- **p2** = peso de tara más el suelo seco en horno (gr).
- **p3** = peso de la tara (gr).



Figura 9: Se pesa el material secado, para determinar la humedad natural.

2.2.17.8. Proctor Modificado

Es un ensayo de compactación de Suelo que tiene como finalidad obtener la humedad óptima de compactación de un Suelo para una determinada energía de compactación. La humedad óptima es aquella humedad (% de agua) para la cual la densidad del Suelo es máxima, es decir que la cantidad de agua hemos de añadir a un Suelo para poderlo compactar, la máxima con una energía concreta (UNI, 1975). Para encontrar este parámetro lo que hacemos es realizar cuatro (4) ensayos de un mismo Suelo, pero con diferentes humedades obtendremos cuatro (4) densidades y humedades diferentes, por lo tanto podemos usarlos para obtener la humedad óptima y máxima densidad seca mediante interpolación. (MTC, Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos, 2000)

- **Expresión de resultados**

Curva de compactación

- a. El peso específico húmedo (γ_w) se obtiene dividiendo el peso del material húmedo por el volumen interior del molde.

$$\gamma_w = \frac{\text{peso de material humedo}}{\text{volumen del molde}} [gr/cc]$$

- b. A partir de los datos del contenido de humedad calculamos, de cada muestra compactada se determina la máxima densidad seca.

$$w = \frac{wh}{ws} \times 100 [\%]$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{\frac{w}{100} + 1} [gr/cc]$$

Donde:

- **W** = humedad (%)
 - **Wh** = peso del agua (gr)
 - **Ws** = peso de los sólidos (seco) (gr)
 - **γ_s** = máxima densidad seca (gr/cc)
- c. Con los datos obtenidos de γ_s y w se construye una gráfica de curva de compactación según programa.



Figura 10: Se realiza el ensayo de proctor modificado.

2.2.17.9. Valor Relativo de Soporte “CBR”

El CBR de un Suelo es la carga unitaria correspondiente 0.1 o 0.2 (pulgada) de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un Suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada, el ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es

constante para un Suelo dado, sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el Suelo durante el ensayo. (Crespo, 2007)

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactas al contenido de humedad óptimo para un Suelo específico determinado, utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento.

El comportamiento de los Suelos varía de acuerdo a su grado de alteración (inalterado o alterado) y a su granulometría y características físicas (granulares, finos, y plásticos).

Determinación de la Expansión

Los especímenes son saturados por 96 horas, con una sobre carga igual peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso será menor que 4.50 kg. (Crespo, 2007)

Es necesario durante este período tomar registros de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión:

$$E[\%] = \left(\frac{\text{Expansion}}{\text{Altura de la muestra}} \right) \times 100$$

Las especificaciones establecen que los materiales de préstamo para:

- Sub-Base granular debe tener expansiones menores de 2%.
- Base granular debe tener expansiones menores de 1%.



Figura 11: Verificación de la expansión.

Calculo del CBR

Las lecturas, tanto de las penetraciones como de las cargas se representan gráficamente en un sistema de coordenadas según programa.

$$CBR = \left(\frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} \right) \times 100 \quad (\%)$$

Para calcular el CBR se toma como material de comparación la piedra triturada que sería el 100%.

2.2.17.10. Abrasión de los Ángeles

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida del servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos

de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima de la Sub rasante.
(MTC, Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos, 2000)

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir, dependen de la granulometría del agregado grueso. En las tablas N° 07 y N° 08 se muestra el método a emplear, así como la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos.

La gradación que se use deberá ser representativa de la gradación original de material suministrado para la obra y/o de cantera.

Calculo:

$$\% \text{ desgaste} = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) \times 100$$



Figura 12: Ensayo abrasión de los ángeles.

Los ensayos deben ser ejecutados en laboratorios competentes que cuenten con:

- **Personal calificado**

El personal calificado deberá trabajar en instalaciones que faciliten la correcta ejecución de los ensayos.

Aplicar métodos y procedimientos apropiados para la realización de los ensayos, siguiendo las Normas de Ensayos del MTC o normas internacionales como ASTM o AASHTO, incluyendo técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo.

- **Equipos debidamente calibrados.**

Equipos que garanticen la exactitud o validez de los resultados de los ensayos. Antes del inicio de los ensayos o de la puesta en servicio el proveedor debe presentar los respectivos certificados de calibración de sus equipos, emitidos por Laboratorios de Calibración acreditados.

- **Aseguramiento de calidad de los resultados de los ensayos.**

Informe de resultados de cada ensayo, presentado en forma de informe de ensayo o certificado de ensayo, que exprese el resultado de manera exacta, clara, sin ambigüedades y objetivamente, de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de ensayo.

2.3. MARCO GEOLÓGICO

2.3.1. Geología regional del distrito de Espinar

Mesozoico

2.3.1.1. Grupo Yura (Huambutio)

El Grupo Yura está representado por la Formación Hualhuani:

Formacion Hualhuani (Ki-hu)- Cretácico inferior

La secuencia está constituida por areniscas cuarzosas blanquecinas a blanco amarillentas, de grano fino a grueso, con intercalaciones de estratos delgados de areniscas cuarzosas de color gris a negra con capas de lutitas negras, estructuralmente están obliteradas; y se presenta rodeando al Batolito Abancay y de composición diorítica/granodiorítica.

2.3.1.2. Grupo Yuncaypata

Formación Arcurquina (Kis-ar)- Cretaceo superior

Es una secuencia calcárea de calizas gris a gris oscuras, dolomías encapas medianas, margas y lutitas en porcentajes reducidos, constituyendo conjuntos afines que se caracterizan por su composición, textura y secuencia. Se subdivide a su vez en tres miembros:

Inferior

Constituida por estratos submétricos de calizas micríticas con lentes y nódulos de chert.

Medio

Que consta de estratos submétricos de calizas con delgados niveles pelíticos.

Superior

Que consiste en estratos métricos de calizas micríticas.

Cenozoico

2.3.1.3. Grupo Puno (P-pu)- Paleógeno

Consiste en una potente secuencia clástica con niveles volcánicos, que yacen en discordancia angular en terrenos Mesozoicos. Las variaciones litológicas y texturales de esta unidad de ambiente continental son notables de un lugar a otro y puede ser un resultado de una deposición en cuencas intra montañosas separadas o parcialmente conectadas, sometido a la influencia de diferentes condiciones, medios y tipos de transporte, diversidades de la roca madre y de los procesos de sedimentación. Esto también sería la razón por las cuales sus componentes son areniscas, conglomerados, limo arcillitas y piroclastos cuyas características texturales y estructurales varían notablemente de un lugar a otro.

2.3.1.4. Grupo Tacaza (PN-Ta) Paleógeno Neógeno

Comprende también una secuencia constituida por depósitos de ambiente lagunar y volcánicos de naturaleza lávica piroclástica y aglomerádica. Este grupo se subdivide a su vez en dos formaciones que son: Formación Orcopampa y Formación Ichocollo:

a) Formación Orcopampa (PN-or) Mioceno inferior

Compuesto por lo general por estratos aglomerádicos de composición dacítica de colores variables que gradan de gris violáceo a verdoso; los clastos volcánicos de distribución irregular, tienen forma subredondeados a subangulosos y están distribuidos en una matriz piroclástica. Hacia arriba los clastos son masivos y se intercalan con piroclastos tobáceos y compactos; la composición dacítica de los clastos es muy común, tienen textura porfirítica y están compuestos esencialmente por hornblendas, piroxenos y biotitas.

b) Formación Ichocollo (PN-ich) Oligoceno

Está compuesto de pequeños afloramientos constituidos por flujos de composición andesítica y andesítica-basáltica, estos flujos están compuestos por biotitas y fenocristales de plagioclasas algo sericitados. Estas rocas lávicas están compuestas por andesitas basálticas (plagioclasas y piroxenos) que son de color gris oscuro, grano fino a medió y aspectos porfiríticos con matriz afanítica.

Formación Palca (Pm-pa)- Paleógeno mioceno

Localmente está constituido por conglomerados con clastos volcánicos subredondeados y algunos clastos calcáreos blanquecinos, abundan los granos de cuarzo lechoso; tobas conglomerádicas silicificadas, areniscas verdosas grisáceas de grano fino con cuarzo y biotita bien fina que aumenta hacia la base y tobas blanquecinas bien cohesionadas, en estratos de grosor variado con clastos lávicos marrón rojizo, en una matriz de grano fino que contiene biotita negra y escasos piroxenos. Este grupo descansa sobre los aglomerados del Grupo Tacaza y con techo erosionado.

2.3.1.5. Grupo Maure (Nm - ma)- Neógeno mioceno

Este grupo tiene 4 unidades: Maure 1, Maure 2, Maure 3 y Maure 4; las tres primeras unidades están compuestas por sedimentos lacustres y la última unidad de sedimentos piroclásticos.

Maure 1: Conglomerados polimícticos y areniscas arcósicas de coloración marrón rojiza.

Maure 2: Arenitas y limo arcillitas de coloración marrón rojizo.

Maure 3: Limo arcillitas y dolomitas de coloración beige a gris blanquecina con abundante contenido de diatomita.

Maure 4: Tobas cristalolíticas de composición riolítica o dacítica.

2.3.1.6. Formación Pisquicocha (NQ-pi)- Neógeno Cuaternario

Lavas afaníticas y porfiríticas de composición andesítica. Intercalación de tobas y brechas de composición riodacítica.

2.3.1.7. Grupo Barroso (QP-ba)- Cuaternario plógeno

Conformado por tobas y lavas que son parte de la prolongación de los depósitos volcánicos de los cuadrángulos de Condorama y Caylloma, también está constituido por tobas brechosas, tobas líticas y cineríticas; la base está compuesta esencialmente por flujos brechoides mayormente dacíticos, lavas andesíticas porfiríticas de color negro grisáceo.

- **Complejos volcánicos Jañuma:** Domos y flujos de andesitas
- **Unidad tobácea:** Intercalación de tobas cineríticas a líticas.
- **Unidad lávica porfirítica a afanítica:** Lavas dacíticas a andesíticas porfiríticas a afaníticas.
- **Volcánico Huarancante:** Lavas andesíticas afíricas y domos.
- **Volcánico Huacallani:** Tobas y aglomerados brechoides.
- **Calderas Caylloma:** Tobas cristalolíticas.

2.3.1.8. Formación Ocoruro (Nm-oc)

Compuesta de conglomerados gruesos, mal consolidados, generalmente con muy poca matriz y con bloques bien redondeados a subredondeados hasta de 2.5m de sección, en una matriz de arenisca marrón pálido, grano fino a grueso. Los conglomerados se hallan interstratificados con areniscas guijarrosas y la mayoría de las capas son lateralmente continuas; algunas presentan fases erosivas. El principal facie presente es un conglomerado estratificado horizontalmente. La Litología de los clastos involucrados es abundante, así tenemos caliza gris, sin fósiles, (Formación Arcurquina), diórta y cuarzo-monzonita. Con algunas cuarcitas areniscas rojas y lutita marrón rojiza. La posición estratigráfica de la formación no es clara, ya que su contacto basal no está expuesto. Al oeste de Ocoruro, el conglomerado está superpuesto por tobas de bloques del Grupo Tacaza.

2.3.1.9. Formación Casa Blanca (NQ-cb)

La Formación Casa Blanca es de naturaleza conglomerádica lacustrina, presenta una litología monótona con ligera variación relativa en los extremos laterales de la cuenca; donde la margen oriental contiene más tobas cineríticas que la margen occidental que es más arcillosa y conglomerádica; esto probablemente se explica como consecuencia de un levantamiento tectónico diferencial.

2.3.1.10. Depósitos Morrenicos (Qpl-mo)

Estos depósitos se encuentran bien expuestos ocupando áreas aproximadamente por encima de los 4000 m.s.n.m. en las partes altas de los grandes valles, así como también en las llanuras de la zona de estudio. Están constituidos por cantos angulosos a sub angulosos en matriz arenosa y arenas tufáceas.

2.3.1.11. Depósitos Fluvioglaciares (Qh-flg)

Estos depósitos se han formado por erosión de los depósitos morrénicos y del substrato constituido por rocas pre cuaternarias. Se trata de conos aluviales que descienden de las paredes laterales de los valles, constituyendo terrazas que rellenan los fondos de los valles y los depósitos de quebradas. Los depósitos fluvioglaciares están compuestos de gravas sub redondeadas, arenas gruesas y arcillas.

2.3.1.12. Depósitos Fluviales (Qh-fl)

De edad Cuaternario, estos materiales se hallan en los cauces antiguos y recientes, así como también en las laderas de los valles y quebradas, formando respectivamente terrazas y conos aluviales. Están constituidos por gravas, arenas redondeadas a sub redondeadas en matriz arenosa y areno arcillosa.

2.3.1.13. Depósitos Aluviales (Qh-al)

Este material se encuentra en los lugares más o menos planos (peneplanicies o pampas) circunscritas por lomadas o cadenas de montañas y en las partes correspondientes al fondo de los valles o ampliaciones debido a su conjunción, dando lugar a las llanuras aluviales. Estos depósitos se han formado por los cauces actuales de los ríos y quebradas, en épocas muy lluviosas, el agua erosionaba fuertemente los cerros escarpados todo este material que se trata de gravas y arenas gruesas, escombros de talud que descienden de las paredes de los valles.

2.3.2. ROCAS ÍGNEAS

2.3.2.1. Intrusivos

Las rocas plutónicas de la zona de estudio constituyen al Batolito de Apurímac y están representadas principalmente por fragmentos de granodiorita, diorita y monzonita, que a su vez han sido intruidas por rocas hipabisales de composición riolítica y dacítica, con las que está mayormente se asocia la mineralización. En algunos sectores es un poco complicado marcar el contacto entre los grandes cuerpos, debido posiblemente a la diferenciación magmática. Los cuerpos plutónicos intruyen a las rocas calcáreas del Albiano-Cenomaniano y cortan estructuras de la fase incaica que llega al Oligoceno Inferior, lo cual supone que los intrusivos que constituyen el Batolito de Apurímac podrían haberse emplazado entre el Terciario inferior-medio.

➤ **Tonalita:**

Es cuerpo intrusivo tiene color blanco a gris con fenocristales negros de hornblenda y biotita. La roca intruye a las areniscas de la Formación Hualhuani e infrayace a las tobas y lavas del Grupo Tacaza y Barroso.

➤ **Diorita:**

Es un cuerpo meteorizado por lo que el afloramiento presenta coloración amarillo ámbar claro a blanquecino, la roca tiene textura granular y está constituida por plagioclasas, hornblenda y algo de cuarzo.

➤ **Monzonita:**

Es de color gris blanquecino, con grano mediano a grueso y en sus contactos muestran incremento de sílice, feldespatos argilizados, fenos de hornblenda y biotitas

anhedrales débilmente alterada a clorita. Se observan también concentraciones de cuarzo de formas redondeadas y venillas que atraviesan la roca. Plutón de composición monzonítica y cuarzo monzonítica.

2.3.2.2. Unidad Ccallochua

Afloramientos Se encuentra en la provincia de Espinar y Canchis, en los distritos de Alto Pichihua san Pedro., ocupan un área aproximada de 150.34 Ha / 1.50Km². Con la predominancia de la Shoshonita de color gris.

2.3.2.3. Batolito de Accha

Esta unidad aflora fundamentalmente en las provincia de Acomayo y Paruro, con un área de 11671.25 Ha / 116.71 Km² con dominancia de Cuarzo monzonitas y andesita, en las proximidades de la zona se encuentran los macizos.

2.3.2.4. Plutones Menores

➤ **Plutón de Choquechambe.**

Ocupa un área aproximada de 6757.74 Ha /67.58 Km², se encuentran en la provincia de Espinar en los distritos de Espinar, Coporaque, Pichigua, en polígonos dispersos, hay una predominancia de tonalita y granodiorita.

➤ **Plutón de Ccello Coota**

Ocupa un área aproximada de 1068.48 Ha / 10.68Km², se encuentran en la provincia y distrito de Espinar, hay una predominancia de la monzonita.

(Usca, 2012) - (https://www.academia.edu/28892903/PROVINCIA_-ESPINAR)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El lugar de estudio está ubicado en la Región Cusco, Provincia del Espinar, Distrito de Coporaque, Ruta Vecinal, con Coordenadas 234367 E y 8369774 N; con una longitud total de 17.050 km, con un inicio en la progresiva 0+000, con cota 3871 m.s.n.m. culminando en la Progresiva 17+050, con cota 3962 m.s.n.m.

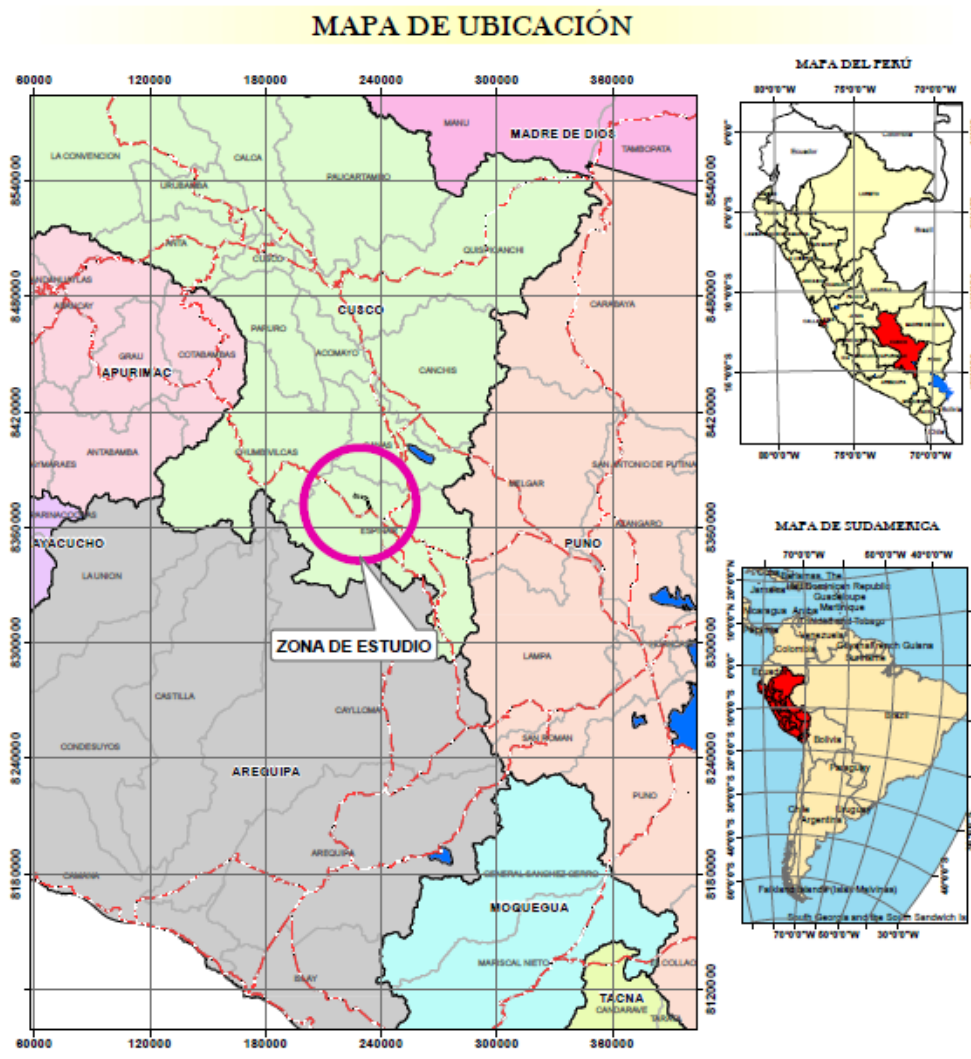


Figura 13: En la figura se observa la zona de estudio.

3.2. POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. Población

La población a investigar son las formaciones geológicas y las canteras de la ruta vecinal del distrito de Coporaque.

3.2.2. Muestra

Está comprendida en los agregados de la CANTERA N° 1 y N° 2. Del camino Vecinal, asimismo, los materiales de la Carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi, de la Ruta Vecinal del Distrito de Coporaque, Provincia de Espinar – Cusco.

3.3. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS, MATERIALES Y EQUIPOS

La metodología para evaluar la identificación geológica y geotécnica de la plataforma de afirmado de la Carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco, es un método analítico, descriptivo y transversal, que consiste en describir el tipo de formación geológica de las canteras y de tramos en construcción. Los materiales y/o herramientas usados son: Martillo de geólogo, sombrero, zapatos de seguridad, flexómetro, GPS, brújula, tablero, cámara fotográfica, plumones, libreta de campo y otros. Asimismo, Los equipos que usaremos son: equipos de los laboratorios de mecánica de suelos y otros. Las variables a analizar son: identificación geológica y geotécnica y afirmado de la Carretera.

3.3.1. Herramientas para excavación de calicatas

Este tipo de instrumentos fueron de gran ayuda para realizar las exploraciones de los puntos de investigación (calicatas), como son: barreta, pico, pala, balde, guantes y otros.

3.3.2. Materiales para realizar la extracción de muestras

Para realizar la extracción de muestras de los puntos de investigación (calicatas) y canteras, se utilizaron las siguientes herramientas como son: GPS, pala, bolsas plásticas, balde, costales y otros.

3.3.3. Instrumentos, validación y confiabilidad de datos

Para la recolección de muestras de las calicatas de las canteras y la carretera se realizó el respectivo trabajo de campo, trabajo de laboratorio realizando los diferentes ensayos de mecánica de suelos, los cuales determinaron las características físicas y mecánicas del material de la cantera, se hace mención de éstos a continuación

Ensayos según manual MTC

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107
- Contenido de humedad MTC E 108
- Limite plástico MTC E 110
- Limite líquido MTC E 111
- Índice de plasticidad MTC E 111
- Próctor Modificado MTC E 115
- CBR MTC E 132
- Abrasión Los Ángeles MTC E 207

3.4. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realiza en diferentes fases de estudio como:

3.4.1. Etapa preliminar

Esta etapa nos permitió preparar, evaluar, analizar y coordinar trabajos preliminares como también elaborar mapa topográfico y mapa de ubicación, con el software ARCGIS, para las guías respectivas.

Obtención de una visión preliminar del área de trabajo, cantera, carretera, paisaje, fisiografía, geología, suelo dominante, asimismo posibles reajustes del plan de trabajo.

3.4.2. Trabajos de campo

En esta etapa se realizó el respectivo muestreo de suelos mediante la escarificación de la plataforma existente y la excavación de calicatas y descripción de las características

del perfil y finalmente la obtención de muestras para su análisis en el laboratorio ICASEG EIRL. Tanto de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco. Como también de las canteras N° 1 y N° 2.

Se utilizó los materiales y herramientas descritas en el ítem de Materiales y Equipos, asimismo, nos permite conocer “in situ” los avances y posibles dificultades en el trabajo.

Toma de fotografías del paisaje, carretera y canteras.

3.4.3. Trabajos de laboratorio

Las muestras colectadas son llevadas al laboratorio de mecánica de suelos ICASEG EIRL para su respectivo análisis mediante los ensayos ya mencionados, donde se determinaron las características físicas y mecánicas del material de la cantera N° 1 y N°2 y los materiales de la plataforma a nivel de afirmado de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco. En esta etapa de laboratorio se realizaron los diferentes ensayos, descritas en el Ítem 3.3.3. Instrumentos, validación y confiabilidad de datos.

3.4.4. Trabajos de gabinete

En esta última fase se trabajó con la información recopilada en campo y los resultados físicos y mecánicos obtenidos de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, esta información nos permitió procesar los datos, generar el informe final del estudio con anexos cuadro e ilustraciones y además realizar los mapas correspondientes.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

4.1. IDENTIFICACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA PLATAFORMA DE AFIRMADO

4.1.1. Características Geológicas de la zona

Grupo Puno

La secuencia del Grupo Puno, consiste principalmente de areniscas rojizas rosadas y conglomerados. Las areniscas son de grano fino a grueso generalmente arcósicas, los constituyentes feldespáticos casi siempre están alterados y tienen coloración clara, los estratos de conglomerado son masivos y menores a 2 m. de espesor.

El Grupo Puno presenta afloramientos conspicuos de litología similar tanto en la base como en el techo; en la base está compuesto por estratos de areniscas con lentes de conglomerados con clastos volcánicos y de cuarcita subredondeados, en la parte superior los estratos gruesos son mayores a 2 m. y están compuestos de conglomerados gruesos con escasos horizontes limoarcillíticos de color rojizo a rosado.

El Grupo Puno es predominantemente arenisco de grano fino a grueso en estratos menores a 1 m. intercalados con limoarcillitas en estratos delgados y de color rojo oscuro a marrón.

Grupo Barroso

El Grupo Barroso tiene amplia distribución en el tramo mencionado, lo conforman tobas y lavas que son parte de la prolongación de los depósitos volcánicos. Sus afloramientos tienen forma irregular hacia el Norte, al parecer asociados a focos propios de emisión tales depósitos están orientados de Sur a Norte.

Se considera que el Grupo Barroso está en discordancia angular sobre el Grupo Tacaza, aunque los contactos entre ambos están casi siempre cubiertos.

En base a su posición estratigráfica y considerando algunas dataciones geocronológicas efectuadas en el cuadrángulo de Caylloma por (INGEMMET, 1980) se considera al Grupo Barroso de edad Pliocena Pleistocena, correlacionable con la unidad de similar denominación litológica y relaciones estratigráficas expuesta en los cuadrángulos adyacentes de Condoroma y Caylloma.

Depósitos fluvio glacial

De edad Cuaternario, estos materiales se hallan en los cauces antiguos y recientes, así como también en las laderas de los valles y quebradas, formando respectivamente terrazas y conos aluviales. Están constituidos por gravas, arenas redondeadas a sub redondeadas en matriz arenosa y areno arcillosa.

Depósitos aluviales

Este material se encuentra en los lugares más o menos planos (peneplanicies o pampas) circunscritas por lomadas o cadenas de montañas y en las partes correspondientes al fondo de los valles o ampliaciones debido a su conjunción, dando lugar a las llanuras aluviales. Estos depósitos se han formado por los cauces actuales de los ríos y quebradas, en épocas muy lluviosas, el agua erosionaba fuertemente los cerros escarpados todo este material que se trata de gravas y arenas gruesas, escombros de talud que descienden de las paredes de los valles.

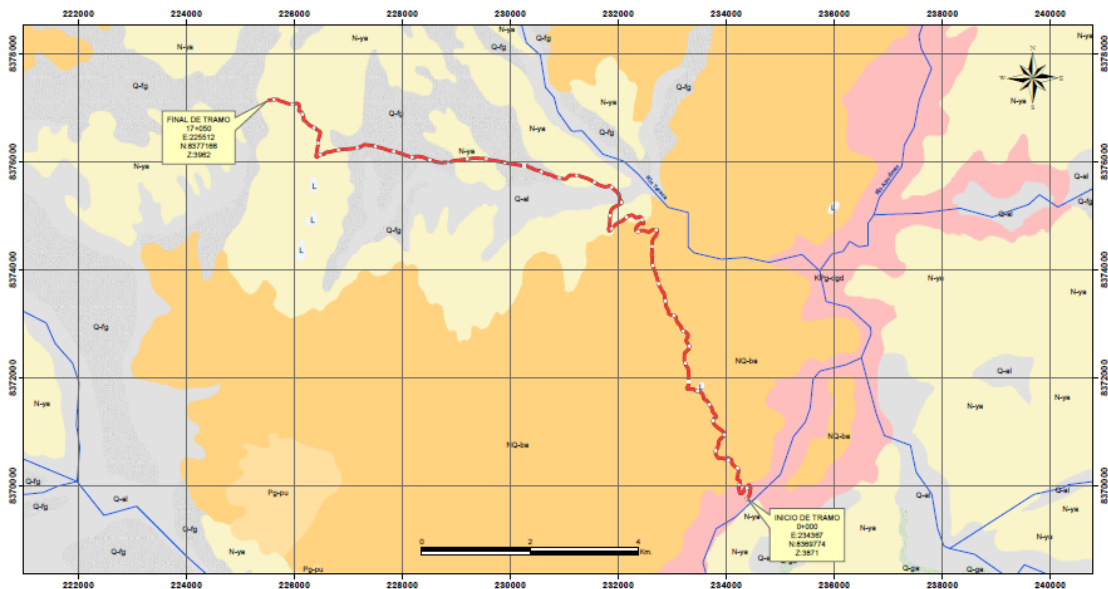


Figura 14: En la imagen se observa la Geología local.

4.1.2. Identificación Geotécnica de la plataforma existente

El ancho de la superficie de rodadura es variable entre 3.50m y 4.20m, tiene una longitud de 17.050 km. El TRAMO inicia en el km 0+000 en lugar denominado Puente Santo Domingo, con una pendiente pronunciada en un rango de 8% a 12%; y termina en Oquebamba en el km 17+050; El camino vecinal se encuentra en un terreno semi

accidentado, asimismo, podemos indicar que la vía en mayor parte de su longitud es un terreno ondulado y sinuoso.

a) Descripción de características de la plataforma existente

| PROGRESIVA | DETALLE |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Km 00+000 - Km 1+000 | En este tramo la capa de afirmado existente se encuentra completamente erosionado, así mismo en ciertos sectores hay deslizamiento de talud esto debido a la susceptibilidad del terreno. |
| Km 01+000 - Km 2+000 | Este tramo es ondulado y semi accidentado, la capa afirmado existente presenta erosión en un 80%, obras de arte obstruido, en este tramo se encuentra el sitio arqueológico CHOQUEKIRAW. |
| Km 02+000 - Km 3+000 | Este sector se encuentra erosionado y con presencia de rocas mayores a 2” y las cunetas se encuentran obstruidas. Por este sector es el acceso al sitio arqueológico LAUCA I. |
| Km 3+000 - Km 4+000 | Este tramo se encuentra con deterioro de las obras de arte por la erosión pluvial, así mismo la plataforma existente se encuentra erosionado y con presencia de desnivel, la cual se dirige a Totora Baja. |
| Km 4+000 - Km 5+000 | La superficie de rodadura se encuentra erosionado, en regular estado, con presencia de desnivel, el terreno es ondulado y las alcantarillas se encuentran semi-obstruidas. |
| Km 5+000 - Km 6+000 | Este sector se encuentra erosionado, presencia de desnivel en ciertos tramos, el terreno es ondulado y las alcantarillas se encuentran obstruidas debido a la falta de limpieza. |
| Km 6+000 - Km 7+000 | Este tramo se encuentra en regular estado, existe erosión y desnivel de la plataforma; las cunetas y obras de arte se encuentran semi obstruidas. |
| Km 7+000 - Km 8+000 | En este sector la capa de afirmado existente presenta erosión, fallas entre las que se pueden indicar deslizamiento de materiales ocasionando la erosión de la superficie. |
| Km 8+000 - Km 9+000 | En este sector la capa de rodadura existente se encuentra en regular estado, con material granular de espesor variable, presenta deslizamientos de materiales ocasionando la erosión de la capa de rodadura |
| Km 9+000 - Km 10+000 | En este sector la vía prese capa de afirmado se encuentra completamente erosionado, desprendimientos de materiales las cuales ocasionan la erosión total de la capa de rodadura (pérdida de finos y grava). |
| Km 10+000 - Km 11+000 | La vía presenta erosión a nivel de la plataforma de afirmado, desprendimientos de materiales ocasionando el desgaste de la capa de rodadura y obras de arte semi obstruidas. |
| Km 11+000 - Km 12+000 | En este sector la vía existente se encuentra erosionada y desnivelada. Las alcantarillas y cunetas se encuentran semi obstruidas debido a la falta de limpieza. |
| Km 12+000 - Km 13+000 | En este sector la vía existente se encuentra en regular estado, con material granular de espesor variable, esta presenta desprendimientos de materiales ocasionando el desgaste de la capa de rodadura |
| Km 13+000 - Km 14+000 | Este tramo se encuentra erosionado y desnivelado, así mismo se encuentra EL TAMBO CONSTRUIDO POR EL MINISTERIO DE VIVIENDA. |
| Km 14+000 - Km 15+000 | Este tramo se encuentra en regular estado, con una superficie de rodadura erosionada las cunetas y alcantarillas se encuentran semi obstruidas. El terreno es de pendiente llano. |
| Km 15+000 - Km 16+000 | En este sector se encuentra el colegio de Huayhuahuasi y el estado de la vía es regular, debido a la erosión y desnivel de la plataforma. |
| Km 16+000 - Km 17+050 | En este tramo se aprecia que el afirmado está completamente erosionado, con presencia de desnivel en gran parte del tramo. |

b) Resumen de resultados de ensayos de laboratorio de la plataforma existente

Según los resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio, indica que la clasificación granulométrica (AASHTO) en la progresiva 04+000; 09+000 y 14+000, son de características buenas, asimismo, según la determinación SUCS los materiales existentes son de tipo grava limo arcilloso (GC- GM). Con un índice de plasticidad de 5%. En cuanto al desgaste de los materiales se determinó que presenta hasta un 38% de desgaste, propio del uso normal de la vía, dicho material será repuesto por materiales de la cantera adecuada.

Tabla 4: Resultados de los ensayos de laboratorio del material de la plataforma existente

| MUESTRA N° | PROG. (Km) | CLASIFICACION GRANULOM. | | LIMITES DE CONSIST. | | | % HUMEDAD | PROCTOR | | CBR | ABRAS. LOS ANG. |
|------------|----------------|-------------------------|---------|---------------------|---------|------|-----------|-----------------|-----------------|------|-----------------|
| | | AASHTO | SUCS | L.L. | L.P. | I.P. | | MAX. DENS. SECA | OPT. CONT. HUM. | 100% | % DESG. |
| | | 1 | 04+000 | A-2-4(0) | GC - GM | 24 | | 19 | 5 | 6.6 | 2.110 |
| 2 | 09+000 | A-2-4(0) | GC - GM | 26 | 21 | 5 | 6.4 | 2.105 | 9.8 | 45.9 | 36.8 |
| 3 | 14+000 | A-2-4(0) | GC - GM | 25 | 20 | 5 | 6.7 | 2.103 | 9.9 | 41.0 | 38.0 |

Conteo de tráfico vehicular

Según los datos obtenidos mediante el conteo de tráfico vehicular que se realizó en el tramo Totora Pata – Huayhuahuasi, la cual tiene una longitud de 17.050 kilómetros, se pudo observar y verificar que el tramo mencionado presenta un mayor tráfico debido a la presencia de autos, camionetas particulares, así como también empresas de transporte local y distrital las cuales prestan servicio a la población.

Tabla 5: Conteo de tráfico vehicular.

| Tipo Vehículo | lunes | martes | miércoles | jueves | viernes | sábado | domingo |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Auto | 3 | 7 | 6 | 7 | 9 | 8 | 7 |
| Station Wagon | 7 | 5 | 7 | 6 | 7 | 5 | 5 |
| Camioneta | 3 | 3 | 1 | 4 | 6 | 4 | 6 |
| Combi rural | 4 | 5 | 4 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| Mini Bus | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Camion | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 2 |
| TOTAL | 21 | 22 | 19 | 20 | 26 | 19 | 23 |

4.2. DETERMINACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LAS CANTERAS

En la cantera N° 1 los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los materiales de la cantera mencionada son apropiados para la plataforma de afirmado.

Según la clasificación SUCS, es una Grava Limo Arcillosa (GC - GM), según la clasificación AASHTO es un suelo de buena gradación (A-1-a)

Presenta Límite Líquido entre 22% – 25%, índice de plasticidad de 5%, CBR entre 61% -64% y su Desgaste de los Ángeles entre 27% - 28%.

Lo cual indica que los resultados obtenidos se ajustan a las especificaciones técnicas para la construcción de la plataforma a nivel de afirmado, ya que está dentro de los parámetros establecidos, como material de afirmado que estipula el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 6: Resultados de los ensayos de laboratorio de la cantera N° 1.

| CALICATA N° | COORD. UTM | CLASIFIC. GRAN. | | LIMITES DE CONSIST. | | | % HUMEDAD | PROCTOR | | CBR | ABRAS. LOS ANG. |
|-------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|---------|----|-----------|---------|------|------|--------------------|
| | | AASHTO | SUCS | L.L | L.P | IP | | MDS | OCH | 100% | % DESG. |
| | | 1 | E 232822 N 8374292 | A-1-a(0) | GC - GM | 22 | | 17 | 5 | 8.5 | 2.150 |
| 2 | E 232850 N 8374331 | A-1-b(0) | GC - GM | 24 | 19 | 5 | 8.4 | 2.136 | 10.1 | 62.7 | 28.0 |
| 3 | E 232871 N 8374390 | A-1-a(0) | GC - GM | 24 | 19 | 5 | 8.2 | 2.142 | 9.8 | 63.6 | 28.1 |

Los resultados obtenidos en los materiales de la cantera N° 2 no son del todo favorables para utilizarlos como material de afirmado debido a su alto contenido de arcilla, según la clasificación SUCS es una Grava Arcillosa y su índice de plasticidad el porcentaje obtenido es 12%, no obstante, este material puede ser estabilizado para mejorar sus características físicas y mecánicas lo cual conllevaría a gastos mayores.

Tabla 7: Resumen de los ensayos de laboratorio de la cantera N° 2.

| CALICATA N° | COORD. UTM | CLASIFIC. GRAN. | | LIMITES DE CONSIST. | | | % HUMEDAD | PROCTOR | | CBR | ABRA S. LOS ANG. |
|-------------|-----------------------|-----------------|------|---------------------|-----|-----|-----------|---------|------|------|------------------|
| | | AASHTO | SUCS | L.L | L.P | I.P | | MDS | OCH | 100% | % |
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | E 222432 N 8375037 | A-2-6(0) | GC | 27 | 15 | 12 | 10.8 | 2.127 | 9.9 | 50.1 | 30.8 |
| 2 | E 222492 N 8375005 | A-2-6(0) | GC | 28 | 16 | 12 | 10.4 | 2.140 | 9.4 | 48.1 | 30.1 |
| 3 | E 222533 N 8374979 | A-2-6(1) | GC | 27 | 15 | 12 | 10.5 | 2.131 | 10.2 | 52.4 | 30.7 |

4.3. PROPUESTA DE LA CANTERA

Según los análisis físicos y mecánicos de ambas canteras podemos llegar a la conclusión por diversos factores que la cantera N° 1 es la adecuada para la conformación de la Carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi de la Provincia de Espinar – Cusco.

La cantera N° 1, se encuentra en la progresiva 09+300 ubicada estratégicamente a unos 200 metros hacia el lado derecho de la vía principal, asimismo podemos indicar que según los análisis físico y mecánicos obtenidos mediante los resultados de ensayos de laboratorio, las propiedades de los materiales de esta Cantera cumplen con lo establecido en las especificaciones técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la conformación de la plataforma a nivel de afirmado de la carretera Totorá Pata – Huayhuahuasi.

Este tramo se encuentra bajo la jurisdicción de la municipalidad distrital de Coporaque y que se encuentra dentro de la red provincial y une las comunidades de Totora alta, Totora baja, Centros arqueológicos y une directamente a la comunidad de Huahuahuasi.

Podemos indicar que la cantera N° 2, está ubicada en la progresiva 1+900, después del final del tramo de la carretera Totora Pata – Huayhuahuasi. Asimismo, podemos indicar que, según los ensayos realizados en el laboratorio ICASEG EIRL de mecánica de suelos, los resultados son casi parecidos a los obtenidos en la primera cantera, con la única diferencia que este material contiene mayor porcentaje de Índice de Plasticidad lo cual indica que dichos materiales son inestables con la presencia de agua y además no cumple según la especificación técnica del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 8: Disponibilidad de canteras.

| CANTERA | ACCESO | ESTADO | PROG. (Km) | CARACTERÍSTICA | CONDICIÓN |
|---------|--------|---------|---------------|------------------------------------|-----------|
| 1 | 0+200 | regular | 09+300 | Material grava limo - arcillosa | Apto |
| 2 | 1+900 | regular | 17+050 | Material grava - arcillosa | No Apto |

4.3.1. Gráfico comparativo según los resultados obtenidos de las canteras

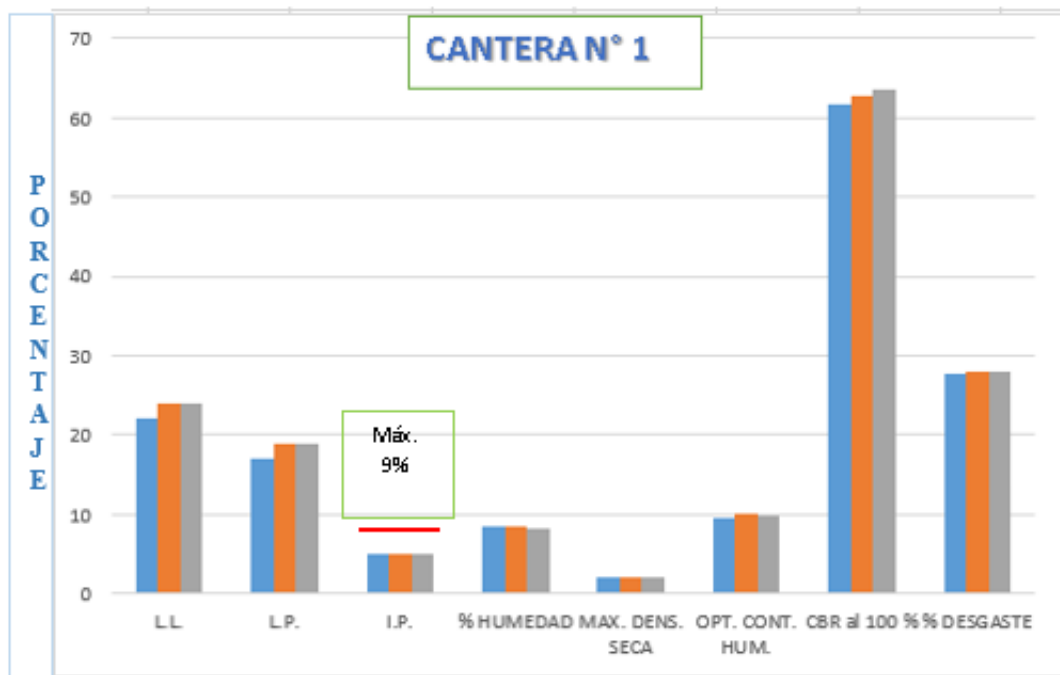


Figura 15: Gráfico realizado según los resultados de la tabla N° 6.

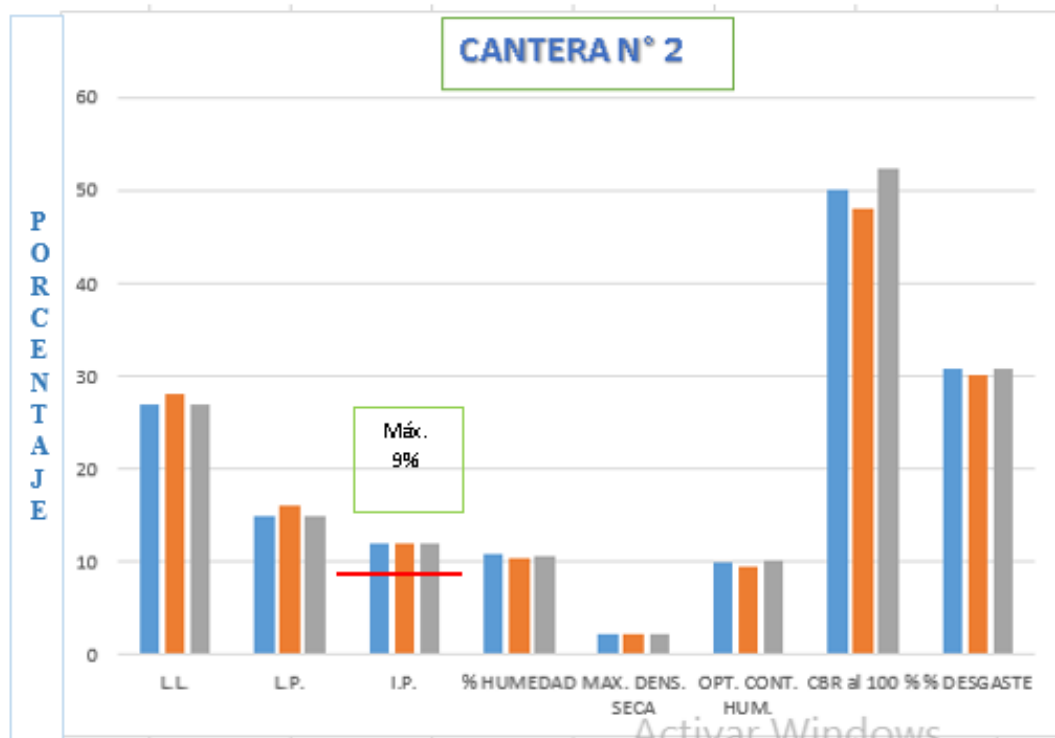


Figura 16: Gráfico realizado según los resultados de la tabla N° 7.

CONCLUSIONES

- Litológicamente presenta rocas del grupo Barroso, depósitos fluvio-glaciares, residuales, aluviales y fluviales recientes. El estado actual de la plataforma existente de la carretera está casi en su totalidad en mal estado y presenta erosión en varios sectores de este tramo.
- La cantera determinada para la conformación de la plataforma a nivel de afirmado es la cantera N° 1 según la clasificación SUCS, es una Grava Limo Arcillosa (GC - GM), según la clasificación AASHTO es un suelo de buena gradación (A-1-a), presenta Limite Líquido menor al 35%, índice de plasticidad (IP entre 4% - 9%), CBR es mayor al 40% y su Abrasión de los Ángeles es menor al 50%.
- Lo cual indica que se ajusta a lo establecido en las especificaciones técnicas para la construcción, ya que está dentro de los parámetros establecidos, como material de afirmado que estipula el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Se concluye que, la cantera sugerida es la N° 1, por su fácil acceso, el número de posibles usos como material de afirmado, material de relleno, tratamiento de superficies, asimismo, se puede utilizar para relleno de terraplén, y se encuentra ubicado en la mitad del tramo mencionado. Es la más óptima y adecuada para el conformado de nivel de afirmado por su composición física y mecánica.

RECOMENDACIONES

- Para evitar la erosión y deslizamientos se deberá programar trabajos de obras de arte como alcantarillas, cunetas y muros gavión.
- Se recomienda que para utilizar los materiales de la cantera, previamente se debe realizar estudios de suelos de acuerdo a las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la construcción y mantenimiento de carreteras.
- En el aspecto ambiental se recomienda la restauración y la estabilización de la cantera explotada o en su defecto mejorar esta situación con procesos de forestación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carlotto, V., Cárdenas, J. y Fidel, L. (2009). *La geología evolución geomorfológica y geodinámica*. Lima.
- Chávez, F. J. y Montalva, A. (2014). *Efectos de sitio para Ingenieros Geotécnicos, estudio del valle Parkway Site effects for Geotechnical Engineers, case study at Parkway valley*. Obras y proyectos.
- Crespo, V. C. (2007). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Mexico: U musa Noriega.
- Eberhardt, E. (2003). *Rock Slope Stability Analysis*. Toronto: Vancouver.
- Hoek, E. (1991). *Rock slope Engineering*. New York: Elsevier Science Publishing.
- INGEMMET (1980). *Datacion Geocronológica del Cuadrángulo de Caylloma*. Lima.
- Llano, J. J. (1975). *Mecánica de Suelos*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A.
- MTC (2000). *Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos*. Lima.
- MTC (2012). *Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos*. Lima.
- MTC (2014). *Manual de Carreteras - Suelos y Pavimentos*. Lima.
- Sanabria, R., Silva, J. L. y Rodrigues, S. C. (2010). *La geología, geomorfología, pedología y uso de la tierra en las municipalidades de Puerto López (Colombia) y Uberlândia (Brasil)*. Puerto López: Sociedade & Natureza.
- Stead y Sciences, S. (2001). *Alternativas de diseño para la determinación de espesores de las diferentes vías de baja intensidad*.

Thompson, L. M. y Troeh, F. R. (1988). *Los Suelos y su Fertilidad*. España: Reverté.

UNI (1975). *Proctor Modificado*. Lima.

Usca, W. C. (2012). *Expediente Técnico de la caracterización de las Unidades Geológicas y del Inventario de Recursos Metálicos, no Metálicos y Peligros Geodinámicos*. Espinar: https://www.academia.edu/28892903/PROVINCIA_-ESPINAR.

Villanueva, R. (2008). *Los áridos en Castilla y León*.

ANEXOS