

EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS LATERÍTICOS A LO LARGO DEL TRAMO 04S PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE CAPA SUBBASE Y SUBRASANTE

EVALUATION OF LATERITE RESERVOIRS ALONG SECTION 04S FOR USE IN THE CONFORMATION OF SUBBASE AND SUBGRADE LAYERS

TERRAZAS PERROGON, R., LÓPEZ MEJÍA, E. E.

RESUMEN

En Bolivia la entidad que tiene la misión de integrar el país de manera territorial es la Administradora Boliviana de Carreteras, ABC. La ABC gestiona la Red Vial Fundamental para el logro de servicios de transporte eficiente y seguro. La ABC, es una entidad dinámica creada para que responda a la gran necesidad de un país mediterráneo de contar con una Red Vial Fundamental que permita la integración nacional e internacional. Con muchos proyectos a realizar en todo el país, la ABC debe contar con nuevos métodos para pavimentar y materiales a utilizar. Uno de esos materiales de construcción son los que se encuentran en la parte Nor-Este del departamento de Santa Cruz. Estos suelos reciben el nombre de Suelos Lateríticos debido a la composición mineralógica que poseen. Los Suelos Lateríticos se formaron debido a la destrucción y alteración de minerales de las rocas en el tiempo del Precámbrico. Normalmente estos suelos no son considerados para usarlos como material de construcción en carreteras debido al desconocimiento de sus propiedades físico – mecánicas. Conocer las propiedades físico – mecánicas de estos suelos, por medio de ensayos en laboratorio se determinará si estos pueden ser utilizados para material de construcción en una carretera. Siendo una empresa de gran influencia en el país, desarrollaron una serie de Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras en Bolivia. Se tomó como referencia el Manual de Especificaciones Técnicas de Construcción creadas por la ABC. La evaluación de los resultados de laboratorio y las especificaciones que tiene la ABC permitieron comprobar que, de los cinco yacimientos escogidos para ser evaluados, no hay ninguno que cumpla con las especificaciones en su totalidad para ser utilizado como subbase, pero si hay algunos que cumplen con algunas especificaciones para ser utilizado como subrasante en la construcción.

ABSTRACT

In Bolivia, the entity that has the mission of integrating the country territorially is the Bolivian Highway Administrator, ABC. The ABC manages the Fundamental Road Network to achieve efficient and safe transportation services. The ABC is a dynamic entity created to respond to the great need of a Mediterranean country to have a Fundamental Road Network that allows national and international integration. With many projects to be carried out throughout the country, the ABC must have new methods to pave and materials to use. One of these construction materials are those found in the North-East part of the department of Santa Cruz. These soils are called Lateritic Soils due to their mineralogical composition. Lateritic soils were formed due to the destruction and alteration of minerals in rocks in Precambrian time. Normally these soils are not considered for use as road construction material due to the lack of knowledge of their physical-mechanical properties. To know the physical-mechanical properties of these soils, through laboratory tests, it will be determined if they can be used for construction material on a highway. Being a company of great influence in the country, they developed a series of Technical Manuals for the Design of Highways in Bolivia. The Manual of Technical Construction Specifications created by ABC was taken as a reference. The evaluation of the laboratory results and the specifications that ABC has made it possible to verify that, of the five deposits chosen to be evaluated, there is none that fully meets the specifications to be used as a subbase, but there are some that meet with some specifications to be used as subgrade in construction.

PALABRAS CLAVE

Capa Sub-Base, Subrasante, Suelo, Laterítico, Yacimiento.

KEYWORDS

Sub-Base Layer, Subgrade, Soil, Lateritic, Reservoir.

INTRODUCCIÓN

Todo proyecto de ingeniería debe contar con un estudio de suelos del terreno donde se ha propuesto su ejecución. Para lograr un estudio completo del lugar, deberá combinarse en diferente medida la información general del proyecto con la información puntual generada en los sondeos, ensayos de campo y de laboratorio. El resultado final del estudio permite hacer una apreciación general sobre la caracterización del terreno y ver si este cumple con las normas para ser utilizado.

Es importante no realizar generalizaciones sobre cualquier tipo de suelo que se vaya a utilizar para cualquier trabajo, ya que los suelos tienen distintas composiciones y actúan de manera diferente, dependiendo de la zona en donde se han formado.

En regiones tropicales, las cuales son altamente influenciadas por las condiciones variadas de temperatura, humedad y precipitación, existe la posibilidad de encontrar lugares en estados avanzados de meteorización, entendido como la afectación del material rocoso por medio de procesos físicos y/o químicos del ambiente en el que se encuentre llegando a un material no consolidado, suelo.

Una condición básica e importante para cualquier proyecto de carretera, ya sea pavimentos flexibles y/o rígidos, es la conformación de la estructura fundamental de dicho pavimento, a esto le llamamos capa base, capa subbase y subrasante.

Los materiales para la construcción de subbases y subrasante deben ser caracterizados para: establecer su idoneidad y un estudio como material estructural de un pavimento.

La capa subbase es la capa que se encuentra entre la capa base y la subrasante, Debido a que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior y generalmente está constituida por materiales locales granulares o marginales.

El material de subbase tiene que poseer estabilidad y densidad, un equilibrio entre la densidad y CBR con la cantidad de finos, angularidad del agregado grueso, limpieza, resistencia a la abrasión, durabilidad, permeabilidad. La subrasante es la superficie sobre la cual se apoya la estructura de un pavimento, la que normalmente se conforma con los suelos naturales disponibles en el lugar de emplazamiento del proyecto.

Para la subrasante se tiene que contar su clasificación, una relación de humedad – densidad, distribución granulométrica, características de humedad y un CBR de diseño para la elaboración de carretera.

Otro factor para considerar en un proyecto de carreteras es la necesidad de contar con yacimientos de préstamos, tratando que sean cercanos a la obra, para ello se requiere un sondeo de la zona y un estudio donde se pueda conocer si los yacimientos encontrados cumplen con todas las especificaciones para ser utilizados en dicho proyecto.

La experiencia diaria, enseña que, si se da a estas tareas la debida importancia, podrán localizarse depósitos de materiales apropiados cerca del lugar de su utilización, abatiendo los costos de transportación.

Desde muchos años la detección de yacimientos de materiales dependió de métodos exploratorios comunes, desde la simple observación sobre el terreno, hasta el empleo de pozos a cielo abierto, pasteadoras, barrenos y aun máquinas perforadoras.

La ABC es una entidad dinámica creada para que responda a la gran necesidad de un país mediterráneo de contar con una Red Vial Fundamental que permita la integración nacional e internacional.

La ABC tiene como misión básica la integración territorial del país a través de la gestión de la Red Vial Fundamental para el logro de servicios de transporte eficiente y seguro.

Hoy en día, la ABC cuenta con un conjunto de Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras en Bolivia, donde se cuenta con el Manual de Especificaciones Técnicas de Construcción. En dicho manual se especifican las descripciones, materiales, equipo, ejecución, control de supervisión, medición y pago de diferentes ítemes para una carretera, como ser, terraplenes, subbases y bases.

La experiencia de estudios y análisis determinan que los yacimientos son modificados notablemente en su estructura, composición mineralógica y por consiguiente su comportamiento geotécnico debido a estar expuestos a procesos de alteración causados por el clima de la región donde se encuentran.

Bolivia presenta rocas correspondientes a todas las eras geológicas. La exposición de las unidades de rocas más antiguas se encuentra principalmente en la región noreste del país y se las conoce como el Precámbrico del escudo brasileño.

Dicho lo anterior, en zonas tropicales aparecen suelos conformados por material laterítico, debido a las variaciones estacionales de temperatura y humedad. Estos Suelos Lateríticos aparecen por causa de la infiltración del agua hacia las profundidades, causando la disolución de los minerales en la roca primaria y la disminución de los elementos fácilmente solubles como el potasio, sodio y magnesio.

La disminución de algunos elementos solubles da paso a la concentración residual de los elementos más insolubles donde predomina el hierro y aluminio, a esto le llamamos suelos lateríticos, esencialmente es el aluminio que le da el color rojizo a estos suelos.

Los mecanismos que controlan el comportamiento de estos suelos son más complejos por su misma composición que otros suelos. Los procesos de humedecimiento y desecación tienden a generar rápidos e importantes cambios en el contenido de agua absorbida por los minerales, los cuales afectan el tamaño de los granos, así como su grado de cementación.

En gran parte del noreste del departamento de Santa Cruz se puede notar la presencia del color rojizo del suelo en la plataforma, también se notó la presencia de cuarzo y algunos minerales que hacen que estas regiones sean distintas a los suelos comunes que conocemos.

Al margen de dichas observaciones se realizaron clasificaciones granulométricas a estos suelos, en donde los resultados se encuentran dentro de las fajas granulométricas para Suelos Lateríticos .

Un material laterítico presenta las siguientes características principales: una constitución mineralógica de apariencia homogénea é isotrópica, elevado ángulo de fricción, bajo peso unitario seco, elevada resistencia a la erosión, alta contracción, buena adhesividad a los materiales bituminosos, pero presentan mucha porosidad, son altamente permeables, poco expansivos

cuando son compactados con su humedad óptima y son de baja plasticidad.

La utilización de los Suelos Lateríticos se está empezando a considerar en Santa Cruz para la realización de proyectos, pero aún no existe suficiente conocimiento fundamental de un Suelo Laterítico y el funcionamiento de éste como un material de construcción, en especial con respecto a la aplicación de sus propiedades químicas, mineralógicas y comportamiento mecánico.

Se pretende realizar una caracterización y determinación de las propiedades mecánicas del material laterítico, finalizando con una evaluación con respecto al Manual de Especificaciones Técnicas de Construcción, para conocer si la mineralogía y formación geológica de estos suelos actuarán de manera positiva o negativa en la utilización como material de capa subbase y subrasante

MÉTODOS Y MATERIALES

Identificación de 5 yacimientos de préstamos.

Toma de muestras representativas de cada yacimiento.

Ensayos para subbase:

Análisis granulométrico, límite líquido, AASHTO T-89, límite plástico, AASHTO T-90, desgaste por medio de la máquina: Los Ángeles, ensayo de compactación, Próctor T-180, ensayo de CBR (Razón de Soporte de California), equivalente de arena, método de los sulfatos para determinar la desintegración.

Ensayos para subrasante:

Análisis granulométrico, límite líquido, AASHTO T-89, límite plástico, AASHTO T-90, ensayo de compactación, Próctor T-180, ensayo de CBR, Razón de Soporte de California.

Ensayo químico a las muestras.

Comparación las propiedades físico – mecánicas de las muestras representativas con el Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, ABC, para ser utilizado como capa subbase y subrasante.

Tomando en cuenta las especificaciones que tiene la ABC. Se escogieron los mismos ensayos que tienen una especificación para uso como material de construcción en una carretera. Y así al final, se pueda realizar una evaluación de resultados.

TABLA 1. Ensayos realizados en el laboratorio

Ensayo	Norma
Método para extraer y preparar muestras.	ASTM C 75, AASHTO T2
Método para el cuarteo de muestras.	ASTM C 702, AASHTO T 248
Determinación del contenido de humedad de suelos, roca y mezclas de suelo agregado.	ASTM D 2216, AASHTO T 6
Análisis granulométrico por medio de tamizado.	ASTM D 422, AASHTO T 88

TABLA 1. Ensayos realizados en el laboratorio

Ensayo	Norma
Determinación del límite líquido de los suelos.	ASTM D 4318, AASHTO T 89
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.	ASTM D 4318, AASHTO T 90
Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.	ASTM D 2419, AASHTO T 27
Ensayo de compactación Próctor modificado.	ASTM D 1557, AASHTO T 180
Determinación de la relación de soporte del suelo (CBR).	ASTM D 1883, AASHTO T 193
Método para determinar el equivalente de arena.	ASTM D 249, AASHTO T 176
Método de los sulfatos para determinar desintegración.	ASTM C 88, AASHTO T 104
Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles.	ASTM C 131, AASHTO T 96

RESULTADO

El Tramo 04S San Ignacio - San Matías se encuentra localizado en las provincias José Miguel de Velasco y Ángel Sandoval del departamento de Santa Cruz, tiene una longitud aproximada de 310 km desarrollándose sobre una topografía plana a semi - ondulada y con pendientes moderadas. El clima es cálido y tropical, típico de la zona de la Chiquitanía y parte del escudo brasileño. Posee alturas que oscilan entre 200 a 400 m.s.n.m.

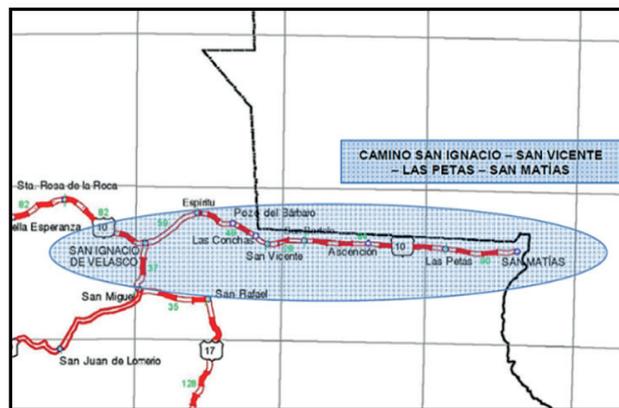


Figura 1. Ubicación del tramo 04S

Una de las características más notoria en este tramo es el color rojizo (laterítico) del suelo, esto se debe a la formación geológica de los suelos en la era Precámbrica.

Ingresando a San Ignacio de Velasco se puede notar dicha coloración en estos suelos. Como causa de este proyecto, los yacimientos rojizos (lateríticos) forman parte de la formación geológica del Tramo 04S.

Se realizó la identificación visual de distintos yacimientos desde San Ignacio hasta San Matías.

Por medio de las coordenadas se llegó a las ubicaciones de los 5 yacimientos a evaluar, donde se extrajo material representativo

EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS LATERÍTICOS A LO LARGO DEL TRAMO 04S PARA SU USO EN LA CONFORMACIÓN DE CAPA SUBBASE Y SUBRASANTE.

del yacimiento.

Tabla 2. Ubicación de yacimientos seleccionados

Nombre del yacimiento	Coordenadas, hemisferio sur		
	X	Y	Zona
Aurora	207925,6	8193667,8	21
Alianza	193719,5	8195633,2	21
Comunidad San Vicente	805444,0	8198497,0	20
Cerro San Vicente	8195633,2	8199119,6	20
San Ignacio	734673,0	8193084,0	20

En dos muestras que representan a los 5 yacimientos escogidos, se determinó el porcentaje de sílice y de hierro.

Tabla 3. Composición de suelos tipo seleccionados

	Sílice, % m/m	Hierro, % m/m
Suelo 1	2,19	99,57
Suelo 2	0,86	86,58

Tabla 4. Resultados de las pruebas de laboratorio reslizadas.

Ensayo	1	2	3	
Humedad del Material	7,50	8,23	7,67	
Análisis Granulométrico	1"	84,28	77,48	73,65
	3/8"	73,21	55,35	56,51
	Nº 4	68,90	41,67	41,95
	Nº 10	66,05	40,68	31,23
	Nº 40	58,47	36,11	26,23
	Nº100	51,43	30,62	21,25
	Nº200	46,98	29,91	16,74
Límites de Atterberg	LL	37,69	39,92	26,08
	LP	24,10	28,24	14,08
	IP	13,59	11,38	12,00
Clasificación	A.A.S.H.T.O	A-4 (2)	A-2-4 (0)	A-1-b (0)
	S.U.C.S	SM	GM	GM
Ensayo de Compactación	Densidad seca máxima	1,981	1,986	2,100
	% de Humedad Optima	9,47	9,26	9,78
C.B.R.	9,87	--	30,71	
Desgaste en la maquina "Los ÁNGELES"	39,95	40,15	41,10	
Durabilidad con Sulfato de Sodio	6,4	4,63	10,52	
Equivalente de Arena	10,32	8,70	9,03	
Peso específico	PE sss	2,618	2,512	2,582
absorción de	PE seco	2,606	2,498	2,573
agregados	PE apar.	2,637	2,584	2,596
	Absorción	0,443	0,521	0,352

Tabla 5. Resultados de las pruebas de laboratorio reslizadas

ENSAYO	4	5	
Humedad del Material	9,87	9,23	
Análisis Granulométrico	1"	81,81	100
	3/8"	53,37	69,24
	Nº 4	31,41	38,21
	Nº 10	26,4	27,44
	Nº 40	20,32	22,44
	Nº100	19,82	16,00
Límites de Atterberg	Nº200	8,78	12,71
	LL	29,65	29,24
	LP	14,08	14,10
Clasificación	IP	15,57	15,14
	A.A.S.H.T.O	A-1-a (0)	A-1-a (0)
	S.U.C.S	GP - GM	GM
Ensayo de Compactación	Densidad seca máxima	1,971	1,972
	% de Humedad Optima	14,51	13,48
C.B.R.	35,88	31,85	
Desgaste en la maquina "Los ÁNGELES"	40,11	38,02	
Durabilidad con Sulfato de Sodio	9,75	7,66	
Equivalente de Arena	10,98	12,28	
Peso específico	PE sss	2,512	2,784
y absorción de	PE seco	2,498	2,541
agregados	PE apar.	2,521	2,601
	Absorción	0,368	0,501

En todo proyecto que contenga un análisis granular de suelos, es preciso contar con las especificaciones (fajas granulométricas) para ese material. Solo un material cuya curva granulométrica se encuentre de las fajas puede ser apto para ser utilizado.

En las siguientes imágenes se puede apreciar las curvas granulométricas de los 5 yacimientos. También se encuentran las fajas granulométricas que la ABC utiliza para un material de subbase. Se realizó la verificación para ver si cada curva se encuentra dentro de dichas fajas, para que así sea considerado como subbase.

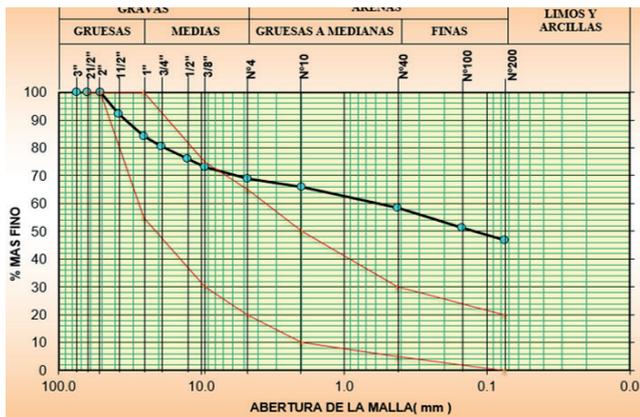


Figura 2. Curva Granulométrica Yacimiento Aurum

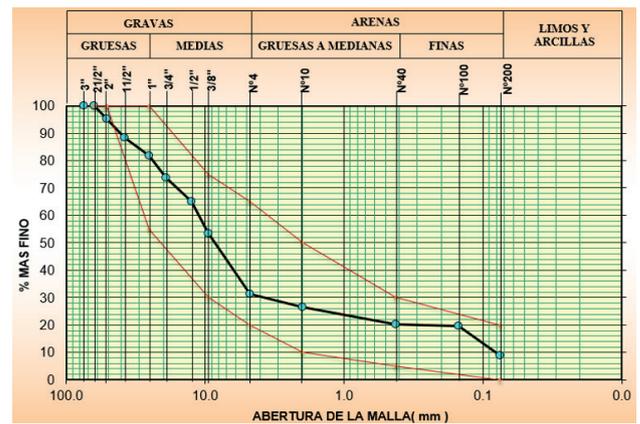


Figura 5. Curva Granulométrica Yacimiento Cerro San Vicente

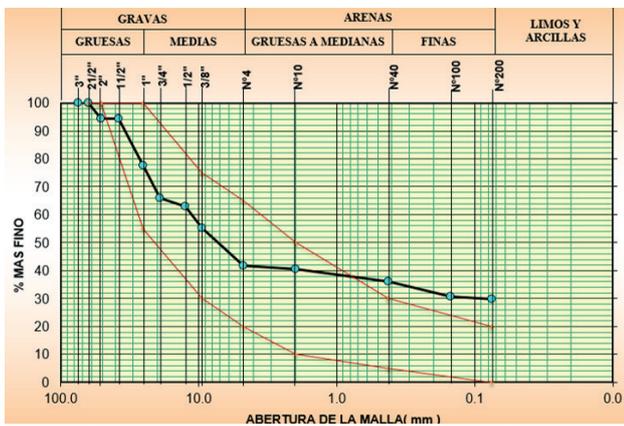


Figura 3. Curva Granulométrica Yacimiento Alianza

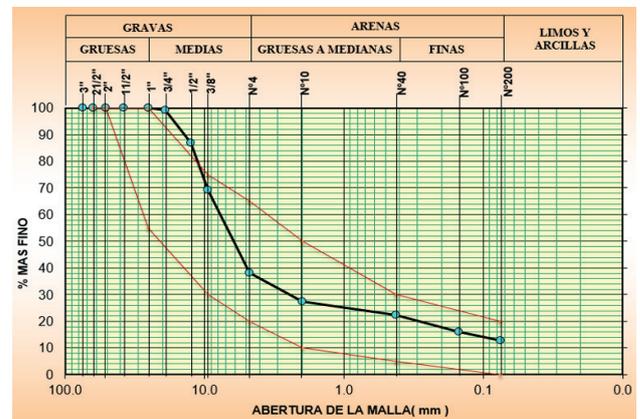


Figura 6. Curva Granulométrica Yacimiento San Ignacio

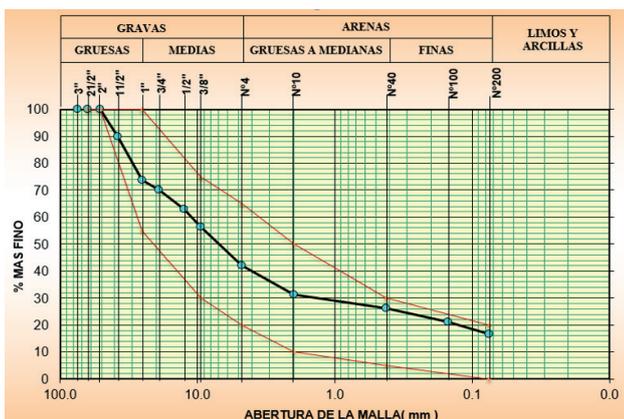


Figura 4. Curva Granulométrica Yacimiento Comunidad San Vicente

DISCUSIÓN

De los cinco yacimientos escogidos para ser evaluados, no hay ninguno que cumpla con las especificaciones (en su totalidad) para ser utilizado como subbase, pero si hay algunos que cumplen con algunas especificaciones para ser utilizado como subrasante.

Cabe recalcar que algunos de los valores de desgaste, CBR y límites de consistencia están bordeando lo especificado por la ABC.

Como se puede apreciar en las curvas granulométricas, los yacimientos Comunidad San Vicente y Cerro San Vicente están dentro de las fajas granulométricas, establecidas por la ABC, para ser utilizado como material de subbase.

Si hay la presencia de un yacimiento cuya distancia de acarreo es lejana y cumple con todos los parámetros para su explotación, se deberá hacer una consideración para la utilización de este yacimiento, en caso de que no se cuente con otro yacimiento cercano.

Es posible revisar el perfil estratigráfico de cada yacimiento, con el objetivo de extraer el tipo de material predominante en dicho lugar y la profundidad límite para explotarlo.

Al realizar el proceso de trituración en los siguientes yacimientos: Comunidad San Vicente y Cerro San Vicente, se

pueden evitar afectar los tamaños de las partículas ni eliminar alguna característica de plasticidad. La presencia de terrones endurecidos puede variar la curva granulométrica de dicha muestra.

Para los yacimientos Aurora, Alianza y San Ignacio, se recomienda realizar una dosificación de agregados. El aumento de agregados gruesos y/o la disminución de partículas finas podrían dar como resultado un material apto para subbase. Una vez que se hayan dosificado los agregados, los resultados de los ensayos cambiarán, por lo cual se recomienda volver a hacer una evaluación.

En todo el Tramo 04S del departamento de Santa Cruz, existe la presencia de 10 yacimientos posibles para la explotación en un proyecto de carretera. Cabe recalcar que también hay pequeños acopios de materiales, pero a causa del volumen (poco), no es justificable la consideración y/o explotación de estos.

Debido a la formación geológica y la ubicación de los yacimientos, algunos de estos presentan características físicas similares. Por

tal motivo, se escogieron 5 yacimientos, los más representativos de la zona, también se tomó en cuenta la distancia de acarreo al eje de la carretera, distancias cortas y accesos en buen estado fueron los parámetros que se consideraron para elegir dichos yacimientos.

Ningún yacimiento cumple las especificaciones para ser utilizado como subbase, pero sus resultados están muy cerca de las especificaciones.

Los yacimientos que cumplen con las fajas granulométricas para subbase son los siguientes: Yacimiento Comunidad San Vicente y el yacimiento Cerro San Vicente. Los otros 3 yacimientos no cumplen con las especificaciones debido a la cantidad mayor de finos.

Por medio de los valores de CBR de los yacimientos Alianza, Comunidad San Vicente, Cerro San Vicente y San Ignacio, estos están aptos para ser utilizados como material de subrasante. Solo los yacimientos Aurora y San Ignacio cumplen con el desgaste para ser utilizado como subbase.

REFERENCIAS

- AASHTO. Standard specifications for highway bridges, 16th ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC – 1996.
- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de ensayos de suelos y materiales * suelos. Vol. IV, La Paz, Bolivia, 2010.
- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de ensayos de suelos y materiales * hormigones. Vol. IV, La Paz, Bolivia, 2010.
- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de especificaciones técnicas generales de construcción. Vol. VII, La Paz, Bolivia, 2011.
- BOWLES, J.E. (1998) Análisis y diseño de las cimentaciones (Foundation Analysis and Design), McGraw-Hill, Nueva York.
- BRAJA, M. DAS, (2013) Fundamentals of geotechnical engineering, 4th Edition, Cengage Learning
- NORMATIVA ASTM, American Society for testing and materials, C150 Standard specification for portland cement.

CITA

