

COMPORTAMIENTO FÍSICO - MECÁNICO DE SUELOS GRANULARES CON ADICIÓN DE CEMENTO Y POLÍMERO ECO-TECH ROAD® PARA SU USO COMO CAPA BASE

PHYSICAL - MECHANICAL BEHAVIOR OF GRANULAR SOILS WITH ADDITION OF CEMENT AND ECO-TECH ROAD® POLYMER FOR USE AS A BASE LAYER

SUBTIL BELLO, L., LÓPEZ MEJÍA, E. E.

RESUMEN

Se realizó un análisis comparativo del comportamiento físico-mecánico del suelo granular con adición de cemento tipo IP e IF más polímero ECO-TECH ROAD® para su uso como capa base. Los análisis se realizaron según las normas Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, AASHTO y Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, ASTM, el manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras, ABC, y el manual de diseño de pavimentos del Instituto Boliviano del Cemento y El Hormigón, IBCH. El método aplicado fue el analógico, cuyo punto básico es demostrar el isomorfismo entre los procesos, las características y las variables del sistema conocido y el sistema al cual se quieren extrapolar. Los datos fueron obtenidos a través de ensayos en laboratorio, primero se determinaron las características del suelo granular, luego de los tipos de cemento y posteriormente se desarrolló una estabilización de suelos con dos tipos de cemento (Tipo IP-30 e IF-30) más la adición del polímero ECO-TECH ROAD®. Se determinó que con la dosificación que corresponde al suelo granular más 2% de cemento IF - 30 con 0,2% de polímero ECO-TECH ROAD® brinda así mejores resultados en las características para una capa base estabilizada.

PALABRAS CLAVE

Comportamiento físico - mecánico. Suelo granular. Cemento tipo IP. Cemento tipo IF, Polímero ECO - TECH ROAD®.

ABSTRACT

A comparative analysis of the physical-mechanical behavior of the granular soil was carried out with the addition of IP and IF type cement plus ECO-TECH ROAD® polymer for use as a base layer. The analyzes were carried out according to the standards of the American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO and the American Society for Testing and Materials, ASTM, the road manual of the Bolivian Highway Administration, ABC, and the pavement design manual of the Instituto Boliviano del Cemento y Concreto, IBCH. The applied method was the analogical one, whose basic point is to demonstrate the isomorphism between the processes, the characteristics and the variables of the known system and the system to which they are to be extrapolated. The data was obtained through laboratory tests, first the characteristics of the granular soil were determined, then the types of cement and later a soil stabilization was developed with two types of cement (Type IP-30 and IF-30) more the addition of the ECO-TECH ROAD® polymer. It was determined that with the dosage that corresponds to the granular soil plus 2% of IF - 30 cement with 0.2% of polymer, ECO-TECH ROAD® thus provides better results in the characteristics for a stabilized base layer.

KEYWORDS

Physical behavior - mechanical. Granular soil. IP type cement. Type IF cement, ECO Polymer - TECH ROAD®.

INTRODUCCIÓN

La estabilización de suelos mejora o mantiene las características físico-mecánicas del suelo natural existentes a lo largo de una vía que no cumple con especificaciones determinadas. Este es uno de los problemas que se tiene diariamente en los caminos, siendo esta la manera más viable de transformación, si no existen otros tipos de materiales y además que, a través de este proceso, se puede aumentar la calidad de los materiales existentes para evitar o disminuir deformaciones de acuerdo a las cargas y clima que soportará el suelo.

Todos los tipos de suelos pueden ser estabilizados, por aportaciones de otros suelos o por medio de otros elementos (por ejemplo, cemento, cal, cloruro de sodio), pero el costo de la operación puede resultar demasiado alto si el suelo que se trata de estabilizar o corregir no posee determinadas condiciones.

En el pasado, la estabilización de suelos se realizaba utilizando las características de compactación de suelos arcillosos, con productos a base de cemento o utilizando tierra comprimida y cal. Al avanzar las tecnologías y el pasar de los años se han desarrollado diversas técnicas de estabilización de suelos, siendo la "tecnología verde" una de las más sobresalientes. Ejemplos de esta son: estabilización con cloruro de calcio, con enzimas, con biopolímeros, con polímeros sintéticos, con polímeros y otros.

Un polímero es un compuesto químico en el que las moléculas están formadas por cadenas largas en las que se repite una unidad básica (monómero). La síntesis de los polímeros se produce por una reacción provocada por sus monómeros denominada como polimerización.

La tecnología del polímero ECO - TECH ROAD® permite el uso de suelos *in situ* en suelos que originalmente son inadecuados para subestructuras, por ejemplo, alta heterogeneidad, alto contenido de agua, alto contenido de materiales orgánicos. Este polímero de alta tecnología, con nanopartículas de dióxido de silicio, SiO₂, y con aglutinantes hidráulicos, se puede utilizar mediante métodos de construcción convencionales. Este simplemente lubrica el suelo para ayudar a lograr una mayor densidad cuando se compacta el suelo tratado. Es soluble en agua, respetuoso con el medio ambiente, no tiene dispersión polimérica tóxica.

Este tipo de técnicas disminuye drásticamente la demanda de materiales, descartando la necesidad de encontrar yacimientos de materiales para su uso como fundación en carreteras y vertederos cercanos a la obra.

Este polímero se basa en factores decisivos de éxito entre los que se encuentra:

- Rendimiento superior del producto a menor costo por m².
- Excepcional alta durabilidad.
- Tecnología innovadora que garantiza un rendimiento superior con menos uso de recursos.
- Es líquido y garantiza una fácil dosificación, aplicación y procesamiento.

El polímero le da al suelo la suficiente resistencia al desgaste y al esfuerzo cortante para resistir las cargas del tránsito bajo cualquier situación climática, sin que se produzcan deformaciones perjudiciales. Entonces, no sólo se trata de llegar a un suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino que también se quiere confirmar su permanencia a través del tiempo.

La estabilización consiste en un tratamiento químico o mecánico para mejorar o mantener la estabilidad de una masa del suelo de modo que se logren mejorar sus propiedades y aprovechar sus mejores cualidades. Se puede realizar utilizando tipos de cemento que tienen las siguientes características:

Cemento IP: Se clasifica por su composición y resistencia, como cemento portland con puzolana tipo IP - 30, con categoría resistente mínima de 30 MPa a 28 días. Posee también altas resistencias iniciales, bajo calor de hidratación, baja reacción expansiva álcali/agregado.

Cemento IF: Es un tipo de cemento portland con filler caracterizado por su ahorro en tiempo de ejecución de obras, es un producto del tipo IF - 30 cuyas resistencias finales tienen un promedio de 35 MPa.

MÉTODOS

Para la determinación de las características del suelo granular se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: Contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación de suelos, desgaste de abrasión, relación de peso unitario y ensayo de capacidad de soporte del suelo cemento, C.B.R.

Para identificar los tipos de cemento se desarrollaron los siguientes ensayos:

- Consistencia normal del cemento,
- Peso específico,
- Tiempo de fraguado
- Residuo en tamiz # 200.

Para la determinación de las características físico-mecánicas del suelo granular, con adición de dos distintos tipos de cemento, IP e IF más polímero ECO - TECH ROAD® se realizaron los siguientes ensayos, en función a la normativa ASTM y AASHTO:

- Compresión de cilindros preparados de suelo granular con cemento para cada porcentaje, C.B.R.,
- Resistencia a flexo - tracción
- Ensayo de humedecimiento y secado.

RESULTADOS

Para el material de capa base se realizó un muestreo de 2 m³ de material de suelo granular, el cual presentó las siguientes características:

- No presentó límite líquido ni plástico.
- Índice de plasticidad: No Plástico.
- Desgaste de abrasión: 33,04 %.
- C.B.R.: 76,10 %.
- Tipo de material: de fragmentos de piedra, grava y arena.
- Clasificación del material: A-1-a (O) según la clasificación de suelos sistema AASHTO.

El análisis para cada tipo de cemento determinó las características que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características de los cementos empleados

Característica	IP - 30	IF - 30
Penetración cemento, mm.	9,50	9,00
Peso específico cemento, g/cm ³ .	2,96	2,91
Inicio de fraguado, min.	180,00	180,00
Fin de fraguado, min.	262,50	240,00
Finura del cemento, tamiz # 200, %.	89,88	69,23

La resistencia a la compresión de los cilindros de suelo granular, con adición de dos tipos de cemento y polímero ECO-TECH ROAD® con las diferentes dosificaciones.

A los 7 días presentaron los resultados que se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Resistencia a la compresión de los cilindros (ASTM D1633) de suelo granular, cemento y polímero ECO-TECH ROAD ®

Descripción	Cemento, %	Polímero, %	Presión, MPa
IP - 30	3	SP	2,130
	3	0,3	2,509
	2	SP	2,174
	2	0,20	2,301
	2	0,30	2,583
	2	0,40	2,813
IF - 30	3	SP	2,213
	3	0,20	2,362
	3	0,30	2,642
	3	0,40	2,894
	4	SP	2,229
	4	0,20	2,367
	4	0,30	2,700
	4	0,40	2,964

SP = Sin polímero

A los 14 días presentaron los resultados que se exhiben en la tabla 3:

Tabla 3. Resistencia a la compresión de los cilindros (ASTM D1633) de suelo granular, cemento y polímero ECO-TECH ROAD®

Descripción	Cemento, %	Polímero, %	Presión, Mpa
IP - 30	3	SP	2,263
	3	0,3	2,989
	2	SP	2,306
	2	0,20	2,506
	2	0,30	2,583
	2	0,40	3,063
IF - 30	3	SP	2,345
	3	0,20	2,567
	3	0,30	3,122
	3	0,40	3,548
	4	SP	2,362
	4	0,20	2,572
	4	0,30	3,180
	4	0,40	3,618

SP = Sin polímero

A los 28 días presentaron los resultados que se indican en la tabla 4:

Tabla 4. Resistencia a la compresión de los cilindros (ASTM D1633) de suelo granular, cemento y polímero ECO-TECH ROAD®

Descripción	Cemento, %	Polímero, %	Presión, Mpa
IP - 30	3	SP	2,505
	3	0,3	3,484
	2	SP	2,549
	2	0,20	2,633
	2	0,30	3,588
	2	0,40	4,088
IF - 30	3	SP	2,588
	3	0,20	2,695
	3	0,30	3,617
	3	0,40	4,169
	4	SP	2,604
	4	0,20	2,700
	4	0,30	3,675
	4	0,40	4,239

SP = Sin polímero

La dosificación óptima fue determinada con base en los resultados del porcentaje de humedad óptima obtenidos a través del ensayo por el método modificado AASHTO T-180.

COMPORTAMIENTO FÍSICO - MECÁNICO DE SUELOS GRANULARES CON ADICIÓN DE CEMENTO Y POLÍMERO ECO-TECH ROAD® PARA SU USO COMO CAPA BASE

Para el cemento IP- 30 al 3 % más 0,3 % de polímero ECO-TECH ROAD® y para el cemento IF-30 al 2% más 0,2 % de polímero ECO-TECH ROAD®.

Para el C.B.R. del suelo granular con el 3% de cemento IP - 30 con y sin el polímero ECO-TECH ROAD® se trabajó con una densidad máxima seca de 2138 kg/cm³ y con una humedad óptima de 5,73% obtenida en el ensayo por el método modificado AASHTO T-180.

Para el suelo granular con el 2 % de cemento IF - 30 con y sin el polímero ECO-TECH ROAD® se trabajó con una densidad máxima seca de 2160 kg/cm³ y con una humedad óptima de 5,90% obtenida en el ensayo por el método modificado AASHTO T-180. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Capacidad de soporte del suelo cemento o soporte de california, C.B.R. ASTM D1883 - AASHTO T193 de suelo granular, cemento y polímero ECO-TECH ROAD®

Descripción	Cemento, %	Polímero, %	% de C.B.R.
IP - 30	3	SP	296,14
	3	0,30	311,41
IF - 30	2	SP	319,11
	2	0,20	345,67

SP = Sin polímero

Se efectuó el ensayo a flexo-tracción, con cada tipo de cemento, IP-30 y IF-30, con la mezcla del suelo granular más el polímero ECO-TECH ROAD® para una dosificación óptima previamente determinada y con los resultados del porcentaje de humedad óptima obtenidos por el método estándar ASTM D698 - AASHTO T99 que se obtuvieron anteriormente.

Para el ensayo: se prepararon 3500 g aproximadamente para cada espécimen, se utilizó un martillo de compactación de Proctor T180 según norma, aplicando la carga de compactación y distribuyendo la misma en 3 capas de 30 golpes cada una. Para el curado de las vigas a flexo-tracción se dejaron los especímenes por 14 y 28 días en una cámara húmeda, luego se rompieron a los tiempos indicados, para posteriormente poder determinar la resistencia máxima que puede resistir a la flexión. Los resultados se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Flexo-tracción, ASTM D1632 - 96, de suelo granular, cemento, sin y con polímero ECO-TECH ROAD®

Descripción	Cemento, %	Polímero, %	% de C.B.R.
IP - 30	3	SP	0,53
	3	0,30	0,56
IF - 30	2	SP	0,60
	2	0,20	0,64

SP = Sin polímero

El ensayo de humedecimiento y secado se realizó para obtener el valor de pérdidas de suelo, cemento y cambios de volumen, para el cual se elaboró el ensayo con la dosificación previamente determinada. Este ensayo se refiere a procedimientos producidos por humedecimiento y secado repetido de briquetas endurecidas de suelo cemento: las briquetas, luego de ser compactadas y extraídas, reposar en cámara húmeda durante 7 días para luego empezar los 12 ciclos del ensayo. Cada ciclo corresponde a un periodo de tiempo de 48 horas aproximadamente. Las briquetas en cada ciclo tienen que estar durante 5 horas sumergidas a temperatura ambiente y luego se llevan al horno para el secado durante 42 horas, a una temperatura de 23,9 °C. Los resultados se enseñan en la tabla 7.

Tabla 7. Humedecimiento y secado de briquetas de suelo granular, cemento, sin y con polímero ECO-TECH ROAD® AASHTO T135-97 - ASTM D559-96.

Descripción	Cemento, %	Polímero, %	Pérdida de volumen, %	Porcentaje de pérdida, %
IP - 30	3	SP	0,8772	16,51
	3	0,30	0,0000	15,75
IF - 30	2	SP	1,1432	1,1432
	2	0,20	0,0000	0,0000

SP = Sin polímero

DISCUSIÓN

Se trabajó con un material tipo A-1-a (0) según la clasificación AASHTO. Es un material correspondiente a una capa base sin plasticidad. El ensayo de desgaste por abrasión dio como resultado un 33,04% de material que corresponde con una capa base debido a que presentó un desgaste no superior al 40%, por lo que se lo considera como un buen material.

El peso específico del cemento IP-30 fue de 2,96 g/cm³ y para el cemento IF-30 fue de 2,91 g/cm³, dando estos resultados una variación, con relación a los de sus fichas técnicas. Esta variación se debe a las condiciones de transporte y almacenamiento a las que se expone el material una vez salido de fábrica.

En el ensayo de finura del cemento por medio del tamiz #200, ASTM C184, el cemento IP - 30 presentó una finura de 89,88% y el cemento IF-30 de 69,23%, siendo el IF-30 más fino debido a que se produce adicionando filler, en este caso caliza, que es un material orgánico natural que mejora la manejabilidad de la mezcla debido a las finas partículas que lo componen, logrando así disolverse mejor.

Antes de realizar el ensayo de compresión de cilindros se determinó la densidad máxima seca y la humedad óptima previa mediante el ensayo de "Relación de peso unitario - humedad en suelos - método estándar (ASTM D698 - AASHTO T99)" para el cual se elaboró un total de 4 curvas de compactación, cada curva con 5 puntos, para los distintos porcentajes de cemento, y así poder corroborar la diferenciación entre los tipos y porcentajes de cemento.

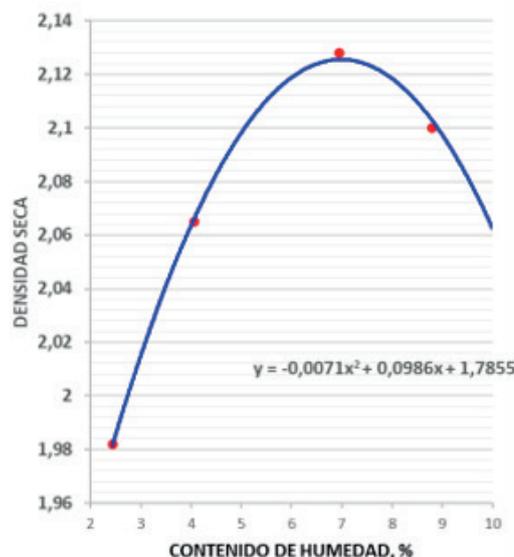


Figura 1. Curva de compactación T99 del suelo granular + 3% IP-30

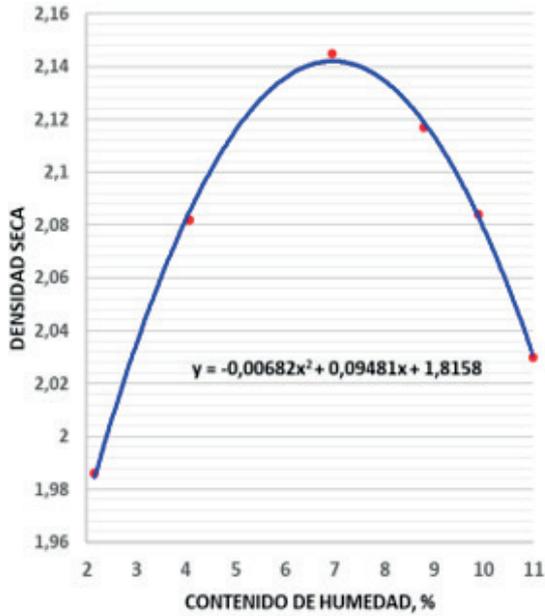


Figura 2. Curva de compactación T99 del suelo granular + 2% IF-30

El manual de diseño de pavimentos establece como variable de diseño la resistencia a compresión de un suelo a los 7 días igual o mayor a 2,10 MPa. El porcentaje de cemento IP-30 óptimo más el polímero ECO-TECH ROAD® determinado fue de 3% de cemento IP-30 más 0,3% de polímero ECO-TECH ROAD®. El porcentaje de cemento IF-30 óptimo más el polímero ECO-TECH ROAD® fue de 2% de cemento IF-30 más 0,2% de polímero ECO-TECH ROAD®.

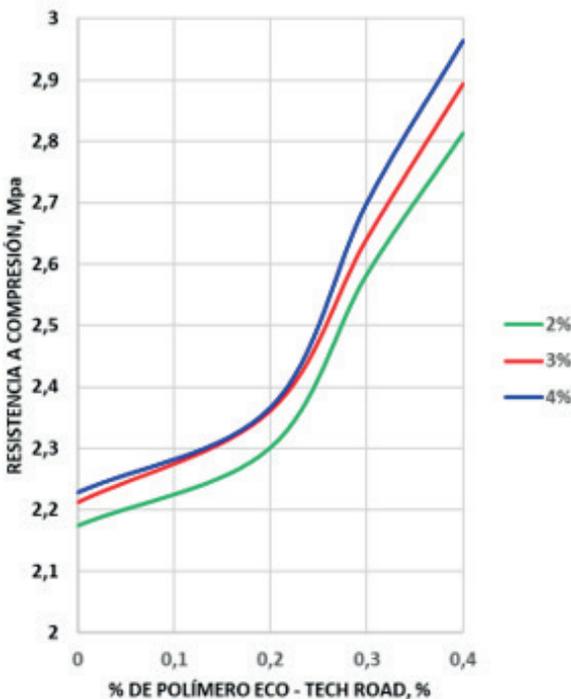


Figura 3. Resistencia a compresión al séptimo día suelo granular con cemento IF-30 en función de la concentración de polímero ECO-TECH ROAD®

El Manual de Carreteras ABC, Volumen VII, (2011), indica que la base estabilizada será ejecutada con materiales que cumplan ciertos requisitos como que el:

Índice Soporte de California, C.B.R., tenga un valor mayor o igual al 80%.

Se determinó como primer paso el valor de C.B.R. del suelo granular, considerado como suelo natural, el cual fue de 76,10 %.

Este resultado demostró que el material granular no se encontraba en condiciones adecuadas para cumplir con las especificaciones de la norma para una capa base, por lo que se consideró necesario el mejoramiento de este con adición de cemento más ECO-TECH ROAD®

Para el Índice Soporte de California, C.B.R. con suelo cemento no existe norma, pero se procedió como si fuera un C.B.R. convencional, obteniéndose valores mayores a los especificados que indica que en la base estabilizada el C.B.R. deberá tener un valor mayor o igual al 80 %.

Realizando una comparación entre ambos tipos de cemento, IP-30 y IF-30, para la resistencia a flexo-tracción con la dosificación establecida, se determinó que la resistencia a flexo-tracción es mucho menor que la resistencia a la compresión de cilindros.

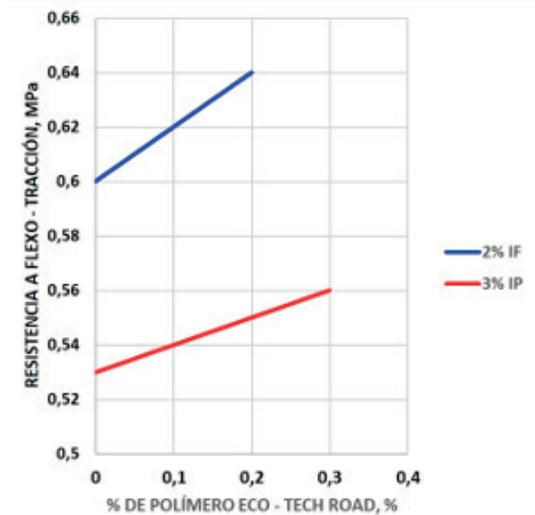


Figura 4: Resistencia a flexo-tracción vs polímero ECO-TECH ROAD®

El ensayo de pérdida de volumen para el suelo granular con 2% de cemento IF - 30 sin polímero dio como resultado una pérdida o contracción del 1,14%, es decir, que 100 metros de carretera esta se contrae 1,14 cm. Por otro lado, para el suelo granular con 2% de cemento IF - 30 más 0,20% de polímero ECO - TECH ROAD® da como resultado una pérdida o contracción del 0%, que equivale a decir que en 100 metros de carretera esta se contrae 0 cm, logrando un resultado extraordinario en pérdida de volumen.

Para determinar la flexo-tracción según la norma AASHTO T135-97 - ASTM D559-96, se opta por el mejor valor del conjunto de especímenes con un menor cambio de volumen en contracción o expansión. De la misma manera, en el caso de desgaste, el espécimen o los especímenes que den un menor resultado de pérdida serán los óptimos.

En la presente investigación se determinaron las características físico - mecánicas del suelo granular, con adición de dos tipos de cemento, más polímero ECO-TECH ROAD®, dando como resultado lo siguiente:

En las resistencias para cada dosificación se observó que al adicionar distintos porcentajes de polímero se cumplía con los parámetros establecidos en el manual de diseño de la IBCH donde indica que a los 7 días la resistencia debe ser igual o mayor que 2,10 MPa.

La dosificación para suelo granular con 2 % de cemento IF-30 más 0,2 % de polímero ECO - TECH ROAD® mejora en un 269,57 % con respecto a la capacidad portante del suelo granular en estado natural. El incremento en la capacidad portante de suelo es realmente alto, lo que prueba que el suelo analizado posee buena resistencia a esfuerzos cortantes, siendo considerado como un excelente material, ya que alcanza los porcentajes requeridos por la norma para una capa base.

La resistencia a la flexo - tracción del suelo granular con 2 % de cemento IF-30 más 0,2 % de polímero ECO-TECH ROAD® mejora en un 5,45 % con relación a la mezcla de suelo granular con 3 % de cemento IP - 30 más 0,3 % de polímero ECO-TECH ROAD®. Este resultado es bajo en relación con la resistencia a compresión, pero no influye en el diseño.

Para la mezcla de suelo granular con 2 % de cemento IF-30 más 0,2 % de polímero ECO-TECH ROAD®, no se tiene pérdida de volumen debido a que el polímero actúa como un ligante, haciendo que la mezcla sea más homogénea, por ende, tendrá mayor vida útil.

Por lo expuesto se puede concluir que al trabajar con la dosificación que corresponde al suelo granular más 2% de cemento IF-30 con 0,2 % de polímero ECO-TECH ROAD® se obtienen mejores características de la mezcla para una capa base estabilizada. En este sentido, se recomienda que el material granular que compone la mezcla sea un suelo A - 1 - a (0), ya que esta investigación se realizó específicamente para ese tipo de suelo y el cemento IF-30, al tener en su composición filler, hace que las partículas de la mezcla se disuelvan de manera más eficiente.

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
- FIUBA, SCT, Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. (2013). FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO. VISE.
- FRATELLI, M. G. (1993) Suelos, fundaciones y muros, Bonalde Editores, Caracas-Venezuela
- DUQUE E.G., ESCOBAR, C. E. (2016). Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas. Geomecánica para ingenieros.
- IBCH, (2019) Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO - 93
- BOWLES, J. E., (1981) Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil, Primera edición en español por LIBROS MCGRAW-HILL de México.
- NORMATIVA ASTM, American Society for testing and materials, C150 Standard specification for portland cement.
- THEYSE, H L. (1996) Método empírico - Mecanicista de diseño de pavimentos, de South África.
- THOMPSON BALDIVIEZO, J. M. (2006). Metodología de la investigación, Promonegocios net, Venezuela.
- VILLALAZ, C. (2004) Mecánica de suelos y cimentaciones, 5a ed., Editorial Limusa, México.
- YEPES, V. (23 enero, 2014), Estabilización de suelos Universidad Politécnica de Valencia sitio web. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/23/la-estabilizacion-de-suelos/>

CITA

