

# DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MATERIAL RECICLADO (CAPA BASE MÁS CARPETA ASFÁLTICA TRITURADA), CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND Y POLÍMERO ECO-TECH ROAD

## DETERMINATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE RECYCLED MATERIAL (BASE COAT PLUS FOLDED ASPHALTIC FOLDER), WITH ADDITION OF PORTLAND CEMENT AND ECO-TECH ROAD POLYMER

López Mejía, E. E. ; Flores Arias, J. N.; Cáceres Barrientos, M. A.

### RESUMEN

**E**l objetivo de esta investigación consiste en determinar la influencia del polímero ECO-TECH ROAD, proporcionado por la institución Formación Sin Barreras, sobre el comportamiento mecánico del material reciclado establecido en el convenio. La estabilización de suelos consiste en mejorar las características físico mecánicas de los suelos naturales existentes a lo largo del trazo de una vía que no cumplen con las especificaciones determinadas por su baja resistencia portante o su alta expansión. Con el avance de las tecnologías, ahora han salido al mercado nuevas técnicas de estabilización de suelo, como ser aquellos de “tecnología verde”. Algunos ejemplos son: enzimas, biopolímeros, polímeros sintéticos, productos basados en copolímeros, polímeros, resinas de árboles, estabilizadores iónicos, refuerzo de fibra, cloruro de calcio y otros. La tecnología de ECO-TECH permite el uso de suelos in situ que son originalmente inadecuados para las subestructuras mediante métodos de construcción convencionales. La oferta de este polímero se basa en factores de éxito convincentes entre los que se encuentra: Rendimiento superior del producto a menor costo por m<sup>2</sup> respecto a los competidores, dato clave en la construcción de la subestructura de una carretera ya sea esta una rehabilitación o una nueva vía. Excepcionalmente alta durabilidad que permite contratos de construcción y mantenimiento estables y altamente rentables por varios años. Equipo de expertos alemanes en construcción (carreteras). Tecnología innovadora pero comprobada que garantiza un rendimiento superior con menos uso de recursos.

### ABSTRACT

**T**he objective of this research is to determine the influence of the ECO-TECH ROAD polymer, provided by the institution without barriers, on the mechanical behavior of the recycled material established in the agreement. Soil stabilization consists of improving the physical-mechanical characteristics of existing natural soils along the route of a road that do not meet the specifications determined by their low load-bearing strength or high expansion. With the advancement of technologies, new soil stabilization techniques have now come onto the market, such as those of “green technology”. Some examples are: enzymes, biopolymers, synthetic polymers, products based on copolymers, polymers, tree resins, ionic stabilizers, fiber reinforcement, calcium chloride and others. The ECO-TECH technology allows the use of in situ soils that are originally unsuitable for substructures by conventional construction methods. The offer of this polymer is based on convincing success factors among which is: Higher performance of the product at lower cost per m<sup>2</sup> compared to competitors, key data in the construction of the substructure of a road whether it is a rehabilitation or a new road. Exceptionally high durability that allows stable and highly profitable construction and maintenance contracts for several years. Team of German experts in construction (roads). Innovative but proven technology that guarantees superior performance with less use of resources.

### PALABRAS CLAVE

Materiales reciclados de capa base, Polímero ECO-TECH ROAD

### KEYWORDS

Basecoat recycled materials, ECO-TECH ROAD Polymer

## INTRODUCCIÓN

**E**n Bolivia no se conocen datos que determinen el comportamiento mecánico en materiales reciclados con cemento Portland y adición del polímero ECO-TECH ROAD.

La falta de información sobre a las reacciones producidas en un material reciclado con cemento Portland frente a dicho producto, nos impide la implementación del mismo al medio, por lo que nos vemos limitados a buscar la estabilización por métodos tradicionales como ser el cemento Portland, la cal (viva o refinada), la sal, etc.

El adicionar el polímero con la mezcla de cemento y material reciclado se convierte en una posible alternativa de uso para ser estudiada.

El convenio EMI-FSB forma parte de la primera línea de investigación de la Carrera de Ingeniería Civil de la Unidad Académica de Santa Cruz - Escuela Militar de Ingeniería.

Debido al incremento de la importancia medioambiental, al momento de preservar la naturaleza y reducir la explotación de nuevo yacimientos, nos vemos direccionados a la búsqueda de nuevas salidas a través de la estabilización de suelos.

El objetivo del estudio de la estabilización de suelos, es mejorar las características físico mecánicas de los suelos naturales existentes a lo largo del trazo de una vía que no cumplen con las especificaciones determinadas por su baja resistencia portante o su alta expansión.

También tiene como objetivo darle al suelo natural la suficiente resistencia al desgaste y al esfuerzo cortante para resistir las cargas del tránsito bajo cualquier condición climática, sin que se produzcan deformaciones perjudiciales. Entonces no sólo se trata de llegar a un estado de suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino también, asegurar la permanencia de este estado a través del tiempo.

Consiste en un proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.

En el pasado, la estabilización de suelos se realizaba utilizando las características de compactación de suelos arcillosos, productos a base de cemento, y/o la utilización de tierra comprimida y cal. Al avanzar las tecnologías, ahora han salido al mercado nuevas técnicas de estabilización de suelo, como ser aquellos de "tecnología verde".

Algunos ejemplos de "tecnología verde" son: enzimas, surfactantes, biopolímeros, polímeros sintéticos, productos basados en copolímeros, polímeros, resinas de árboles, estabilizadores iónicos, refuerzo de fibra, cloruro de calcio y otros.

De cualquier modo, la tecnología reciente ha incrementado el número de aditivos no-tradicionales utilizados para la estabilización de suelos. Estos estabilizadores no tradicionales incluyen: productos

basados en polímeros, copolímeros, fibras, cloruro de calcio y cloruro de sodio.

Según Baekeland, un polímero es un compuesto químico en el que las moléculas están formadas por cadenas largas en las que se repite una unidad básica (monómeros). Se crea a través de un fenómeno conocido como polimerización cuando se trata de polímeros naturales, sin embargo, la química moderna ha hecho posible sintetizar de forma artificial en laboratorio muchos polímeros para satisfacer necesidades concretas.

Entre las propiedades más buscadas de los polímeros destacan:

- Elasticidad
- Resistente a golpes e impactos
- Dureza
- Fragilidad
- Maleabilidad

Uno de los principales beneficios de la estabilización de suelos con polímero es el de obtener una capa base y/o sub base más resistente.

La tecnología de ECO-TECH permite el uso de suelos in situ que son originalmente inadecuados para las subestructuras mediante métodos de construcción convencionales. La oferta de este polímero se basa en factores de éxito convincentes entre los que se encuentra:

- Rendimiento superior del producto a menor costo por m<sup>2</sup> respecto a los competidores, dato clave en la construcción de la subestructura de una carretera ya sea esta una rehabilitación o una nueva vía.
- Excepcionalmente alta durabilidad que permite contratos de construcción y mantenimiento estables y altamente rentables por varios años.
- Equipo de expertos alemanes en construcción (carreteras).
- Tecnología innovadora pero comprobada que garantiza un rendimiento superior con menos uso de recursos.

Por otro lado, las técnicas de conservación de carreteras pueden dividirse en técnicas clásicas y técnicas de reciclado.

Según la Universidad Politécnica de Cataluña en un artículo publicado el año 2003, un reciclado supone en primer lugar un aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra. Los materiales envejecidos pueden ser reutilizados mediante una técnica adecuada de forma que son nuevamente válidos para la construcción del paquete estructural.

Con este tipo de técnicas, en las operaciones de conservación se puede disminuir mucho la demanda de materiales, se elimina la necesidad de encontrar yacimientos y vertederos próximos a la obra, se mejoran los rendimientos de fabricación, etc.

Además, los métodos de reciclaje "in situ" permiten eliminar las operaciones de transporte de los materiales, tanto de los envejecidos hasta un vertedero como de los nuevos desde su punto de suministro hasta la obra.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento mecánico del material reciclado (capa base más carpeta asfáltica triturada), con adición de cemento Portland y polímero ECO-TECH ROAD.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar los ensayos para caracterizar y determinar los parámetros físico-mecánico del material reciclado (capa base más carpeta asfáltica triturada), más adición de cemento según convenio EMI-FSB.

Determinar la resistencia a compresión simple, capacidad portante (C.B.R), resistencia a flexión y módulo resiliente, del material reciclado (capa base más carpeta asfáltica triturada), con adición del cemento más polímero ECO-TECH ROAD.

Analizar los resultados de los parámetros físico-mecánico del material reciclado (capa base más carpeta asfáltica triturada), más adición de cemento según convenio EMI-FSB.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El siguiente trabajo se realizó en base las normas AASHTO y ASTM y al manual de diseño de carreteras de la ABC volumen 4 S07. Abarcando así con los conocimientos de ingeniería adquiridos en preparación y evaluación de proyectos, mecánica de suelos y pavimentos, entre otros.

La metodología que se tomó para la elaboración de este proyecto fue la siguiente:

Se preparó el material y se caracterizó el mismo mediante los ensayos requeridos por el método AASHTO (contenido de humedad, granulometría, límite líquido). Paralelamente se realizó un ensayo de desgaste de los ángeles para conocer el comportamiento de material granular. Al mismo tiempo se determinó la densidad máxima y humedad óptima para el material tanto por el método estándar T-99 como por el método modificado T-180 de la norma AASHTO, realizando ambas metodologías por la variedad de ensayos siguientes.

Se obtuvo la resistencia a compresión simple, capacidad portante (C.B.R), resistencia a flexión y módulo resiliente del material reciclado, determinando con estos la dosificación óptima y el comportamiento del material en combinación de polímero ECO-TECH ROAD más cemento Portland.

## RESULTADOS

Se caracterizó física y mecánicamente el material reciclado, obteniendo los siguientes resultados:

Granulométricamente, a pesar de tratarse de un material reciclado, se encuadra a una gradación de tipo A 1-a (0) según la clasificación (AASHTO), correspondiente una capa base de sin plasticidad y con una densidad seca máxima de 2.075 g/cm<sup>3</sup>, y una humedad óptima de 5.9 % según el Proctor estándar.

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% para el tamiz N° 200)							Materiales Limo – Arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz N° 200)					
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		
SUB GRUPOS	A-1-a	A-1-b			A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A7-5 A7-6	
% que pasa el Tamiz N° 10	50 máx.												
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 min										
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min	36 min	36 min	36 min		
Características del Material que pasa por el tamiz N°40													
Límite líquido			NO PLASTICO	40 máx.	41 min	40 máx.	41 min	40 máx.	41 min	40 máx.	41 min	40 máx.	41 min
Índice de plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 min	11 min	10 máx.	10 máx.	11 min	11 min	11 min	11 min
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.		
Tipos de material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
Terreno de fundación	Excelente a bueno							Regular a deficiente					
NOTA: Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6 Si el LP ≤ 30, la clasificación es A-7-5 IG = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(IP-10)													

Tabla 1: Clasificación de Suelos Método Aashto M-145, Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones

# DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MATERIAL RECICLADO (CAPA BASE MÁS CARPETA ASFÁLTICA TRITURADA), CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND Y POLÍMERO ECO-TECH ROAD

Se determinaron distintas densidades y humedades por método estándar, según los porcentajes de cemento establecidos en el convenio. De esta manera se concluyó que cuanto mayor es el porcentaje de cemento, la humedad óptima baja mientras la densidad máxima sube, como se puede observar en la tabla 2.

PLANILLA DE RESULTADOS PROCTOR T-99		
SUELO	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	DENSIDAD MÁXIMA (g/cm <sup>3</sup> )
MATERIAL RECICLADO	5.9	2.075
MATERIAL RECICLADO, CON 2% DE CEMENTO	6.45	2.134
MATERIAL RECICLADO, CON 3% DE CEMENTO	6.32	2.156
MATERIAL RECICLADO, CON 4% DE CEMENTO	6.21	2.168

Tabla 2: Cuadro de resultados con diferentes porcentajes de cemento, Proctor Estándar T-99

Se determinaron también distintas densidades y humedades por el método modificado, según el porcentaje de cemento óptimo establecido en el convenio, en el cual el material tuvo el mismo comportamiento que con el Proctor estándar.

PLANILLA DE RESULTADOS PROCTOR T-99		
SUELO	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	DENSIDAD MÁXIMA (g/cm <sup>3</sup> )
MATERIAL RECICLADO	5.9	2.075
MATERIAL RECICLADO, CON 2% DE CEMENTO	6.45	2.134
MATERIAL RECICLADO, CON 3% DE CEMENTO	6.32	2.156
MATERIAL RECICLADO, CON 4% DE CEMENTO	6.21	2.168

Tabla 3: Cuadro de resultados con diferentes porcentajes de cemento, Proctor Modificado T-180

Por otro lado, mecánicamente un desgaste de los ángeles 47.67%, determinando así que el material de trabajo, a pesar de clasificarse como un suelo A 1-a (O), no cumple las especificaciones establecidas para una capa base.

Se determinaron las características físico – mecánicas del material reciclado (capa base más carpeta asfáltica triturada), con adición del cemento más polímero ECO-TECH ROAD, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA.

Después de realizar el ensayo con diferentes porcentajes de cemento y polímero, se determinaron las resistencias para cada dosificación, observando que ninguna cumplía con los parámetros establecidos en el manual de diseño de la IBCH (una resistencia de 2.1 Mpa a los 7 días). Por este motivo se realizaron ensayos para los 14 y 28 días, generando así curvas de proyección que ayuden a predecir el comportamiento del material.

Se concluyó que con 3% y 4% de cemento, se llega a la resistencia establecida en el manual de diseño a una edad de 28 días.

## CAPACIDAD PORTANTE (C.B.R.)

La capacidad portante del suelo en estado natural dio un valor de 26.81% al 95%, por lo que no cumple las especificaciones establecidas. (85% para capa base).

La capacidad portante tanto para la dosificación óptima de cemento y polímero, como para la dosificación óptima sin polímero, mediante cualquiera de los métodos, mostró valores por encima de los requeridos para cumplir como una capa base.

## RESISTENCIA A LA FLEJO-TRACCIÓN

Se realizaron ensayos tanto con la dosificación óptima de cemento y polímero, como con la dosificación óptima sin polímero, presentando una resistencia a la flexo-tracción menor al 10% de la resistencia a compresión.



Figura 1: Elaboración del ensayo vigas a flexo-tracción

% Cº	Nº	Fecha	Fecha	Días de curado	L (longitud) cm	b (ancho) cm	d (prof.) cm	p (carga) kg	R (reist. A la flexión) kg/cm²	Observaciones
		Elaboración	Rotura							
3	A-1	24/01/2019	7/2/2019	14	28,950	7,663	7,788	17,564	1,094	s/p
3	A-2	24/01/2019	7/2/2019	14	28,750	7,524	7,618	15,780	1,039	s/p
3	A-3	24/01/2019	21/2/2019	28	28,550	7,681	7,543	20,267	1,324	s/p
3	B-1	24/01/2019	7/2/2019	14	29,000	7,114	7,102	15,887	1,284	0,4
3	B-2	24/01/2019	7/2/2019	14	29,000	7,157	7,201	16,995	1,328	0,4
3	B-3	24/01/2019	21/2/2019	28	29,450	7,585	7,598	22,362	1,504	0,4

Tabla 4: Resultados finales del ensayo a flexo-tracción

### MÓDULO RESILIENTE DINÁMICO

Se realizó el ensayo triaxial al material obteniendo la ecuación representativa al módulo resiliente dinámico para cada una de las dosificaciones establecidas.



Figura 2: Preparación de probetas para introducir en la cámara triaxial

Determinando mediante estas, el módulo resiliente máximo para cada tipo de suelo.

El módulo resiliente máximo con polímero es 3 veces mayor que el promedio de una capa base.

MÓDULO RESILIENTE			
Nº	Tipo de material	Tipo de suelo	Módulo resiliente mr (mpa)
1	Capa base tipo 1	Material reciclado con 3% de cemento sin polímero	928
2	Capa base tipo 2	Material reciclado con 3% de cemento y 0,3% de polímero	945
3	Capa base tipo 3	Material reciclado con 3% de cemento y 0,4% de polímero	917

Tabla 5: Resumen de los valores máximos del módulo resiliente

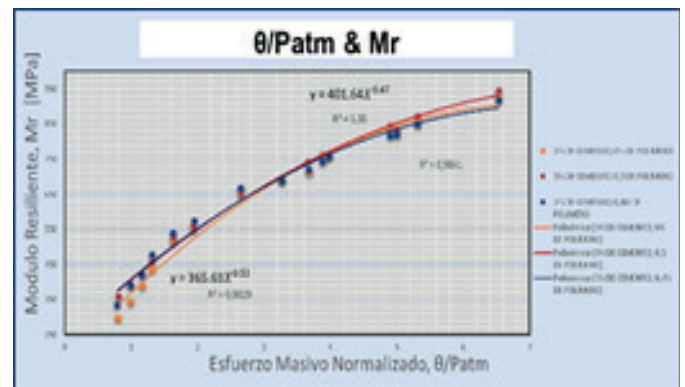


Figura 3: Diferencias de módulo resiliente material reciclado con diferentes % de cemento y % polímero

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó la comparación y análisis de los resultados obtenidos, generando la siguiente información:

#### RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCOFINADA

Después de realizar el ensayo con diferentes dosificaciones, se determinó la óptima de la siguiente manera:

4% de cemento, ya que resiste 2.1 Mpa a los 14 días. (Parámetro de diseño de carreteras).

0.3% de polímero, pues genera resistencias mayores que las otras dosificaciones.

Se determinó en coordinación con el grupo técnico de Alemania cambiar la dosificación a la siguiente:

3% de cemento, ya que la variación respecto a la resistencia con 4% de cemento es mínima e igual alcanza 2.1 Mpa.

0.4% de polímero, ya que este propone mejorar la permeabilidad del material.

# DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MATERIAL RECICLADO (CAPA BASE MÁS CARPETA ASFÁLTICA TRITURADA), CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND Y POLÍMERO ECO-TECH ROAD

En conclusión, se tiene una mejora en un 10.16% con la dosificación óptima en relación a la resistencia del mismo material sin polímero. Se realizó adicionalmente el ensayo de permeabilidad al material, para verificar el comportamiento del material. Determinando que con polímero se reduce el coeficiente de permeabilidad.

## CAPACIDAD PORTANTE (C.B.R.)

La dosificación óptima de cemento y polímero, mejoró en un 89.91% con respecto a la capacidad portante del material reciclado en estado natural.

La dosificación óptima de cemento y polímero, mejoró en un 22.35% con respecto a la capacidad portante del material reciclado con adición de cemento sin polímero.

## RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN

La resistencia a la flexo-tracción del material reciclado más adición de cemento y polímero ECO-TECH ROAD mejoró un 11.07% con respecto al material reciclado con sólo adición de cemento

## MÓDULO RESILIENTE DINÁMICO

Con tensiones altas aplicadas al suelo:

Se observó un incremento en el valor del módulo, a mayor contenido de polímero.

Con tensiones bajas aplicadas al suelo:

Se observó un incremento en el módulo resiliente, a menor contenido de polímero.

Si bien el polímero incrementa la resistencia del material, mientras las tensiones aplicadas incrementan, tiende a rigidizarlo mientras mayor es el contenido del mismo. Es decir, el comportamiento del material granular va reduciendo su rango elástico y se va volviendo plástico.

## CONCLUSIONES

Luego de analizar el comportamiento del material reciclado, se concluyó que, si bien el polímero incrementa las resistencias establecidas, se recomienda realizar una nueva investigación para determinar la influencia del polímero en un material con mayor porcentaje de finos, debido a los siguientes puntos:

Al trabajar con un nano polímero, este podría acoplarse mejor al ser partículas de similar tamaño, generando así mejores resultados. Los suelos finos reducen su módulo resiliente mientras la tensión aplicada es mayor.

## REFERENCIAS

- ARIANSEN, J. (2009). "Programa de Enología del Instituto de los Andes, El Sabor del Vino". Obtenida vía online en: <http://historiadelagastronomia.over-blog.es/article31816560.html>. Consultado, 06 abril 2012.
- ARIANSEN, J. (2010). "El aroma del vino". Instituto de los Andes Enólogo. Obtenida vía online en: <http://enologia.blogia.com/acercade/>. Consultado, 07 junio 2012. 73.
- CACHO, J. (2010). "Los secretos del aroma del vino". Obtenida vía online en <http://enologia.blogia.com/temas/21-los-aromas.php>. Consultado, 07 junio 2012
- CHAMBI, F., (2021), BREVE HISTORIA DEL CAFÉ EN LOS YUNGAS BREVE HISTORIA DEL CAFÉ EN LOS YUNGAS - Colonia de los Yungas
- HUANCA MECHMI, D, (2012) la exportación de café yungueño y su impacto en el desarrollo económico de La Paz, Universidad Mayor de San Andrés: tesis de grado | PDF | Mercantilismo | café (scribd.com)
- MARIANI, S. (2012). "La Cata de Vinos - Fase Visual". Obtenida vía online en: <http://restaurantmontevideo.com/articulo/12/la-cata-de-vinos-fasevisual.html>. Consultado, 05 junio 2012.
- RODRÍGUEZ E.W., (2015) Origen, procedencia y características de las variedades de café comerciales en el país. Origen, procedencia y características de las variedades de café comerciales en el país - Trabajos - tatahenao (clubensayos.com)
- SUÁREZ, J. (2005). "Impacto de levaduras y bacterias en los aromas vínicos fermentativos". Obtenida vía online en: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/AE620s/Pprocesados/FRU2.HT M>. Consultado, 11 mayo 2012.
- VIGGIANO, M. (2012). "La jerga del vino". Obtenida vía online en: <http://www.elobservador.com.uy/sacacorchos/post/269/la-jerga-del-vino/>. Consultado, 21 agosto 2012.