



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS, COMO
ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE
MATERIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Willmer Enrique Quiran Alfaro

Asesorado por el Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles

Guatemala, enero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS, COMO
ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE
MATERIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WILLMER ENRIQUE QUIRAN ALFARO

ASESORADO POR EL ING. LUIS MARIANO ALVAREZ MURALLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

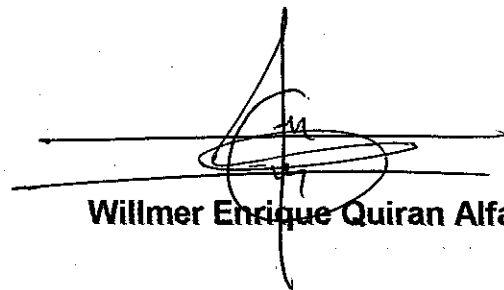
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS, COMO ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE MATERIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 25 de octubre de 2013.

A handwritten signature in black ink, consisting of a vertical line on the left, a horizontal line across the middle, and a large, stylized loop on the right that overlaps the horizontal line.

Willmer Enrique Quiran Alfaro

Guatemala, 1 de octubre de 2014.

Ingeniero Guillermo Francisco Melini Salguero
Área de materiales y construcciones civiles
Coordinador
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Melini.

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS, COMO ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE MATERIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, elaborado por el estudiante **Willmer Enrique Quiran Alfaro**, quién conto con la asesoría del suscrito.


Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante Quiran Alfaro satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco su atención a la presente.

Atentamente,

ID Y ESNEÑAD A TODOS.


Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles
Asesor


INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 10253



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
27 de octubre de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS, COMO ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE MATERIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Willmer Enrique Quiran Alfaro, quien contó con la asesoría del Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero

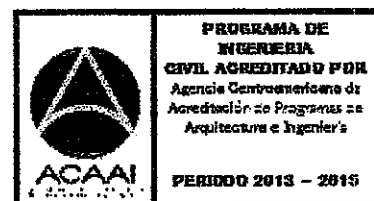
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Willmer Enrique Quiran Alfaro, titulado ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS, COMO ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE MATERIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Hugo Leonel Montenegro Franco
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS, COMO ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE MATERIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Willmer Enrique Quirán Alfaro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, enero 2015

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el pilar principal en mi carrera y fuente de sabiduría.
Mis padres	Enrique Quiran y Patricia Alfaro de Quiran. Por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.
Mi esposa	Ingrid Cifuentes de Quiran. Su amor siempre será fuente de fortaleza, perseverancia y dedicación.
Mi hijo	Dominick Quiran Cifuentes, por ser la luz que ilumina mis días.
Mis hermanos	Byron y Ángel Quiran. Por su apoyo.
A mi abuelo	Ángel Quiran (q.e.p.d.). Por guiar mis pasos desde el cielo.
Mi suegra	Por creer en mí y aconsejarme en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me cobijó entre sus brazos y preparó el camino para ser un mejor profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser fuente de conocimiento y promotora del desarrollo de nuestro país.
Mis catedráticos	En especial al ingeniero Mariano Alvarez e ingeniera Dilma Mejicanos, por su valiosa ayuda en la asesoría de este trabajo de graduación.
Mis padres	Por darme la oportunidad de educación desde mi infancia y por enseñarme a valorar lo que con tanto esfuerzo me dieron.
Mi esposa e hijo	Por ser los motivos que me inspiraron a alcanzar este logro profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ENTIDADES A CARGO DE MANTENIMIENTO VIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA	1
1.1. Definición de mantenimiento vial	1
1.1.1. Municipalidades regionales.....	2
1.1.2. Dirección General de Caminos.....	3
1.1.3. Unidad Ejecutora de Conservación Vial	3
1.1.4. Áreas a cargo de las entidades correspondientes de mantenimiento vial.....	4
1.1.5. Frecuencia de mantenimiento vial	12
1.1.6. Presupuesto asignado a mantenimiento vial y forma de distribución	13
1.2. Tipos de mantenimiento realizados por las distintas dependencias	14
1.2.1. Reconformación de superficies no pavimentadas ..	14
1.2.2. Capa de balasto.....	15
1.2.3. Pavimentación con mezcla en caliente	17
1.2.4. Pavimentación con mezcla en frío	18
1.2.5. Pavimentación con concreto rígido.....	19

1.2.6.	Doble tratamiento superficial	21
1.3.	Maquinaria necesaria para mantenimiento vial	24
1.3.1.	Motoniveladora.....	24
1.3.2.	Vibro compactadora	25
1.3.3.	Rodo metálico (apisonadora)	27
1.3.3.1.	Compactadora de llanta neumática.....	28
1.3.4.	Cargador frontal	28
1.3.5.	Pala mecánica y retro excavadora	29
1.3.6.	Camión de volteo	31
1.3.7.	Camión regador de agua.....	32
1.3.8.	Mezcladora de cemento	33
1.3.9.	Distribuidora de asfalto autopropulsada	34
2.	ANTECEDENTES SOBRE LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS ENZIMÁTICOS EN PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA.....	37
2.1.	Aplicación de enzimas orgánicas en el proyecto Patzicia-Chimaltenango	37
2.2.	Descripción del proyecto	39
2.3.	Descripción de trabajos realizados	41
2.4.	Resultados de laboratorio	44
3.	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS ORGÁNICOS COMO ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.....	49
3.1.	Problemas de campo más comunes en el mantenimiento vial.....	49
3.1.1.	Carencia de bancos de material de préstamo	49
3.1.2.	Encarecimiento del proyecto en la compra y traslado de material.....	50

3.1.3.	Falta de presupuesto destinado para mantenimiento de la red vial de Guatemala por parte de las entidades de Gobierno encargadas	51
3.1.4.	Ejemplo de la problemática en las aldeas del municipio de San Juan Sacatepéquez, del departamento de Guatemala	53
3.2.	Definición de enzimas.....	54
3.3.	Función de las enzimas en la estabilización de suelos	55
3.4.	Definición de aditivo enzimático	57
3.5.	Método de aplicación.....	59
3.5.1.	Especificaciones del material para aplicar el aditivo	62
3.5.2.	Dosificación recomendada del aditivo y humedad requerida para su aplicación.....	63
3.6.	Ventajas en la aplicación y uso del aditivo enzimático	66
3.7.	Tiempo que se dispone para aplicar el aditivo.....	69
3.8.	Aplicación del sello o riego de impregnación a los caminos tratados con aditivo multienzimático	69
4.	ENSAYOS DE LABORATORIO APLICADOS A MATERIALES TRATADOS CON ADITIVOS ENZIMÁTICOS.....	73
4.1.	CBR.....	73
4.2.	Índice de plasticidad	80
4.3.	Clasificación del suelo	84
4.4.	Granulometría.....	85
4.5.	Compacidad	86
4.6.	Comparación de resultados entre material virgen y material tratado con productos enzimáticos	87
4.6.1.	Análisis de resultados.....	99

CONCLUSIONES..... 101
RECOMENDACIONES 103
BIBLIOGRAFÍA..... 105
APÉNDICES..... 107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Corrección de curvas de tensión.....	77
2.	Relación entre el índice de plasticidad y el porcentaje en peso de partículas.....	82
3.	Relación que existe entre el índice de plasticidad y el límite líquido	83
4.	Resultados de laboratorio aplicados a la subrasante (límite líquido, plástico, índice de plasticidad)	89
5.	Resultados de laboratorio aplicados a la subrasante (Proctor)	90
6.	Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena (límite líquido, plástico, índice de plasticidad)	91
7.	Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena (Proctor)	92
8.	Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0,4 litros de Perma-Zyme 11X (límite líquido, plástico, índice de plasticidad)	93
9.	Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0,4 litros de Perma-Zyme 11X (proctor 7 días).....	94
10.	Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0,4 litros de Perma-Zyme 11X (proctor 14 días).....	95

11.	Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0.4 litros de Perma-Zyme 11X (Proctor 21 días)	96
12.	Resultado de laboratorio. Días contra CBR.	97
13.	Resultado de laboratorio. Días contra porcentaje de hinchamiento	98

TABLAS

I.	Inventario de red vial de terracerías departamento de Guatemala a cargo de Dirección General de Caminos	4
II.	Listado de tramos asignados a proyectos con relación al municipio de Guatemala a cargo de COVIAL.	5
III.	Presupuesto asignado al Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda	13
IV.	Composición del concreto de cemento hidráulico para pavimentos ...	21
V.	Graduación de los agregados para tratamientos superficiales (AASHTO M 43).....	23
VI.	Cuadro de resumen de los análisis de laboratorio del material de subrasante. Proyecto: C-17 RD-CHIM-05. tramo: Patzicía – Acatenango 54566326.....	44
VII.	Resultados de laboratorio. Proyecto C-17. tramo: km 8 – Acatenango R.D. CHIM 5	46
VIII.	Datos de resultados de densidades y CBR	47
IX.	Datos de CBR, y cálculo de porcentaje de aumento	48
X.	Valores de carga unitaria utilizados en ecuación.....	74
XI.	Energía de compactación	75
XII.	Clasificación de suelos para estructuras de pavimentos	75
XIII.	Penetración-tensiones normalizadas	78
XIV.	Clasificación de suelo de acuerdo al CBR.....	79

XV.	Plasticidad del suelo	81
XVI.	Actividad de las arcillas	82
XVII.	Numeración y abertura de tamices	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
IP	Índice de Plasticidad
km	Kilometro
KN	Kilo Newton
lb/p³	Libras sobre pie cubico
psi	Libras sobre pulgada cuadrada
LL	Límite liquido
LP	Límite plástico
Mpa	Mega pascales
m	Metro
m³	Metro cubico
mm	Milímetro
nm	Nanómetro

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway Transportation Officials.
Arcilla	Suelo cohesivo que se compone de partículas cuyo diámetro es menor de 0,006 milímetros.
ASTM	American Society for Testing And Materials.
Balasto	Capa de grava que se tiende para asentar y sujetar las traviesas de las vías férreas, o en carreteras como base del pavimento.
Banco	Masa de tierra que se levanta sobre la superficie normal de la tierra. Generalmente, cualquier masa de tierra que se va a excavar de su sitio natural.
Base	Capa de material sobre el cual se pone una carpeta de rodadura.
Capilaridad	Proceso de los fluidos que depende de su tensión superficial.
CBR	California Bearing Ratio. Escala de medida del valor soporte del Suelo.

Cohesión	Característica de algunas partículas del suelo de atraerse y adherirse a partículas semejantes. Se mantienen pegadas.
Contenido de humedad óptima	El porcentaje de humedad al cual puede obtenerse la densidad máxima del suelo mediante compactación.
COVIAL	Unidad Ejecutora de Conservación Vial.
Densidad	La relación del peso de la sustancia a su volumen.
Enzimas	Compuestos orgánicos similares a las proteínas que actúan como catalizadores, debido a que la estructura de sus moléculas, contienen partes activas que de las arcillas acelera el proceso de aglutinamiento.
Estabilizar	Afirmar el suelo para impedir su movimiento.
Finos	Las partículas más pequeñas del suelo en una mezcla de suelo granulada.
Grava	Suelo de partículas gruesas de tamaños que varían de 10 a 76 milímetros.
Hidrófila	Comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por el agua.

Hidrófoba	Sustancias que son repelidas por el agua o no se pueden mezclar con ella.
Humedad óptima	Ensayo utilizado para alcanzar el mayor grado de compactación.
Impermeable	Resistencia al movimiento de agua.
Limite Líquido	El contenido de agua al cual el suelo cambia de estado plástico a líquido.
Limite Plástico	El contenido mínimo de agua con el cual el suelo permanece en estado plástico.
Limo	Suelo compuesto de partículas de tamaño que varían entre 0,09 y 0,006 mm. de diámetro.
Nivel de afirmado	Carreteras que cuentan únicamente con compactación sobre terracería.
Perma-zyme 11x	Marca de aditivo a base de enzimas orgánicas.
Proctor estándar	Se emplea casi universalmente para determinar la densidad máxima de cualquier suelo, con el propósito que las especificaciones se cumplan correctamente para satisfacer los requisitos de construcción.

RD Chim-5	Ruta departamental Chimaltenango N°. 5.
RD-GUA	Ruta Departamental Guatemala.
Relleno	Materiales empleados para rellenar un corte u otra excavación.
Subbase	Capa de material seleccionado que se coloca para dar resistencia a la base del camino.
Subrasante	Superficie producida nivelando la tierra nativa, o materiales baratos traídos de otra parte que sirven como base para un pavimento más costoso.
Suelo	Superficie de material suelo de la corteza terrestre.
Terraplén	Relleno cuya superficie es más alta que la superficie natural adyacente.
TPDA	Transito Promedio Diario Anual.

RESUMEN

Este trabajo de graduación evalúa un producto poco conocido en el mercado de la construcción vial, como lo es el aditivo multienzimático, este es un aditivo a base de enzimas orgánicas, que se presenta como posible alternativa a la carencia de bancos de préstamo de material en el municipio de Guatemala.

Debido a que estos bancos han sido altamente explotados, son pocos los que ofrecen un material idóneo para subbases y bases en una carretera, tomando en cuenta que estas son fundamentales en proyectos de alta afluencia vehicular.

Se propone esta nueva técnica de estabilización a las entidades encargadas de construcción y mantenimiento vial, para mejorar la calidad de estos proyectos, así como la durabilidad de los mismos, reduciendo con ello el tiempo de construcción, evitando acarreo de materiales desde puntos distantes a la ejecución de la obra, pues este rubro incrementa altamente el costo de todo proyecto vial.

Se analizan también las causas que motivan a buscar nuevas alternativas de estabilización de suelos debido a la falta de bancos, así como la comparación de materiales a los cuales se aplican estabilizadores multienzimáticos; presentando mejoras obtenidas para los materiales que se encuentran en el sitio, procurando obtener resultados que sirvan para futuras experiencias en la construcción de carreteras.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer una nueva técnica de estabilización de suelos y los parámetros necesarios para poder aplicarlos en Guatemala, debido al déficit del material que se presenta, a causa de la explotación de los pocos bancos que poseen materiales idóneos para proyectos viales.

Específicos

1. Evaluar la viabilidad técnica de la estabilización de suelos por medio de productos enzimáticos.
2. Determinar si la estabilización a base de enzimas es una alternativa a la carencia de bancos de préstamo de material.
3. Proponer la estabilización enzimática como una alternativa futura en los proyectos viales en Guatemala.
4. analizar el período de durabilidad de un proyecto tratado con una estabilización enzimática, en comparación con un proyecto trabajado de manera tradicional.

INTRODUCCIÓN

La red vial departamental de Guatemala tiene especial importancia como base para el progreso, bienestar económico y social de las regiones, y es un valioso patrimonio nacional que se debe cuidar y preservar mediante un mantenimiento adecuado y oportuno, que permita una transitabilidad satisfactoria para los usuarios. Al respecto, se ha demostrado internacionalmente, que un apropiado mantenimiento de la red caminera disminuye significativamente los costos de operación de los vehículos, reduce los tiempos de recorrido, mejora la comodidad para la circulación vehicular y disminuye los accidentes de tráfico por causa del mal estado de la vía, todo lo cual facilita el acceso de los bienes producidos en las localidades apartadas, hacia los centros consumidores y ayuda a expandir los servicios públicos de diferente índole en las zonas rurales.

Asimismo, un mantenimiento vial efectivo y sostenido, evita las rehabilitaciones y las reconstrucciones, las cuales tienen siempre repercusiones económicas costosas y son técnicamente evitables.

El tema del mantenimiento vial, en términos generales; requiere de un cambio cultural en las organizaciones encargadas, empezando por el reconocimiento de su importancia, por parte de quienes toman las decisiones para asignar los recursos financieros de los diversos sectores y progresivamente ir consolidando un manejo operativo técnico riguroso por personal calificado, para la ejecución planificada de las obras y de las actividades específicas de mantenimiento. En estos aspectos, se reconoce que el mantenimiento de los caminos requiere de políticas institucionales estables,

de planificación, organización, tecnología apropiada, recursos financieros suficientes y oportunos, personal calificado y, preferiblemente, participación de la comunidad, para lograr eficiencia, eficacia y alta productividad.

Uno de los problemas a los que se enfrentan los proyectos de infraestructura vial, es la calidad de los suelos que se encuentran en los emplazamientos en donde se van a llevar a cabo las obras, debido a que algunos de ellos no cumplen con las propiedades geotécnicas necesarias para llevar a cabo el proyecto; lo que conlleva en muchos casos a la obtención de material de préstamo.

Actualmente existen diferentes productos tradicionales para la estabilización del suelo; como la cal y el cemento sin embargo, a lo largo del tiempo se ha podido establecer que la aplicación de estos productos genera diversos impactos ambientales. Sin embargo, la estabilización de suelos por medio de productos enzimáticos, además de mejorar las características geotécnicas del terreno, disminuye los costes asociados a la obtención y transporte de materiales de préstamo y a los impactos medio ambientales generados por esta actividad.

1. ENTIDADES A CARGO DE MANTENIMIENTO VIAL EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

1.1. Definición de mantenimiento vial

El mantenimiento vial en general es el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro. En los sistemas paralelos de mantenimiento vial, también se incluyen actividades socioambientales, de atención de emergencias viales y de cuidado y vigilancia de la vía.

Las actividades de mantenimiento se clasifican usualmente por la frecuencia como se repiten: rutinarias y periódicas. En la realidad todas son periódicas, pues se repiten cada cierto tiempo en un mismo elemento. Sin embargo, en la práctica las rutinarias se refieren a las actividades repetitivas que se efectúan continuamente en diferentes tramos del camino y las periódicas son aquellas actividades que se repiten en lapsos más prolongados de más de un año. Bajo estas consideraciones, se define el mantenimiento rutinario y el mantenimiento periódico de la siguiente manera:

Mantenimiento rutinario: es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan diariamente en los diferentes tramos de la vía. Tiene como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de

daños, y en lo posible conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. Debe ser de carácter preventivo y se incluyen en este mantenimiento las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras.

En los sistemas tercerizados de mantenimiento vial, también se incluyen actividades socioambientales de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía.

Mantenimiento periódico: es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos en general de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o agravamiento de defectos mayores, preservar las características superficiales, conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores.

1.1.1. Municipalidades regionales

Cada una de las municipalidades a cargo de los 17 municipios que conforman el departamento de Guatemala, tiene a su cargo el mantenimiento vial de su jurisdicción, siendo estos de distinta índole y se pueden desglosar de la siguiente manera: trabajos en casco urbano; los que incluyen bacheos menores, reparación de tramos pavimentados, limpieza de drenajes y avenidas. Y trabajos en áreas rurales, los cuales incluyen reconfiguración de superficies no pavimentadas, aplicación de capa de balasto. Cada una de las actividades se realiza dependiendo de las condiciones en que se encuentre cada ruta municipal.

Se debe tomar en cuenta que en algunos municipios del departamento de Guatemala, la Dirección General de Caminos (DGC) y la Unidad Nacional de Conservación Vial, tienen presencia en el mantenimiento vial de rutas de terracería y de rutas con carpeta asfáltica o pavimentada.

1.1.2. Dirección General de Caminos

La Dirección General de Caminos es la institución gubernamental que planifica, diseña, ejecuta y supervisa las obras de construcción, mejoramiento, ampliación, reconstrucción y mantenimiento de las carreteras en la República de Guatemala, contribuyendo al desarrollo nacional y al bienestar económico y social de la población guatemalteca. Actualmente esta institución supervisa todos los proyectos realizados por la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), así como la ejecución de trabajos de mantenimiento de carreteras de terracería.

1.1.3. Unidad Ejecutora de Conservación Vial

Es la entidad encargada de realizar el mantenimiento correctivo y preventivo de 4 938 kilómetros de la red vial pavimentada de la República de Guatemala, en rutas centroamericanas, nacionales, interconexiones, departamentales y municipales, con el fin de detener el deterioro de la misma. Esta institución realiza trabajos rutinarios con mezcla asfáltica, que incluye bacheo así como sellado de grietas en pavimento, evacuación de aguas pluviales mediante cunetas y estabilización de taludes en el 100 por ciento de la red vial pavimentada del país.

1.1.4. Áreas a cargo de las entidades correspondientes de mantenimiento vial

La red vial de Guatemala se divide en rutas pavimentadas y de terracería, a las cuales se les brinda el mantenimiento necesario para mantenerlas transitables por parte de las entidades correspondientes, en el caso de carreteras de terracería la Dirección General de Caminos es la responsable y rutas pavimentadas o asfaltadas la Unidad Ejecutora de Conservación vial.

Tabla I. **Inventario de red vial de terracerías departamento de Guatemala a cargo de Dirección General de Caminos**

RUTA	TRAMO	MUNICIPIO	LONGITUD km	UBICACIÓN
CR GUA 01	San Juan Sacatepéquez - Los Yax	San Juan Sacatepéquez	4,6	Distrito Nº. 6
CR GUA 02	San Juan Sacatepéquez - Cruz Blanca - Río Tapanal - Sta. Fé Ocaña - El Pilar.	San Juan Sacatepéquez	6,6	Distrito Nº. 6
CR GUA 03	Pachalí - Pasajoc	San Juan Sacatepéquez	3,9	Distrito Nº. 6
CR GUA 04	Cerro Alto - Los Patzanes	San Juan Sacatepéquez	3,5	Distrito Nº. 6
CR GUA 05	Cerro Alto - Realgüith	San Juan Sacatepéquez	5,5	Distrito Nº. 6
CR GUA 06	CR GUA 05 - Los Ajvixes	San Juan Sacatepéquez	2,98	Distrito Nº. 6
CR GUA 07	RD GUA 18 - Los Pirir	San Juan Sacatepéquez	2,3	Distrito Nº. 6
CR GUA 08	Suacitè - Los Guates	San Juan Sacatepéquez	2,5	Distrito Nº. 6
CR GUA 09	Montufar - San Jerónimo Choaxán	San Juan Sacatepéquez	2,5	Distrito Nº. 14
RD GUA 03	RD GUA 01 - Laguna Calderas Amatitlán	Amatitlán	12,9	Distrito Nº. 6
RD GUA 15	Ciudad de Guatemala - RD GUA 22	Chinautla - San Pedro Ayampuc	15	Distrito Nº. 6
RD-GUA 50	RN-5 - Aldea Sajcavilla	San Juan Sacatepéquez	4,400	Distrito Nº. 6

Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

Tabla II. **Listado de tramos asignados a proyectos con relación al municipio de Guatemala a cargo de COVIAL**

Ruta	Tramo	Longitud (km)
RD-GUA-58-01	Ciudad Quetzal - Lo De Ortega	2,86
RD-GUA-04-03	El Carrizal - San Martineros	2,03
RD-GUA-04-05	Chinautla - San José Las Flores	6,90
RD-GUA-04-06	Chinautla - Guatemala	7,63
RD-GUA-12-01	EL CARRIZAL - CHUARRANCHO	7,49
RD-GUA-12-02	Chuarrancho - Hacia Salamá (Fin del asfalto)	1,68
RD-GUA-52	CA-01-Occidente - Ciudad Satélite	3,29
RD-GUA-08	San Pedro Sacatepéquez - bifurcación El Pilar limite departamental Sacatepéquez/Guatemala	2,42
RD-GUA-11	San Pedro Sacatepéquez - Las Tres Cruces (Limite departamental Guatemala/Sacatepéquez)	3,93
RD-GUA-57	San Juan Sacatepéquez - Sajcavilla	3,13
RD-GUA-56-01	RN-05 - Aldea Sajcavilla	4,27
RD-GUA-18-01	Montufar - KM. 52+000 hacia Pachalum	7,48
RD-GUA-18-02	km 52+000 hacia Montufar - puente Vega De Godínez	1,44
RN-05-02	San Pedro Sacatepéquez - San Juan Sacatepéquez	5,38
RN-05-03	San Juan Sacatepéquez - Pachali	8,16
RN-05-04	RN-05, Pachali - Montufar	5,33
CA-01-ORIENTE-01B	Santa Rosalía, km 11+500 - Don Justo	5,15
RD-GUA-21-01	CA-01-Oriente - bifurcación RD-GUA-53	0,60

Continuación de la tabla II.

Ruta	Tramo	Longitud (km)
RD-GUA-21-02	Bifurcacion RD-GUA-53 - Santa Catarina Pínula	2,00
RD-GUA-40-01	CA-01-Oriente, KM. 17+400 - Cristo Rey	4,00
RD-GUA-40-02	Cristo Rey - Piedra Parada El Rosario	2,62
RD-GUA-49	RN-18 - El Pajon - Laguna Bermeja	4,03
RD-GUA-53	Bifurcacion RD-GUA-21 - Muxbal - CA-01-Oriente	3,70
RD-GUA-54	Bifurcacion RD-GUA-40, Piedra Parada - Ca-01-Oriente - Puerta Parada - RN-02	6,30
RN-18-02	San José Pínula - bifurcacion Al Durazno (KM. 22+000) a Mataquescuintla	3,80
RD-GUA-13-01	CA-01-Oriente (Don Justo) - Lo De Diéguez	6,00
RD-GUA-13-02	Aldea Lo De Diéguez - Aldea Yumanes	5,70
RN-02-01	CA-01-Oriente – Fraijanes	8,58
RN-02-02	Fraijanes - aldea El Cerrito - aldea Los Verdes (limite zona 1-2)	8,27
CA-01-ORIENTE-04	RD-GUA-10, Desvío Santa Elena Barillas - Finca La Concha	10,40
CA-01-ORIENTE-05	Finca La Concha - RD-SRO-04, desvío Pueblo Nuevo Viñas	5,60
RD-GUA-09-02	El Botadero - El Jocotillo	8,46
RD-GUA-09-03	El Jocotillo - CA-01-ORIENTE (Finca La Concha)	6,56
RD-GUA-09-01	El Obrajuelo - El Botadero	4,50
RD-GUA-10-01	CA-01-Oriente - bifurcación RD-GUA-27	5,10
RD-GUA-10-02	Bifurcación RD-GUA-27 - Santa Elena Barillas	5,99
RD-GUA-10-03	Santa Elena Barillas - Los Pocitos	12,18

Continuación de la tabla II.

Ruta	Tramo	Longitud (km)
RD-GUA-23	RD-GUA-10, Los Dolores - El Botadero, RD-GUA-09	4,39
RD-GUA-01-02	RD-GUA-27, Villa Canales - puente La Gloria, Amatitlán	21,59
RD-GUA-27	RD-GUA-10,Capulín - RD-GUA-01	5,37
RD-GUA-30	Villa Canales - El Relleno	4,51
RD-GUA-41-01	RD-GUA-02 - entrada Mayan Golf	2,65
CA-09-SUR-01 ^a	Monumento Caminero - inicio pavimento de concreto, Gentrac	2,78
RD-GUA-01-03	Puente La Gloria - CA-09-SUR	1,64
RD-GUA-01-A	CA-09-SUR – Asiole	0,90
RD-GUA-47	CA-09-SUR - Naciones Unidas – Amatitlán	4,94
RD-GUA-59	San José Villa Nueva - Barcenás	3,82
RD-GUA-60	Vía de retorno, Ramírez - San Miguel El Zope	0,90
RD-GUA-55-01	CA-09-Norte - Las Canoas	6,03
RD-GUA-55-02	Las Canoas - Los Ocotes - aldea Santa Rita - RD-GUA-06	4,88
RD-GUA-06-01	Bifurcación CA-09-NORTE - Palencia	9,14
RD-GUA-06-02	Palencia - Los Mixcos	5,05
RD-GUA-06-03	Los Mixcos - Santa Rita	5,70
RD-GUA-06-04	Santa Rita - San José Pínula	8,70
RD-GUA-07-01	CA-09-Norte - San José del Golfo	10,50
RD-GUA-07-02	San José del Golfo - Loma Tendida	10,88
RD-GUA-22-01	Las Tapias - KM. 15+000 a San Pedro Ayampuc	7,50
RD-GUA-22-02	KM. 15+000 de Las Tapias - San Pedro Ayampuc	7,30

Continuación de la tabla II.

Ruta	Tramo	Longitud (km)
RD-GUA-16-03	Barcenas - CA-09-SUR (paso a desnivel)	3,90
RD-GUA-59	CA-09-SUR - San José Villanueva	3,83
RD-GUA-14-A	Ciudad Real - San Miguel Petapa	7,16
RD-GUA-05-01	bifurcación El Milagro - Ciudad Quetzal	7,80
RD-GUA-04-01	RN-05,Pachali - San Raymundo	4,24
RD-GUA-05-02	Ciudad Quetzal - San Raymundo	9,96
Blvd San Cristóbal	CA-01-Occidente - boulevard San Cristóbal, paso a desnivel, (22 avenida La Fuente San Cristóbal)	5,50
RD-GUA-05-01	Bifurcación El Milagro - Ciudad Quetzal	7,80
RD-GUA-58-01	Ciudad Quetzal - Lo De Ortega	2,86
RD-GUA-04-01	RN-05,Pachali - San Raymundo	4,24
RD-GUA-04-02	San Raymundo - El Carrizal	7,28
RD-GUA-05-02	Ciudad Quetzal - San Raymundo	9,96
RD-GUA-04-03	El Carrizal - San Martineros	2,03
RD-GUA-04-05	Chinautla - San José Las Flores	6,90
RD-GUA-04-06	Chinautla – Guatemala	7,63
RD-GUA-12-01	El Carrizal – Chuarrancho	7,49
RD-GUA-12-02	Chuarrancho - hacia Salamá (fin del asfalto)	1,68
RD-GUA-07-01	CA-09-Norte - San José Del Golfo	10,50
RD-GUA-07-02	San José Del Golfo - Loma Tendida	10,88
RD-GUA-22-01	Las Tapias - km. 15+000 a San Pedro Ayampuc	7,50
RD-GUA-22-02	km 15+000 De Las Tapias - San Pedro Ayampuc	7,30
RN-05-01	Guatemala - San Pedro Sacatepéquez	10,77

Continuación de la tabla II.

Ruta	Tramo	Longitud (km)
RD-GUA-08	SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ - BIFURCACIÓN EL PILAR LÍMITE DEPARTAMENTAL SACATEPÉQUEZ/GUATEMALA	2,42
RD-GUA-11	SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ - LAS TRES CRUCES (LÍMITE DEPARTAMENTAL GUATEMALA/SACATEPÉQUEZ)	3,93
RD-GUA-57	SAN JUAN SACATEPÉQUEZ - SAJCAVILLA	3,13
RD-GUA-56-01	RN-05 - ALDEA SAJCAVILLA	4,27
RD-GUA-18-01	MONTUFAR - KM. 52+000 HACIA PACHALUM	7,48
RD-GUA-18-02	KM. 52+000 HACIA MONTUFAR - PUENTE VEGA DE GODÍNEZ	12,44
RN-05-02	SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ - SAN JUAN SACATEPÉQUEZ	5,38
RN-05-03	SAN JUAN SACATEPÉQUEZ - PACHALI	8,16
RN-05-04	RN-05, PACHALI - MONTUFAR	5,33
CA-01-ORIENTE-01B	SANTA ROSALÍA, Km. 11+500 - DON JUSTO	5,15
RD-GUA-21-01	CA-01-ORIENTE - BIFURCACIÓN RD-GUA-53	0,60
RD-GUA-21-02	BIFURCACIÓN RD-GUA-53 - SANTA CATARINA PÍNULA	2,00
RD-GUA-40-01	CA-01-ORIENTE, KM. 17+400 - CRISTO REY	4,00
RD-GUA-40-02	CRISTO REY - PIEDRA PARADA EL ROSARIO	2,62
RD-GUA-49	RN-18 - EL PAJÓN - LAGUNA BERMEJA	4,03
RD-GUA-53	BIFURCACIÓN RD-GUA-21 - MUXBAL - CA-01-ORIENTE	3,70
RD-GUA-54	BIFURCACIÓN RD-GUA-40, PIEDRA PARADA - CA-01-ORIENTE - PUERTA PARADA - RN-02	6,30
RN-18-01	CA-01-ORIENTE, DON JUSTO - SAN JOSÉ PÍNULA	5,10
RN-18-02	SAN JOSÉ PÍNULA - BIFURCACIÓN AL DURAZNO (KM. 22+000) A MATAQUESCUINTLA	3,80

Continuación de la tabla II.

Ruta	Tramo	Longitud (km)
RD-GUA-13-01	CA-01-Oriente (Don Justo) - Lo De Diéguez	6,00
RD-GUA-13-02	Aldea Lo De Diéguez - aldea Yumanes	5,70
RN-02-01	CA-01-Oriente – Fraijanes	8,58
RN-02-02	Fraijanes - aldea El Cerrito - aldea Los Verdes (limite zona 1-2)	8,27
CA-01-ORIENTE-02	Don Justo - RN-02, desvío A Fraijanes	2,40
CA-01-ORIENTE-03	RN-02, Desvío A Fraijanes - RD-GUA-10, desvío Santa Elena Barillas	6,70
CA-01-ORIENTE-04	RD-GUA-10, Desvío Santa Elena Barillas - finca La Concha	10,40
CA-01-ORIENTE-05	Finca La Concha - Rd-Sro-04, Desvío Pueblo Nuevo Viñas	5,60
RD-GUA-09-02	El Botadero - El Jocotillo	8,46
RD-GUA-09-03	El Jocotillo - Ca-01-Oriente (finca La Concha)	6,56
RD-GUA-09-01	El Obrajuelo - El Botadero	4,50
RD-GUA-10-01	CA-01-Oriente - bifurcación RD-GUA-27	5,10
RD-GUA-10-02	Bifurcación RD-GUA-27 - Santa Elena Barillas	5,99
RD-GUA-10-03	Santa Elena Barillas - Los Pocitos	12,18
RD-GUA-23	RD-GUA-10, Los Dolores - El Botadero, RD- GUA-09	4,39
RD-GUA-01-02	RD-GUA-27, Villa Canales - puente La Gloria, Amatitlán	21,59
RD-GUA-27	RD-GUA-10,Capulin - RD-GUA-01	5,37
RD-GUA-01-01	Guatemala - Villa Canales	13,17
RD-GUA-14-A	Ciudad Real - San Miguel Petapa	7,16
RD-GUA-30	Villa Canales - El Relleno	4,51
RD-GUA-41-01	RD-GUA-02 - Entrada Mayan Golf	2,65

Continuación de la tabla II.

Ruta	Tramo	Longitud (km)
CA-09-SUR-01 ^a	Monumento Caminero - inicio pavimento de concreto, GENTRAC	2,78
CA-09-SUR-01B	Inicio pavimento de concreto, Gentrac - puente Villalobos	1,67
CA-09-SUR-02	Puente Villalobos - Desvío Villa Nueva	2,07
CA-09-SUR-03	Desvío Villa Nueva - RD-GUA-47, desvío Amatitlán (Naciones Unidas)	4,37
CA-09-SUR-04	RD-GUA-47, Desvío Amatitlán (Naciones Unidas) - desvío Amatitlán (Asiole) RD-GUA-01-Aa- 500 metros adelante báscula DGC	9,67
RD-GUA-01-03	Puente La Gloria - CA-09-Sur	1,64
RD-GUA-01-A	CA-09-SUR – Asiole	0,90
RD-GUA-16-01	CA-09-Sur (sale túnel) - Bárcenas	2,80
RD-GUA-16-02	Bárcenas - Santa Lucia Milpas Altas (RN-10)	7,71
RD-GUA-47	CA-09-SUR - Naciones Unidas – Amatitlán	4,94
RD-GUA-59	San José Villa Nueva - Barcenaz	3, 2
RD-GUA-60	Vía de retorno, Ramírez - San Miguel El Zope	0,90
CA-09-NORTE-04	RD-GUA-06, Desvío Palencia - puente Agua Caliente	10,60
RD-GUA-55-01	CA-09-Norte - Las Canoas	6,03
RD-GUA-55-02	LAS CANOAS - LOS OCOTES - ALDEA SANTA RITA - RD-GUA-06	4,88
RD-GUA-06-01	Bifurcacion CA-09-Norte - Palencia	9,14
RD-GUA-06-02	Palencia - Los Mixcos	5,05

Continuación de la tabla II.

Ruta	Tramo	Longitud (km)
RD-GUA-06-03	Los Mixcos - Santa Rita	5,70
RD-GUA-06-04	Santa Rita - San José pínula	8,70
CA-01-OCCIDENTE-01	Entrada a Belén - bifurcación Boulevard San Cristóbal	3,81
CA-01-OCCIDENTE-02	Bifurcación boulevard San Cristóbal - San Lucas	10,09
RD-GUA-52	CA-01-Occidente - Ciudad Satélite	3,29
RD-GUA-07-03	Loma Tendida - KM. 42+360 Límite departamental Guatemala/El Progreso	2,51
RD-GUA-56-02	Sajcavilla - desvío a San Raymundo	6,75
RD-GUA-58-02	Lo De Ortega - Aldea Chillani	6,04
RN-18-03	Bifurcación al Durazno (Km. 22+000) – Samororo	29,89

Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

1.1.5. Frecuencia de mantenimiento vial

Entidades a cargo del mantenimiento vial como la Dirección General de Caminos y COVIAL, cuentan con una programación anual, la cual incluye 2 mantenimientos; uno preventivo y el otro correctivo, cada uno de ellos marcado con la época lluviosa. En el caso de ambas entidades, rara vez se realiza el trabajo programado una vez por año, debido a la falta de presupuesto asignado para ello, situación por la cual las rutas a cargo de estas instituciones necesitan ser trabajadas con los mejores materiales o en su caso con nuevas tecnologías que aseguren una mayor durabilidad.

Las municipalidades regionales cuentan con un presupuesto asignado para mantenimiento de rutas municipales, en el casco urbano los trabajos se efectúan conforme se van suscitando, es decir reparaciones menores (bacheos, sellado de grietas en pavimentos) debido a que la mayoría de rutas se encuentran pavimentadas. En rutas de terracería el mantenimiento se programa una sola vez por año, debido a que los fondos asignados muchas veces son insuficientes, razón por la cual no se alcanza a cubrir la totalidad de rutas.

Las 3 entidades antes mencionadas cuentan con programas de trabajo en caso de emergencias, el cual incluye habilitación de rutas, limpieza de atascaderos, remoción de derrumbes, entre otras. Estas actividades se consideran no periódicas, debido a que se pueden dar mayormente en época lluviosa.

1.1.6. Presupuesto asignado a mantenimiento vial y forma de distribución

El presupuesto destinado al mantenimiento vial forma parte de un conjunto de renglones que son utilizados por distintas dependencias de estado, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla III. Presupuesto asignado al Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda

Unidad ejecutora	Funcionamiento Q.	Inversión Q.
DIRECCIÓN SUPERIOR	295 000 000,00	200 000 000,00
CAMINOS	308 877 800,00	3 197 200 603,00
COVIAL	859 885 655,00	0
TRANSPORTES	9 949 000,00	1 000,00
AERONÁUTICA CIVIL	184 074 402,00	4,000,000,00
UCEE	7 000 000,00	35 000 000,00

Continuación de la tabla II.

RADIO TGW	9 547 636,00	3 122 364,00
CABLE	4 003 974,00	0
INSIVUMEH	24 294 999,00	43 975 001,00
CORREOS Y TELÉGRAFOS	9 009 875,00	290 125,00
SIT	39 559 090,00	3 222 910,00
FONDETEL	7 000 000,00	14 000 000,00
UDEVIPO	20 500 000,00	35 000 000,00
PROVIAL	30 000 000,00	8 390 500,00
FONDO SOCIAL DE SOLIDARIDAD	167 183 311,00	104 625 930,00
FOPAVI	19,456,478	438 529 317,00

Fuente: elaboración propia.

Pertenece a los totales de la tabla anterior.

Funcionamiento Q. 1 995 342 250,00

Inversión Q. 3 889 357 750,00

TOTAL Q. 5 884 700 000,00

1.2. Tipos de mantenimiento realizados por las distintas dependencias

El mantenimiento vial está asignado a distintas dependencias de acuerdo a la superficie de rodadura a trabajar, la cual puede ser terracería o algún tipo de cubierta rígida o flexible, los distintos casos se detallan a continuación.

1.2.1. Reconformación de superficies no pavimentadas

Esta actividad se ejecuta cuando la ruta a trabajar posee suficiente material idóneo para dar el mantenimiento necesario, consiste en escarificar el ancho total de la carretera para extraer todo el material que se ha acumulado en las

orillas, esto se realiza en tramos no mayores a una longitud de 500 metros para no entorpecer el flujo vehicular. Posteriormente se procede a humedecer el material con un camión regador de agua, el cual debe dejar el material con un grado de humedad óptimo, si el material estuviera pasado de humedad, se debe airear; para luego proceder a distribuir homogéneamente con una motoniveladora, la cual deberá pasar varias veces dependiendo del estado en que se encuentre el tramo, por último se procede a compactar el tramo.

1.2.2. Capa de balasto

Es un material clasificado que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y servir de superficie de rodadura. Este trabajo consiste en el suministro, transporte y colocación del material con la humedad requerida; conformación y compactación de la capa de balasto, de acuerdo con el espesor total mostrado en los planos y lo descrito en especificaciones generales y en las disposiciones especiales.

El material balasto debe ser de calidad uniforme y estar exento de residuos de madera, raíces o cualquier material perjudicial o extraño. El material de balasto debe tener un peso unitario suelto no menor de 1 450 kilogramos por metro cúbico (90 lb/pie³) determinado por el Método AASHTO T 19. El tamaño máximo del agregado grueso del balasto, no debe exceder de $\frac{2}{3}$ del espesor de la capa y en ningún caso debe ser mayor de 100 milímetros. El que sea mayor, debe ser separado; ya sea por tamizado en el banco de material o según lo autorice el delegado residente.

La porción del balasto retenida en el tamiz 4,75 milímetros (N° 4), debe estar comprendida entre el 60 y el 40 por ciento en peso y debe tener un porcentaje de abrasión no mayor de 60, determinado por el Método AASHTO T

96. La porción que pase el tamiz 0,425 milímetros (N° 40) debe tener un límite líquido no mayor de 35, determinado por el Método AASHTO T 89 y un índice de plasticidad entre 5 y 11, determinado por el Método AASHTO T 90. La porción que pase el tamiz 0,075 milímetros (N° 200), no debe exceder de 15 por ciento en peso, determinado por el Método AASHTO T11.

No se debe dejar sin cubrir la subrasante, en una longitud mayor de 2 kilómetros. El espesor total de la capa de balasto no debe ser menor de 100 milímetros ni mayor de 250 milímetros.

Cuando la capa de balasto se deba colocar sobre una subrasante existente, esta debe ser previamente conformada, escarificada y compactada superficialmente, respetando las líneas, pendientes y sección típica establecidas en los planos y especificaciones. En los lugares donde se encuentre material inadecuado, este debe ser removido hasta una profundidad de por lo menos 300 milímetros y reemplazados con material apropiado. Todas las rocas o piedras grandes que se encuentren en el lecho de la carretera, se deben excavar hasta los límites laterales de la misma, mostrados en los planos y a una profundidad por lo menos de 300 milímetros debajo de la subrasante.

Las capas de balasto se deben compactar como mínimo al 95 por ciento de la densidad máxima determinada por el Método AASHTO T 180.

El contratista debe controlar el contenido de humedad adecuado del material por medio de ensayos de laboratorio y campo, secando el material y determinando la humedad a peso constante o por el Método del Carburo de Calcio, AASHTO T 217, a efecto de obtener la compactación especificada. La capa debe ser nivelada con equipo apropiado para asegurar una compactación

uniforme y no se aprobará la compactación, hasta que se llenen los requisitos correspondientes especificados.

La compactación se comprobará en el campo cada 600 metros cuadrados y en forma alterna a lo ancho de la sección, de preferencia mediante el Método AASHTO T 191 (ASTM D 1556). Con la aprobación escrita del delegado residente se pueden utilizar otros métodos técnicos, incluyendo los no destructivos.

La medida se debe hacer por el número de metros cúbicos de capa de balasto, con aproximación de 2 decimales debidamente construidos por el contratista y aceptados por el delegado residente. El volumen debe ser el del material compactado en su posición final, calculado por procedimientos analíticos.

Para el cálculo, la dimensión longitudinal debe ser la realmente cubierta por la capa, medida en proyección horizontal; la dimensión transversal debe ser el ancho también en proyección horizontal, mostrado en los planos ú ordenado por escrito por el delegado residente y realmente cubierto por el contratista; y el espesor, será el mostrado en los planos y/o descrito en las disposiciones especiales y realmente compactado.

1.2.3. Pavimentación con mezcla en caliente

Consiste en la colocación de una carpeta de concreto asfáltico sobre una carretera en la que la anterior ha sido destruida o en una balastrada que se considere mejorarla. Esta actividad mejora la carretera, aumenta su capacidad de carga, disminuye costos de conservación y hace más cómodo y seguro su uso.

Es el sistema de construcción asfáltica, que consiste en la elaboración en planta en caliente, de una mezcla de proporciones estrictamente controladas de materiales pétreos, polvo mineral, cemento asfáltico y aditivos, para obtener un producto de alta resistencia y duración, con características de calidad uniformes, que se puede tender y compactar de inmediato en la carretera, en una o en varias capas de ser requerido, para proporcionar las características de resistencia y textura a las capas de soporte o de superficie, según se establezca en los planos y en las disposiciones especiales.

Es el pavimento de concreto asfáltico compuesto por materiales provenientes del fresado de una carpeta existente y de la recuperación total o parcial de la base subyacente, si así se especifica en las disposiciones especiales, combinados con agregados triturados nuevos y cemento asfáltico, incluyendo agentes recicladores o rejuvenecedores cuando sean requeridos, mezclados en caliente, en una planta de concreto asfáltico.

1.2.4. Pavimentación con mezcla en frío

Es la mezcla de agregados pétreos nuevos mezclados en frío con material bituminoso en la carretera o en planta para constituir la capa de superficie del pavimento o esta misma mezcla combinada con agregados recuperados de una carpeta existente y material bituminoso para constituir la capa de base de una carpeta. La mezcla puede ser de textura abierta o cerrada, dependiendo de las características de graduación de los agregados pétreos y según se establezca en las disposiciones especiales.

Este trabajo consiste en: la obtención y explotación de canteras o bancos de piedra o grava, usándolas en su estado natural, clasificado o bien triturado

total o parcialmente cuando así se requiera en los planos o disposiciones especiales.

Combinándolas con agregados recuperados, arena o polvo de roca para producir un agregado clasificado; el apilamiento y almacenamiento de los agregados pétreos, el suministro, transporte y preparación de los mismos; el suministro, almacenamiento, acarreo, calentamiento y aplicación del material bituminoso; la ejecución de la mezcla; el transporte, colocación, curado, conformación y compactación de la mezcla asfáltica en frío; la regulación del tránsito; así como el control de laboratorio durante todas las operaciones necesarias para construir una capa de mezcla asfáltica en frío, en una o varias capas de conformidad con lo indicado en los planos y ajustándose a los alineamientos horizontal y vertical y secciones típicas de pavimentación, dentro de las tolerancias estipuladas y de conformidad con estas especificaciones generales y disposiciones especiales.

1.2.5. Pavimentación con concreto rígido

Es un pavimento rígido de concreto, fabricado de cemento hidráulico con o sin refuerzo, que se diseña y construye para resistir las cargas e intensidad del tránsito.

Existen varios tipos de pavimentos rígidos, que pueden dividirse en:

- Pavimentos de concreto simple.
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados con barras de acero.

Los pavimentos de concreto simple a la vez pueden ser de dos tipos:

- Pavimento de concreto simple con juntas sin barras de transferencia.
- Pavimento de concreto simple con juntas con barras de transferencia.

Ambos con losas de 3 a 6 metros.

Este trabajo consiste en la construcción sobre subrasante, subbase o base preparada y aceptada previamente; de la carpeta o losa de pavimento de concreto, de acuerdo con los planos incluyendo la fabricación y suministro del concreto estructural, ajustándose a los alineamientos horizontal y vertical, espesores y secciones típicas de pavimentación dentro de las tolerancias estipuladas de conformidad con estas especificaciones generales y disposiciones especiales.

En los planos de sección típica de pavimentación, se deberá indicar el año base utilizado para el diseño del pavimento, el período de diseño, el total de ejes equivalentes de 80 kilonewton y el módulo de reacción de la subrasante utilizado para el carril de diseño durante el período correspondiente, el espesor de la capa de concreto hidráulico con sus respectivas clases, los tipos de juntas, y la colocación del acero de refuerzo, si es necesaria de acuerdo con lo especificado en las disposiciones especiales.

El concreto de cemento hidráulico para pavimentos debe ser como mínimo clase 24,5 (3 500), con una resistencia a compresión AASHTO T 22 (ASTM C 39), promedio mínima de 24,5 megapascales (3 500 psi) y una resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 3,8 megapascales (550 psi), determinadas sobre especímenes preparados según AASHTO T 126 (ASTM C 192) y T 23 (ASTM C 31), ensayados a los 28 días. Cuando en los

planos y disposiciones especiales no se indique la clase, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto, deben usarse los valores que se indican a continuación.

Para pavimentos de carreteras principales y vías urbanas principales con un tránsito promedio diario anual mayor de 5 000 y con un tránsito pesado promedio diario arriba del 20 por ciento, debe usarse un concreto de clase 28 (4 000 psi) o mayor, con una resistencia a la flexión AASHTO T97 (ASTM C78) promedio mínima de 4,5 megapascales (650 psi) o mayor, que llene todos los requisitos de la tabla IV.

Tabla IV. Composición del concreto de cemento hidráulico para pavimentos

Relación agua cemento máxima	Temperatura del concreto	Asentamiento AASHTO T 119	Contenido de aire mínimo ⁽¹⁾	Tamaños agregados AASHTO M 43	Resistencia a la compresión AASHTO T-22	Resistencia a la Flexión AASHTO T 97
0,49	20 ± 10 ° C	40 ± 20 mm	4,5 %	551,04 (b) y (c)	28 MPa (4 000 psi)	4,5 MPa (650 psi)

⁽¹⁾Si se usa agregado de tamaño nominal máximo 3/8", el contenido mínimo de aire es de 5%.

Fuente: Normas de Ejecución, Ministerio de Comunicaciones, Transportes y Obras Públicas, Dirección General de Caminos.

1.2.6. Doble tratamiento superficial

Tratamiento asfáltico superficial: es una capa de revestimiento formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados de tamaño uniforme esparcidos uniformemente, que mediante el proceso de compactación son acomodados y orientados en su posición más densa. Esta capa está destinada principalmente a recibir directamente la acción

del tránsito, proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje.

Este trabajo consiste en la obtención y explotación de canteras y bancos, la trituración de piedra o grava y lavado para formar los agregados clasificados, su apilamiento y almacenamiento, la preparación y delimitación de la superficie a tratar; el suministro, acarreo y distribución uniforme superficial del material asfáltico y agregados pétreos, la compactación; la regulación del tránsito y los controles de laboratorio durante todo el proceso de construcción de una o varias capas de tratamiento asfáltico superficial sobre la base previamente preparada, de conformidad con lo indicado en los planos y ajustándose a los alineamientos horizontal y vertical, y secciones típicas de pavimentación dentro de las tolerancias estipuladas, y de conformidad con estas especificaciones generales y disposiciones especiales.

Las partículas de agregado deben ser de tal naturaleza, que al recubrirlos completamente con material bituminoso del tipo a usarse en el tratamiento no presenten evidencia de desvestimiento, permaneciendo más del 70 por ciento de las partículas perfectamente cubiertas con material bituminoso al efectuar el ensayo por inmersión en agua a 60 grados Celsius de la DGC. El uso de aditivos como agentes antidesvestimiento, estará condicionado a los resultados positivos del ensayo anteriormente indicado, usando los productos propuestos.

Los agregados pétreos deben cumplir con los requisitos de graduación, según AASHTO M 43, indicados en la siguiente tabla. La graduación para cada riego se definirá de acuerdo con el espesor total del tratamiento superficial y su número de riegos, ambos definidos en las disposiciones especiales.

Tabla V. **Graduación de los agregados para tratamientos superficiales (AASHTO M 43)**

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en Masa que Pasa el Tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)				
	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10
	25.4 mm (1")	19 mm (¾")	12.5 mm (½")	9.5 mm (⅝")	4.75 mm (N° 4)
25,0 mm	100				
19,0 mm	90-100	100			
12,5 mm	20-55	90-100	100		
9,50 mm	0-15	40-70	85-100	100	100
4,75 mm	0-5	0-15	10-30	85-100	85-100
2,36 mm	-	0-5	0-10	10-40	-
1,18 mm	-	-	0-5	0-10	-
0,300 mm	-	-	-	0-5	-
0,150 mm	-	-	-	-	10-30

Fuente: Mecánica de Suelos, tomo 1, Fundamentos de Mecánica de Suelos.

Para tratamientos superficiales simples, se pueden usar las graduaciones N° 6, 7, 8, 9.

Para tratamientos superficiales dobles, se podrán utilizar las siguientes 3 combinaciones:

- Espesor total de 12,5 mm (½")
1º riego, graduación N° 8 y 2º riego, graduación N° 9
- Espesor total de 15,9 mm (⅝")
1º riego, graduación N° 7 y 2º riego, graduación N° 9
- Espesor total de 19,0 mm (¾")
1º riego, graduación N° 6 y 2º riego, graduación N° 8

1.3. Maquinaria necesaria para mantenimiento vial

Para realizar cualquier mantenimiento vial, es necesario contar con la maquinaria adecuada dependiendo del tipo de superficie a trabajar, como se ha mencionado esta superficie puede ser terracería o carpeta asfáltica rígida o flexible.

1.3.1. Motoniveladora

Es una máquina utilizada para movimientos de tierras u otro material suelto. Generalmente su función es nivelar, moldear o dar las pendientes necesarias en el material que se trabaja, para así darle una configuración predeterminada. Es útil ya que su hoja puede tomar varias posiciones y ángulos. A esta hoja se le llama conformadora o moldeadora, la cual mide entre 3 y 4 metros de longitud. Esta máquina posee varias herramientas que la vuelven muy versátil, como lo son: dientes escarificadores, ensanchadores de pavimentos y unidades elevadoras de material. En si el principal trabajo de la motoniveladora en la construcción de carreteras es la conformación y nivelación final de toda la anchura del camino. Esto comprende no solo la base para la superficie del camino, sino también los acotamientos transversales, pendientes transversales desde la superficie del camino.

También se le puede adaptar un escarificador montado generalmente al frente de ella y puede usarse para romper la superficie de un pavimento para reconfiguración o preparación. Uno de los usos importantes también es mezclar materiales para formar una superficie suelo cemento.

Otro de los accesorios que posee la máquina es el transportador elevador. Este se adapta para tomar el material que sale por el extremo de la hoja de la

cola y eleva dicho material para vaciarlo a un lado o bien a otro equipo de acarreo para su transporte. Los accesorios mencionados como el transportador y el ensanchador de pavimentos, ocasiona una carga excéntrica a la motoniveladora. El diseño de esta máquina es adecuado para aceptar tal excentricidad, debido al acostamiento de las ruedas y a la disposición articulada del pivote.

Esta máquina también es capaz de tallar taludes de baja altura al posicionar verticalmente la cuchilla y así poder realizar esta actividad. Algunas otras funciones de la motoniveladora son:

- Extender y nivelar materiales sueltos.
- Excavar las cunetas de una carretera, llevando los materiales extraídos hacia el eje de la carretera después de nivelarlos.
- Regularizar los taludes de una excavación, nivelando los materiales extraídos sobre el fondo.
- Conservar las pistas seguidas por la maquinaria de movimiento de tierras. En arrancar mediante escarificador y eliminar los elementos demasiado gruesos mediante rastrillos para rocas.

1.3.2. Vibro compactadora

Las compactadoras vibratorias empleadas en el mantenimiento vial, producen una sucesión de ondas de presión, las cuales se propagan en todas direcciones; las ondas de dirección vibratoria son usadas para quebrar las uniones entre las partículas del material a compactar. Cuando se rompe la

presión, las partículas por sí mismas tienden a reorientarse en un estado más denso.

Las vibrocompactadoras trabajan bajo el principio de reordenamiento de las partículas para disminuir los vacíos o aumentar la densidad. Existen de 2 tipos: rodillo liso y rodillo dentado.

Las vibrocompactadoras de rodillo liso generan únicamente 3 fuerzas de compactación: presión, impacto y vibración. Las de rodillo dentado además de estas 3 fuerzas, desarrollan las de manipulación. Se asume que la de compactación es uniforme a lo largo de la capa de material durante la compactación vibratoria.

La densidad resulta de las fuerzas generadoras por el cilindro al golpear o vibrar en el suelo. Los resultados de compactación son una función de frecuencia de los golpes, así como de la fuerza de los mismos y del período de tiempo durante el cual se aplican. La relación tiempo/frecuencia es muy relevante en trabajos a baja velocidad de la vibrocompactadora. La velocidad también es importante, ya que determina cuánto tiempo será compactada parte de un terraplén. Velocidades de 3,2 a 6,4 kilómetros por hora producirán buenos resultados cuando se utilicen vibrocompactadoras. Las vibrocompactadoras de rodillo liso se introdujeron primero, siendo más efectivas en materiales granulares. También son utilizadas en suelos semicohesivos hasta con un 10 por ciento del contenido de cohesividad.

El ancho de las capas varía de acuerdo al tamaño del vibrocompactador, por lo general no debe excederse de 24 pulgadas (607 mm) en materiales granulares. Al aumentar el tamaño del material de relleno o terraplén, las capas deberán ser más gruesas, hasta espesores de incluso 4 pies (1,2 m). Un

aspecto muy importante es cuando se utilicen materiales granulares en los terraplenes, el espesor de la capa deberá ser aproximadamente un pie (305 mm) mayor que el tamaño del material granular utilizado. Esto permite consolidación del material evitando que este sobre la superficie de terraplén. Cuando las compactadoras con cilindros dentados se utilizan con más frecuencia, su rango de operación fue expandida para incluir suelos con hasta un 50 por ciento de material cohesivo, un elevado porcentaje de finos. Cuando los dientes penetran en la superficie del terraplén las uniones naturales entre partículas del suelo son alteradas, obteniéndose mejores resultados de compactación.

1.3.3. Rodo metálico (apisonadora)

Las apisonadoras son rodillos veloces, autopropulsados y no vibratorios. Generalmente se componen de 4 ruedas o rodillos metálicos y están equipados con una cuchilla, los dientes del rodillo están constituidos por una cara ovalada o rectangular. Al igual que las compactadoras pata de cabra las apisonadoras compactan desde la capa inferior hasta la superficie, pero debido a que los dientes están unidos, estos salen muy fácilmente del suelo sin levantar la superficie del material que se está compactando. Por lo tanto, la superficie del terraplén también queda compactada y relativamente lisa y sellada.

Debido a que las apisonadoras son capaces de alcanzar velocidades de 24 y 32 kilómetros por hora. Estas desarrollan las 4 fuerzas de compactación: presión, impacto, vibración y manipulación. Esta característica aumenta su agilidad de compactación, así como el rendimiento.

Para obtener densidades óptimas, en capas de 8 a 12 pulgadas, generalmente son necesarias de 2 a 3 pasadas, aunque en suelos arcillosos finos pueden requerirse un aumento. La principal desventaja o limitación para el

uso de las apisonadoras es que se recomiendan más para proyectos de longitud considerable. Estas compactadoras necesitan pasadas largas e interrumpidas para llegar a la velocidad que genera mayor rendimiento. También son más caras que las vibro compactadoras.

1.3.3.1. Compactadora de llanta neumática

Se utilizan en trabajos de compactación pequeños o medianos, cuando se emplean materiales granulares. No se recomienda su uso en proyectos que requieran capas de material de espesor considerable. Las fuerzas de compactación (presión y manipulación) que generan las compactadoras de neumáticos trabajan desde la superficie hacia abajo para aumentar la densidad del material. La magnitud de las fuerzas de compactación puede modificarse, variando la presión de las llantas (método normal) o cambiando el material de balasto (menos frecuente). La acción de amasado causado por la forma en que se encuentran las llantas (alternas) ayuda a sellar la superficie. La separación entre las llantas produce un efecto de poca consideración; esto contribuye a compactar los lugares o puntos suaves que puedan existir en el terraplén. Por esta razón se les llama rodillos de prueba. Otra de las ventajas es que las compactadora de neumáticos pueden usarse tanto en terracería como en asfalto de tal manera que el contratista puede economizar al tener compactadora de doble función en el proyecto.

1.3.4. Cargador frontal

Se emplea para cargar camiones con materiales (piedrín, arena, tierra), se diseñan con tren de rodaje y con neumáticos, siendo estos últimos los más comunes; se utilizan también para transportar materiales a cortas distancias. Cuando están provistos de ruedas, su bastidor es articulado, y es fijo cuando se

diseña con tren de rodaje. El cargador con neumáticos cuenta con tracción en las cuatro ruedas y se conoce con la marca Payloader. Su capacidad SAE varía entre 0,4 a 5 metros cúbicos para materiales que pesen 800 kilogramos sobre metro.

El cargador frontal es un equipo tractor, montado en orugas o en ruedas, que tiene una cuchara de gran tamaño en su extremo frontal. Los cargadores son equipos de carga, acarreo y eventualmente excavación, en el caso de acarreo solo se recomienda realizarlo en distancias cortas. El uso de cargadores da soluciones modernas a un problema de acarreo y carga de materiales, con la finalidad de reducir los costos y aumentar la producción. En el caso de excavaciones con explosivos, la buena movilidad de este le permite moverse fuera de la voladura y con seguridad; y antes de que el polvo de la explosión se disipe, el cargador puede estar recogiendo la roca regada y preparándose para la entrega del material.

Los cucharones del cargador frontal varían en tamaño desde 0,19 hasta más de 19,1 metros cúbicos de capacidad, colmado. El tamaño del cucharón está estrictamente relacionado con el tamaño de la máquina. En Guatemala muchas veces el cargador frontal es empleado en las funciones de corte, debido a la ausencia de una retroexcavadora dentro del convoy de trabajo.

1.3.5. Pala mecánica y retro excavadora

Estas máquinas tienen en su parte frontal partes de trabajo muy similar, ambas tienen plumas cortas y firmes, sujetas directamente al frente de la súperestructura giratoria. La pluma soporta a un miembro excavador que tiene un cucharón en su extremo. Una diferencia entre pala y retroexcavadora es la

dirección en la que se mueven sus cucharones para lograr las cargas. La pala mueve su cucharón hacia arriba, abajo y hacia el operador.

El miembro excavador se mueve hacia delante y hacia atrás, a través de una ranura que tiene la pluma y gira, también, sobre ese punto de pivoteo de la pluma. La pala mecánica tiene su máxima utilidad cuando es necesario hacer excavaciones considerables, en roca o en materiales consolidados.

La retroexcavadora es el ensamblaje de 3 piezas esenciales de equipo de movimiento de tierras: un tractor, un cargador y una retroexcavadora. El tractor permite a las herramientas moverse rápidamente y con seguridad alrededor del sitio de terreno áspero. El cargador es capaz de transportar grandes cantidades de material (que varía con el tamaño del cucharón), pero está diseñado para excavar. En el lugar el cucharón allana el terreno desigual o empuja la tierra como un arado. La retroexcavadora consiste de una pala dentada diseñada para desenterrar tierra compacta, o para levantar a los materiales. Esta trabaja semejantemente a una excavadora en el sentido que cava hacia detrás del vehículo, en vez de hacia fuera como una cargadora sobre ruedas u orugas.

El tractor es un vehículo con un motor diésel que transita sobre grandes y rugosos neumáticos (las ruedas delanteras son a menudo más pequeñas que las posteriores). La retroexcavadora y la cargadora son controladas hidráulicamente. La retroexcavadora está compuesta por 3 partes distintas: la pluma, el palillo, y el cucharón. Estas partes están conectadas como las 3 articulaciones de un brazo humano: el hombro, codo, y la muñeca.

La máquina entera es estabilizada por unas piernas estabilizadoras, que disminuyen la tensión despojando la mayoría del peso en la máquina y sus neumáticos. Hay 2 diferentes tipos de pies en la parte inferior de las piernas: el

pie *grouser*, el cual excava en la tierra, y el pie reforzado con caucho; el cual es bueno para el asfalto.

1.3.6. Camión de volteo

Aunque hay varios diseños diferentes de camiones de volteo, sus componentes básicos se mantienen muy similares para todos ellos. La carrocería principal del camión de volteo es basada generalmente en la de 1 camión de plataforma, con un eje debajo de la cabina y en cualquier lugar de 1 a 3 ejes por debajo de la caja de volteo. Esta en sí generalmente tiene una puerta posterior que es abatible en la parte superior, de modo que se abrirá automáticamente cuando se esté vertiendo.

El mecanismo de vertido está accionado hidráulicamente con el fin de evitar problemas de compresión que a veces pueden ser encontrados al utilizar sistemas neumáticos. El motor del camión de volteo puede ser de gasolina o diésel, pero en general es un motor de combustión interna grande, independientemente del tipo de combustible usado.

Los mecanismos de vertido hidráulico utilizados en los camiones de volteo, son generalmente uno de 2 tipos. El tipo más común implica el uso de uno o más pistones hidráulicos para levantar el extremo de la caja de volteo que está más cerca de la cabina. Esto hace que la caja de volteo completa se incline, vertiendo lo que está contenido dentro de ella.

El otro tipo de mecanismo de vertido que se encuentra en los camiones de volteo, consta de un panel de refuerzo montado verticalmente dentro de la caja de volteo en sí, que tiene cilindros hidráulicos que lo sujetan en su sitio. Los cilindros lo empujan hacia la parte posterior de la caja de volteo, empujando

cualquier cosa dentro de ella hacia atrás, donde se verá forzado a salir a través de la puerta posterior abatible.

El tipo de elevación del mecanismo de volteo es más popular entre los fabricantes, porque es un mecanismo simple para producir y mantener, pero algunas compañías de construcción y otros usuarios del camión de volteo prefieren el otro mecanismo, ya que no requiere espacio vertical adicional para usar. Aunque en Guatemala son muy comunes los mecanismos de palanca, los cuales constan de una palanca localizada a un costado de la cabina del lado del piloto, la cual funciona mecánicamente al accionarla, esta suelta los pasadores de la portezuela trasera.

La función principal de estos es transportar el material necesario para realizar cualquier proyecto vial, aunque su costo será variable dependiendo la longitud que sea transportado el material, pues se podrá tomar como un acarreo o un sobre acarreo.

1.3.7. Camión regador de agua

Este equipo consiste en un camión normal al que se le extrae la plataforma y se hacen las adaptaciones necesarias para colocarle un depósito, el cual deberá ser menor del total de carga soportado normalmente por el camión. Esto se hace con la finalidad de hacer estable el camión, debido a que el líquido que esta transporta es inestable al ser trasladado hacia el punto de trabajo. Este vehículo también cuenta con una bomba de agua que se utiliza para extraer el agua de ríos o depósitos a nivel de suelo, cuando no se cuenta con un abastecimiento en la parte superior.

Estos se utilizan mayormente en verano, pues el material necesita tener una humedad óptima para ser trabajado, esta humedad se logra después de varias pasadas, las cuales se van dando antes y después de que la motoniveladora ha escarificado y regado el material. También es utilizado para disolver en su interior distintos aditivos especiales, para tratar un tramo en especial debido a sus características.

1.3.8. Mezcladora de cemento

El camión *mixer* (conocido también como camión-hormigonera, camión mezclador y/o agitador, entre otros), consiste en un vehículo equipado con una hormigonera. Debido a esta disposición, le es posible transportar hormigón premezclado al mismo tiempo que procede a su amasado. Es el método más seguro y utilizado para transportar hormigón en trayectos largos y es poco vulnerable en caso de un retraso.

El camión *mixer* se presenta en 2 versiones, la mezcladora que es la más común, más conocida como camión *mixer* y la agitadora. La primera trabaja en estrecha relación con las centrales dosificadoras en seco, de las cuales recibe la mezcla para proceder a su amasado, mientras que las segundas trabajan en combinación con las centrales amasadoras, teniendo solo la misión de agitar y transportar el hormigón.

El *mixer* posee una capacidad que oscila normalmente entre 6 y 8 m³ (actualmente hay equipos de mayor volumen), siendo más frecuentes en la actualidad valores cercanos a este último. Los camiones agitadores y los mezcladores son prácticamente iguales en cuanto a modelo y sistema de funcionamiento, diferenciándose solamente en la configuración de las paletas helicoidales internas de la cuba o tambor. La cuba amasadora dispone de

paletas con una cierta inclinación y con pestañas de ataque, con el objeto esto último de evitar que el hormigón pase de largo en el ciclo rotatorio del tambor, impulsándolo hacia abajo y como la paleta está levemente inclinada, el hormigón se mezclará uniformemente y en forma óptima.

Las cubas agitadoras, como no tienen la responsabilidad de amasar, puesto que reciben la mezcla lista, disponen de paletas helicoidales con poca o nula inclinación y sin pestañas de ataque, prácticamente lisas y esto con el objeto de permitir que el hormigón pase de largo, en la rotación del tambor, agitándose solamente a velocidad de 2 a 6 revoluciones por minuto.

1.3.9. Distribuidora de asfalto auto propulsada

Las máquinas para tender asfalto se conocen también como pavimentadoras, espaciadoras o terminadoras. Estas máquinas extienden la mezcla caliente de materiales asfálticos que reciben de los camiones de volteo por un extremo. La caja de la tolva que recibe la mezcla, varía de capacidad; desde 3 hasta 12 toneladas. El material se envía desde el fondo de la tolva a la unidad conformadora mediante un transportador plano.

La conformadora es la parte más importante de una pavimentadora, la cual extiende el material uniformemente y con exactitud para obtener una superficie lisa y homogénea. La conformadora extiende el ancho del pavimento que se está poniendo. La mezcla caliente enviada por el transportador a la parte trasera de la pavimentadora se distribuye, luego a lo ancho de la conformadora mediante miembros giratorios en forma de tornillo. La pavimentadora engrana las ruedas traseras del camión para empujarlo e ir abasteciéndose de material que tiene en la tolva y con el que tiene en el cajón del camión. Algunas pavimentadoras se mueven sobre ruedas motrices con neumáticos. Su velocidad de pavimentación

tiene una variación infinita con una transmisión del tipo convertidor del par de torsión, desde 0 hasta 150 pies por minuto.

2. ANTECEDENTES SOBRE LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS ENZIMÁTICOS EN PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA

2.1. Aplicación de enzimas orgánicas en el proyecto Patzicia-Chimaltenango

La red vial departamental no pavimentada está conformada por caminos cuyo nivel de superficie de rodadura alcanza hasta el nivel de afirmado y que, entre otras, comprende las vías departamentales, municipales y de herradura, que son rehabilitadas en períodos distantes de tiempo año con año por la Dirección General de Caminos y COVIAL. Razón por la cual se buscan nuevas alternativas para hacer que los mantenimientos sean más duraderos y más generosos con el medio ambiente, debido a que en estas regiones la economía principal está dominada por la agricultura.

Las rutas tales como el tramo Patzicia-Acatenango, poseen características diferentes dependiendo de la región en donde se localizan. En general, se ubican en una topografía ondulada o accidentada, en algunos casos en terreno plano. Específicamente los caminos localizados en el altiplano de Guatemala se encuentran en suelo fino arcilloso y/o limoso, con vegetación exuberante, altas temperaturas y abundante pluviosidad durante todo el año.

El ancho de las vías predominante está en el rango entre 4,0 y 6,0 metros, y en algunos casos extremos se tienen caminos con 3,30 u 8,00 metros, de ancho.

El tránsito vehicular que circula por las vías es variable, depende en cuanto a su composición de la región en donde se localiza el camino. Sin embargo, cabe destacar que la mayor cantidad de las vías tienen más de un 50 por ciento de tránsito pesado. El tránsito promedio diario en su mayoría, tiene menos de 800 vehículos diarios.

Una vía no pavimentada es un camino con una capa de rodadura conformada por una estructura de agregados pétreos o material granular. En general, los materiales de afirmado o simplemente afirmados, pueden ser de 2 tipos, según las características del material pétreo:

- Caminos cuya capa de rodadura está constituida por agregados pétreos naturales provenientes de canteras previamente conocidas.
- De excedentes de excavaciones (gravas, cantos rodados, y otros), donde los materiales que la componen se ajustan a determinadas especificaciones, sólo en relación con su tamaño.

En general, el espesor de la capa de afirmado varía entre 10 y 20 centímetros, con un valor predominante de 15 centímetros.

La aplicación de estabilizantes enzimáticos en esta ruta se da por la carencia de bancos adecuados cercanos a la ruta de trabajo, haciendo esta una alternativa viable, puesto que estudios realizados con anterioridad demostraron que el material de base que esta ruta posee, tiene el mínimo de arcillas necesarias para poder trabajar. Tomando en cuenta que para este proyecto se escarifico previamente la superficie de rodadura vehicular, posterior a esto se procedió a aplicar el aditivo enzimático Perma-zyme 11x por medio de un camión regador de agua, luego se conformó el material de manera homogénea, para finalizar el proceso se le aplico la compactación requerida.

2.2. Descripción del proyecto

El Proyecto Patzicía-Acatenango se encuentra ubicado en el suroeste de la capital, comprendido dentro de la región V de desarrollo. El 100 por ciento de este proyecto está comprendido en el departamento de Chimaltenango, cuenta con una sección típica, no definida de 6,00 metros de ancho, con porcentaje de bombeo lateral de 3 por ciento sobre una superficie de balasto. La topografía es variable y cuenta con estructuras de drenaje transversal (alcantarillas de 30") y longitudinal (cunetas conformadas). En todo su recorrido se tienen fuertes descensos, que bordean la montaña de Soco.

El tráfico promedio anual para este tramo es aproximadamente de 600 vehículos, de los cuales el 45 por ciento son pesados y buses.

Uno de los mayores problemas que presenta este proyecto es la escasa presencia de bancos de préstamo de materiales, así como también su adquisición cada vez más difícil y cara. Otro de los problemas es el índice de precipitación pluvial, en época de invierno puede llegar al 70 por ciento de días lluviosos por mes.

A principios de abril de 1998 se completaron los trabajos de reparación del tramo Patzicía-Acatenango. Para realizar esta actividad, se utilizó un aditivo para estabilizar el tramo antes mencionado a base de enzimas orgánicas. Este producto posee una acción catalizadora, o sea que hace reaccionar las enzimas plásticas, propias en las arcillas, provocando una acción de aglutinamiento sobre los materiales finos (plásticos), disminuyendo la relación de vacíos, ayudando a que las partículas del terreno puedan ser más densamente compactadas. La acción cohesiva de este proceso origina una fuerte actividad cementante, formando un sólido y permanente estrato, el cual resiste mejor la penetración de

agua por capilaridad y precipitación, así como la acción destructiva al paso de los vehículos.

El aditivo multienzimático requiere, que como mínimo un 20 por ciento de partículas de arcilla pasen la malla 200 y que exista material pétreo bien graduado. El proceso para lograr la mayor consistencia del material radica en el hecho de que la enzima del aditivo estabilizador multienzimático actúa sobre el carácter iónico de las partículas plásticas, provocando que la cantidad de finos aglutine a los materiales de mayor capacidad de carga y que estos no se disgreguen por la acción del tránsito de vehículos y por las condiciones climáticas imperantes del lugar.

En muchos proyectos de mantenimiento vial, el principal obstáculo que se ha presentado, ha sido la calidad de los materiales provenientes de los bancos de préstamo. Si bien es cierto que cumplen con varios requisitos que se exigen en las Especificaciones Técnicas Especiales de COVIAL (Comisión Técnica Vial), son materiales limo- arcillosos que poseen poca o ninguna plasticidad.

La capacidad de consistencia depende del contenido de arcilla que posea un material, es decir; que los elementos (grava y arena) que forman el balasto presenten la mayor capacidad de resistencia a las fuerzas externas. Al carecer estos materiales de plasticidad, se tiene el problema principal de ser muy susceptibles a la disgregación, ya sea por el tránsito de los vehículos o por las condiciones climáticas. Se ha presentado el caso que durante la época seca (ausencia de lluvias) el material se desprende fácilmente al perder su humedad óptima y en la época lluviosa el material es muy vulnerable a la erosión producida por el agua.

2.3. Descripción de trabajos realizados

Los bancos de préstamo de material tienen el problema de poca o ninguna plasticidad (clasificados como limo arenosos), al carecer estos de plasticidad provocan los problemas de disgregación, además de ser muy susceptibles a la erosión por la lluvia.

Para evitar este tipo de problemas se tomó la decisión de utilizar un aditivo estabilizador de enzimas orgánicas. Se obtuvieron muestras de suelos cada 500 metros y se le practicarón los siguientes ensayos a cada muestra.

- Granulometría AASHTO T-2.7
- Limite Líquido AASHTO T-89.
- Índice Plástico AASHTO T-90.
- Proctor modificado AASHTO T-180.
- Clasificación de suelos.

A las muestras más representativas (muestras con poca o ninguna plasticidad) se le realizó el ensayo CBR AASHTO T-193.

A pesar que había zonas que no presentaban ninguna plasticidad, en otras se alcanzaron valores que variaban de 5.8 hasta 12,3. El porcentaje de material que pasó la malla 200 variaba de 1,5 hasta 37,8. Se determinó además que la resistencia al corte por penetración estándar del material, variaba de un mínimo de 19 hasta un máximo de 49,5 por ciento.

El procedimiento de construcción fue el mismo que se realizó en años anteriores a su ejecución en el tramo Chimaltenango a San Martín Jilotepeque.

Se realizó la actividad de conformación de superficies no pavimentadas como base y únicamente se agregó la cantidad de producto multienzimático necesario.

La compactación se realizó con una vibro compactadora CAT 433 C, habiéndose efectuado 4 pasadas. Las primeras 2 se realizaron a base de peso dinámico y las 2 últimas con peso muerto, para lograr así el sello de rodadura. Con las 4 pasadas se obtuvieron porcentajes de compactación que variaban de 100 a 110 por ciento.

La reparación se inició de la estación 8+000 hasta la 12+145 (entrada a Nejapa) hasta la estación 14+159 (entrada de Acatenango) y de la estación 15+180 (salida de Acatenango) a la estación 15+570.

En total se estabilizaron 615 kilometros, con un ancho promedio de 4,92 metros, un espesor de 15 centímetros y la utilización de 138 litros de aditivo estabilizante. Se eligió este tramo por considerar que era el que mayor plasticidad presentaba.

El costo de esta actividad se puede desglosar de la siguiente manera:

Aditivo estabilizador a base de enzimas orgánicas (PERMAZYME 11X):

(138 l) (\$. 250 / gal)(1 gal / 3,785 l)(Q.6,30 / \$)	Q. 57 424,04
35% de imprevistos, administración y utilidad	Q. 20 098,41
Sub total	Q. 77 522,45
Conformación:	
(6,150 km)(10 328,00 /km)	Q. 63 517,20
TOTAL	Q. 141 039,655

El volumen estabilizado fue de 4 539 metros cúbicos, lo que proporciona un precio unitario de Q. 31,07 el costo del estabilizador perma-Zyme 11x, representa un 61 por ciento menos que el costo de haber utilizado capa de balasto.

Una vez efectuado los trabajos, se realizaron las mediciones del CBR por medio de un penetrómetro dinámico de cono, el cual determinó valores mínimos de 29 y máximos de 59 por ciento.

En lo que respecta a su resistencia a corte, se logró un incremento promedio del 34 por ciento y por no haber encontrado un porcentaje adecuado de arcilla, no se logró obtener una adecuada consistencia del material, lo que se tradujo a que sufriera una disgregación en la parte superior de rodadura, consecuencia de paso de los vehículos y por las condiciones climatológicas imperantes, ya que durante el período no se presentó ninguna lluvia, los tramos más adecuados se ubican donde se encontró un buen porcentaje de arcillas plásticas.

Es importante mencionar que el material que pasa la malla 200, está formado de limos y arcillas. El material arcilloso posee la principal característica de su plasticidad y los limos pueden llegar a tener fineza de grano de arcillas, pero poseen muy poca o ninguna plasticidad.

Se considera que al no haberse encontrado la cantidad adecuada de arcilla, no se cumplieron a cabalidad las expectativas trazadas, comparadas con la experiencia que se obtuvo en el tramo Chimaltenango a San Martín Jilotepeque, en donde el material que pasa la malla 200 era totalmente arcilloso y se logró adquirir una gran consistencia. Por lo económico que resulta este producto se considera que en los lugares que se posea un mínimo del 20 por

ciento de material arcilloso y que tenga material pétreo, se obtendrán buenos resultados.

2.4. Resultados de laboratorio

Los resultados de laboratorio del presente proyecto servirán de análisis para verificar la viabilidad técnica y economía del tipo de estabilización de suelos utilizado en comparación con el método tradicional utilizado.

Tabla VI. **Cuadro de resumen de los análisis de laboratorio del material de subrasante. Proyecto: C-17 RD-CHIM-05. tramo: Patzicía – Acatenango 54566326**

ESTACIÓN	DENS.MAX l/ft ³	PORCENTAJE DE HUMEDAD ÓPTIMO	C B R AL 95%	ÍNDICE PLÁSTICO	PORCENTAJE PASA TAMIZ 40
8+000	13,7	9,3	NL	ND	56,5
8+500	124	9	22,3	12,3	34,2
9+000			23	11	52,1
9+500	116,2	11,7	21,7	7	61,2
10+000			NL	0	39,1
10+500	140,6	8,5	NL	0	56,7
11+000			NL	0	36,7
11+500			NL	0	51,1
12+000			20	9	47,2
12+500	106	18,5	31,5	10,1	52,6
13+000	130,7	9,4	16,5	6,5	56,4
13+500			30	11,5	65,4
14+000	134,8	7,8	16,2	5,8	51,4

Continuación de la tabla VI.

ESTACIÓN	PORCENTAJE PASA TAMIZ 200	CLASIFICACIÓN
8+000	29,1	A-2-4
8+500	16,1	A-2-6
9+000	26,5	A-2-4
9+500	31,8	A-2-4
10+000	14,9	A-1-B
10+500	12,5	A-1-B
11+000	16,4	A-1-B
11+500	21,1	A-2-4
12+000	27,2	A-2-4
12+500	25,2	A-2-6
13+000	24,7	A-2-4
13+500	37,8	A-2-6
14+000	21,4	A-2-4

Fuente: CANIZ OROZCO, *Tesis Aplicación de Enzimas Orgánicas en la Estabilización de Bases para carreteras*. p. 45.

Tabla VII. **Resultados de laboratorio. Proyecto C-17. tramo: km 8 – Acatenango R.D. CHIM 5**

GRANULOMETRÍA (PORCENTAJE QUE PASA)

ESTACIÓN	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	3/8"	Nº. 4	Nº. 10	Nº. 100	Nº. 140	Nº. 200
8+000	100	100	100	100	100	100	88	77,1	56,5	38,4	29,1
8+500	100	93,6	82,1	75,5	69,5	64,2	56,7	49,2	34,2	21,5	16,1
9+000	100	100	100	100	100	100	89,5	76,3	52,1	33,9	26,5
9+500	100	100	100	100	100	100	93,1	83,7	61,2	41,2	31,8
10+000									39,1		14,9
10+500	90,4	83	80,5	78,5	76,1	72	56,7	47,7	32,3	18,6	12,5
11+000	100	94,9	92,1	89,1	85,8	74	69,4	54,5	36,7	17,4	16,6
11+500	100	100	100	100	100	100	91,3	76,8	51,1	32,6	25,1
12+000	100	100	89,1	84,8	82	79,6	71,8	64,5	47,2	34	27,2
12+500	100	100	100	100	100	100	92	80,3	52,6	31,4	25,2
13+000	100	100	100	100	100	100	94,8	84,7	56,4	39,4	24,7
13+500	100	100	100	100	100	100	96,9	90,1	65,4	46,7	37,8
14+000	100	100	100	100	100	100	85,6	77	51,5	30,8	21,4

ESTACIÓN	LÍMITE DE CONSISTENCIA			CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS
	L.L	L.P	I.P	
8+000	0	0	0	A-2-4
8+500	22,3	10	12,3	A-2-6
9+000	23	12	11	A-2-4
9+500	21,7	14,7	7	A-2-4
10+000	0	0	0	A-1-B
10+500	0	0	0	A-1-B
11+000	0	0	0	A-1-B
11+500	0	0	0	A-2-4
12+000	20	11	9	A-2-4
12+500	31,5	21,4	10,1	A-2-6
13+000	16,5	10	6,5	A-2-4
13+500	30	18,5	11,5	A-2-6
14+000	16,2	10,4	5,8	A-2-4

Fuente: CANIZ OROZCO, Tesis *Aplicación de Enzimas Orgánicas en la Estabilización de Bases para carreteras.* p. 46.

Tabla VIII. **Datos de resultados de densidades y CBR**

ESTACIÓN	DENSIDAD		RESISTENCIA AL CORTE		OBSERVACIONES
	PUS lb7FT3	Porcentaje H	CBR *	CBR **	
8+000	131,7	9,3	22	35	ARENA LIMOSA CAFÉ
8+500	124	9	44,5		GRABA GRIS CON LIMO CAFÉ
9+000					ARENA LIMOSA CAFÉ
9+500	116,2	12,5	26	29	ARENA LIMOSA CON POCA ARCILLA CAFÉ
10+000					
10+500	140,6	8,5	46	59	ARENA LIMOSA CAFÉ
11+000				39	ARENA LIMOSA CAFÉ
11+500					LIMO ARCILLOSO CAFÉ
12+000					
12+500	106	18,5	19	25	LIMO ARENOSO CON POCA ARCILLA CAFÉ
13+000	130,7	9,4	23,5	30	ARENA LIMOSA CON GRAVA CAFÉ
13+500					LIMO ARENSO CAFÉ
14+000	134,6	7,8	28	40	ARENA LIMOSA CAFÉ

* CBR SIN PERMAZYME 11 X.

** CBR CON PERMAZYME MEDIDO CON PDC (penetrómetro dinámico de cono).

Fuente: CANIZ OROZCO, *Tesis Aplicación de Enzimas Orgánicas en la Estabilización de Bases para carreteras*. p. 47.

Tabla IX. **Datos de CBR y cálculo de porcentaje de aumento**

ESTACIÓN	RESISTENCIA AL CORTE		Δ CBR	PORCENTAJE DE AUMENTO
	CBR *	CBR **		
8+000	22	35	13	22,81
8+500	44,5			
9+000				
9+500	26	29	3	5,45
10+000				
10+500	46	59	13	12,38
11+000		39		
11+500				
12+000				
12+500	19	25	6	13,64
13+000	23,5	30	6,5	12,15
13+500				
14+000	28	40	12	17,64

Para sacar el porcentaje de aumento de CBR se eliminó el más pequeño y el más grande para sacar el promedio, y éste fue de 13,95 % aproximándose a 14%.

Fuente: CANIZ OROZCO, *Tesis Aplicación de Enzimas Orgánicas en la Estabilización de Bases para carreteras*. p. 48.

3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON PRODUCTOS ENZIMÁTICOS ORGÁNICOS COMO ALTERNATIVA A LA CARENCIA DE BANCOS DE PRÉSTAMO EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

3.1. Problemas de campo más comunes en el mantenimiento vial

En Guatemala son varios los problemas que hacen que el mantenimiento vial no se ejecute a cabalidad, los cuales van desde el ámbito económico hasta la carencia de maquinaria, equipo y materiales necesarios, siendo los problemas de campo más importantes los que se detallan a continuación.

3.1.1. Carencia de bancos de material de préstamo

En la actualidad este problema es la causa de atrasos en muchos proyectos, debido a que los bancos existentes en el departamento de Guatemala han sido explotados, a tal grado que únicamente poseen materiales inadecuados para mantenimiento vial. Según datos proporcionados por la Dirección General de Caminos, el único banco de préstamo que reúne las condiciones necesarias, tanto de laboratorio como de manejo en el campo se encuentra localizado a 19 kilómetros de la ciudad capital, en la aldea Lo de Mejía jurisdicción de San Juan Sacatepéquez sobre la ruta RD GUA 50, en el tramo que conduce de la ciudad capital hacia el municipio de San Raymundo.

Existe también otro banco de material idóneo, el cual se localiza a 32 kilómetro de la ciudad capital, siempre en el municipio de San Juan Sacatepéquez, localizado en la reserva militar perteneciente a la Escuela

Politécnica ubicado sobre la RN 5, este banco también cumple con todos los requisitos solicitados por las entidades a cargo de mantenimiento vial.

Una de las condiciones solicitadas por la Dirección General de Caminos para inscribir una ruta en su registro de mantenimiento anual, es que cada una de ellas cuenten con bancos de material que cumplan con todos los análisis de laboratorio, debido a la carencia de estos, las comunidades que desean incluir sus rutas a la red vial de mantenimiento, se ven obligadas a realizar por cuenta propia análisis de laboratorio a predios, previo a la compra de estos mismos para comprobar que cumplan con lo especificado.

3.1.2. Encarecimiento del proyecto en la compra y traslado de material

El renglón de compra y traslado de material es uno de los más onerosos en actividades de mantenimiento vial, pues debido a la carencia de bancos de préstamo de material que cumplan con las especificaciones, los pocos existentes proveen este a precios elevados.

En el caso de la Dirección General de Caminos, los camiones de volteo y el cargador frontal son proporcionados a las comunidades, así como el combustible necesario para operar estos, debiendo entonces las comunidades contar con su propio banco de material o comprarlo en algún banco cercano que llene las especificaciones necesarias.

En el caso de compañías subcontratadas por COVIAL, estas pagan camiones que realizan los fletes trasladando el material que es comprado en el banco de préstamo, que se ha destinado, estos camiones subcontratados tienen varias modalidades de cobrar los fletes; uno de ellos es por trato, el cual consiste

en cobrar una cantidad acordada con el contratista por cierta cantidad de viajes realizados. Otra modalidad es cobrar por metro cúbico transportado por cada kilómetro (m^3/km). En cualquiera que sea la modalidad acordada, los precios de estos rubros se elevan debido al alto costo del combustible y la compra de material.

En algunos tramos dañados seriamente se requiere regar el material de forma uniforme y para darle un espesor adecuado 10 a 25 centímetros. Según el Libro Azul de Caminos se requiere que cada camión cubra una longitud aproximada de 20 a 25 metros de forma balastada o en tantos para poder conformarlos con la motoniveladora, haciendo un promedio de 40 camionadas por kilómetro, tomando en cuenta que el mantenimiento se realice con camiones de 12 metros cúbicos de capacidad.

3.1.3. Falta de presupuesto destinado para mantenimiento de la red vial de Guatemala por parte de las entidades de gobierno encargadas

Actualmente es uno de los problemas que las instituciones presentan con mayor frecuencia e impide que el mantenimiento vial se ejecute de acuerdo a la programación anual de cada entidad dedicada a ello. El presupuesto asignado para esta actividad es bastante limitado, esto se ve reflejado en el estado en que se encuentra la mayor parte de la red vial de Guatemala, a excepción de las rutas que conducen a centros turísticos, que en la mayor parte del año se encuentra en buenas condiciones.

La Dirección General de Caminos cuenta con 14 zonas viales, a las cuales se dotan de combustible para dar mantenimiento a carreteras terciarias, las cuales son trabajadas únicamente una vez al año, por ser insuficiente el

combustible proporcionado, sumado a esto el presupuesto asignado no contempla la compra de repuestos, razón por la cual en algunos tramos no se realiza el trabajo que es necesario, sino un trabajo mínimo solo para mantener la circulación vehicular. CAMINOS cuenta con convoyes de trabajo, los cuales carecen de maquinaria necesaria. Un ejemplo claro de ello es que esta institución cuenta únicamente con 2 excavadoras que son las necesarias para cortar material a tender en las rutas, contrario a esto, esta actividad la realizan con cargadores frontales. Esta institución carece también de camiones cisternas, los cuales son necesarios en el verano para el grado de humedad óptima al material a aplicar. Estos son solo algunos ejemplos de las carencias que padece esta institución.

En el caso de COVIAL, que es una institución que se encarga de subcontratar compañías para dar el mantenimiento vial a las rutas asignadas, esta cuenta con maquinaria suficiente y en buen estado, así como también combustible necesario para ejecutar los trabajos, pero en muchos casos estos no son completados debido a la falta de pago de los contratos acordados con las empresas subcontratadas, por ello estas deciden detener los proyectos hasta que se les sea cancelado parte del monto acordado.

En algunos proyectos se cuenta con capital proveniente de otras instituciones como el Fondo de Inversión Socias (FIS), el cual colabora con una parte del dinero necesario para ejecutar proyectos viales, en estos casos los proyectos son realizados junto a las municipalidades regionales, pero estas carecen de presupuesto necesario, dejando proyectos inconclusos.

3.1.4. Ejemplo de la problemática en las aldeas del municipio de San Juan Sacatepéquez, del departamento de Guatemala

En el municipio de San Juan Sacatepéquez, las carreteras son trabajadas por empresas contratadas por la municipalidad local y otras por la Dirección General de Caminos por medio del Distrito N°. 6, localizado en la aldea Montúfar, aproximadamente en el kilómetro 44 de la Ruta Nacional 5, este cuenta con una localización estratégica, pues está destinado a cubrir el mantenimiento vial de distintas rutas en este municipio, razón por la cual necesita movilizar su maquinaria hacia estas.

El 19 de septiembre del 2013 comenzaron los trabajos de mantenimiento vial en carreteras de terracería en colaboración con la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez y la Dirección General de Caminos, iniciando los trabajos en aldea Cerro Alto, cubriendo las rutas siguientes:

- CR GUA 03 Paclali-Pasajoc con una longitud de 3,9 kilómetros.
- CR GUA 04 Cerro Alto- Los Patzanes con una longitud de 3,5 kilómetros.
- CR GUA 05 Cerro Alto – Realguith con una longitud de 5,5 kilómetros.
- CR GUA 06 Cerro Alto – Los Ajvix con una longitud de 2,98 kilómetros.

Para realizar el mantenimiento correspondiente fue necesario trasladar material de un banco localizado a aproximadamente 28 kilómetros de distancia. Para trasladar este material la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez contrato una flota de 8 camiones de volteo, los cuales realizaban 4 fletes diarios cada uno en promedio, cada flete a esta distancia tuvo un valor de Q. 1 000,00 al finalizar de trabajar estas rutas se contabilizó un total de 277 fletes teniendo un costo total de Q. 277 000,00, este dato refleja el alto costo que posee el

mantenimiento vial en el traslado de un material adecuado para tener transitables las rutas principales.

Posteriormente se procedieron a trabajar las siguientes rutas:

- CR GUA 08 Suacite- Los Guates con una longitud de 2,5 kilómetros.
- CR GUA 07 RD GUA 18 Los Pirires con una longitud de 2,3 kilómetros.
- Caserío Chitol con una longitud de 3,3 kilómetros.
- Caserío Puerta Quemada con una longitud de 5 kilómetros.
- RD GUA 50 RN 5 Aldea Sajcavilla con una longitud de 4,4 kilómetros.

Para este conjunto de rutas cada flete fue valorado en Q. 400,00 debido a la cercanía del banco de material, localizado a 17 kilómetros, en estas rutas aproximadamente se contabilizaron 245 fletes, haciendo un total de Q. 98 000,00. Al observar estos parámetros de compra y traslado de material, surge la necesidad de buscar soluciones alternativas que sean viables para reducir gastos elevados para esta actividad. Sumado a todos estos gastos se contabilizan los repuestos y reparaciones de la maquinaria debido a su empleo en el mantenimiento vial.

3.2. Definición de enzimas

Compuestos orgánicos similares a las proteínas que actúan como catalizadores, debido a que la estructura de sus moléculas contienen partes activas que aceleran el proceso de aglutinamiento de las arcillas.

Las enzimas son proteínas y se componen de cadenas de aminoácidos, mantenidos juntos por enlaces de moléculas. Ellas están presentes en todas las células vivas, donde desempeñan una función vital controlando el proceso

metabólico, por medio del cual los nutrientes son convertidos en energía y renuevan el material celular.

Las enzimas son catalizadores, lo que significa que solo por su presencia y sin ser consumidas en la operación, las enzimas pueden acelerar procesos químicos que de otra manera marcharían muy lentamente.

Las enzimas son específicas, es decir; cada enzima puede transformar o sintetizar un compuesto particular. En algunos casos, ellas limitan su acción a enlaces específicos en los compuestos donde ellas reaccionan. Vienen de sistemas naturales y cuando son degradados, los aminoácidos de los cuales están hechos pueden ser absorbidos fácilmente en la naturaleza.

Las enzimas pueden ser usadas para sustituir trabajos difíciles y productos químicos fuertes, así se ahorra energía y se previene la contaminación. También son muy específicos, lo que significa pocos subproductos y efectos secundarios en el proceso de producción.

3.3. Función de las enzimas en la estabilización de suelos

La acción catalizadora de las enzimas incrementa notablemente el proceso humectante del agua y provoca una acción aglutinante sobre los materiales finos (plásticos), disminuyendo la relación de vacíos, ayudando también a que las partículas del terreno puedan ser más densamente compactadas. La acción cohesiva de este proceso, origina una fuerte actividad cementante, formando finalmente un sólido y permanente estrato; a diferencia de los aditivos basados en compuestos inorgánicos y derivados del petróleo, los cuales mantienen unidos los materiales sólo temporalmente al ser aplicados, los aditivos a base de enzimas orgánicas provocan una fusión de las partículas orgánicas del terreno,

creando una base densa y estable, que resiste mejor la penetración del agua, así como la acción destructiva del clima (erosión) y el uso constante del camino.

El efecto de las enzimas orgánicas sobre el agua es también la de abatir la tensión superficial de esta, lográndose con ello fácil penetración y dispersión en el material, asimismo causa una total hidratación de las partículas plásticas, las cuales son oprimidas dentro de los espacios vacíos durante el proceso de compactación.

Como resultado de la acción aglutinante que provoca el aditivo multienzimático sobre los materiales, así como su efecto positivo en el proceso de compactación, la relación de vacíos se reduce de tal forma que la capa construida presentará en muchos casos una textura muy cerrada, que impedirá la penetración del agua y lógicamente de cualquier material de sello. Este aparente problema se resuelve de manera sencilla, aplicando un riego de una solución de 1:10 000 del aditivo en agua, con la finalidad de acondicionar la superficie y mejorar la impregnación del material de sello, el cual de esta manera quedará estrechamente ligado.

Las enzimas orgánicas actúan como un surfactante (sustancia activa en la superficie), que cambia la naturaleza hidrófila de materiales de cal y arcilla a hidrófoba. La aplicación del aditivo multienzimático expulsa permanentemente la humedad capturada en los suelos que contienen cal y arcilla, promoviendo la lubricación de las partículas del suelo e incrementando la solidificación de todos los suelos A2-A7 de la clasificación AASHTO.

Las enzimas orgánicas fueron desarrolladas para ayudar específicamente en la ingeniería y construcción de carreteras. Este desarrollo permite el uso de materiales de calidad inferior, removiendo el agua absorbida en estos materiales.

Por reducir substancialmente el contenido líquido en estos materiales, los suelos llegan a ser más densos al incrementar las tasas de CBR de 2 a 6 veces.

Todas las partículas de cal y arcilla tienen espacios porosos, los cuales son huecos entre las partículas de suelos. Estos huecos o poros son ocupados por aire y agua, esta agua absorbida causa que ellos se expandan, estos son conocidos como materiales expansivos y son la causa de la mayoría de las fallas en fundamentos o proyectos de vías, que no se ha estabilizado permanentemente.

La reacción de las enzimas sobre los materiales arcilla/cal substancialmente reduce o elimina estos vacíos permanentemente. Como la humedad en el suelo fue reducida previamente a la aplicación, las moléculas del suelo absorben el agua cargada del aditivo como si fueran moléculas de agua común. Como el agua es esparcida, el aditivo rodea las moléculas, así como se absorben en la molécula y así remueve el agua absorbida.

3.4. Definición de aditivo enzimático

Es un producto orgánico a base de enzimas, el cual es usado para estabilizar materiales plásticos arcillosos, empleando los métodos tradicionales de construcción y compactación de suelos.

Las enzimas son compuestos orgánicos similares a las proteínas que actúan como catalizadores, debido a que la estructura de sus moléculas contiene partes activas que aceleran el proceso de aglutinamiento de las arcillas.

Agregando una pequeña cantidad del aditivo multienzimático al agua que se requiere aplicar al material para obtener la humedad óptima para compactar,

da como resultado la formación de una capa estable y resistente a un bajo costo, la aplicación del aditivo enzimático no requiere de equipo especializado o mano de obra adicional.

La estabilización mediante enzimas es comúnmente demostrada por las termitas y las hormigas en América Latina, África y Asia. La saliva de hormiga está llena de enzimas y es utilizada para construir estructuras de tierra duras como la roca y con una altura de hasta 9 metros.

Es a partir de este principio natural que se han desarrollado estos productos, que a diferencia de los tradicionales materiales pétreos que solo ofrecen una compactación de hasta 90 por ciento, logran hasta un 105 por ciento de compactación previniendo la erosión e impermeabilizando el suelo, lo que se traduce en una mayor durabilidad de las vías con menor mantenimiento, y esto a su vez se traduce en un significativo ahorro.

El aditivo es un producto orgánico multienzimático, diseñado para mejorar las condiciones de construcción y estabilización de caminos y suelos en general, así como la impermeabilización de lagos, represas y capas de cobertura en rellenos sanitarios, pero su aplicación principal es cuando se utiliza como estabilización de partículas plásticas arcillosas, presentes generalmente en los materiales, con los cuales se construyen los caminos y debido a esta función estabilizante es actualmente posible recuperar la mayoría de los revestimientos en la construcción y reconstrucción de caminos rurales o carreteras.

El aditivo tratará un amplio espectro de materiales, que van desde materiales como arcilla/cal, arenas lodosas, a materiales gravillosos; se añade más o menos de 25 a 35 por ciento del total de la proporción (grupos A1-A7, clasificación AASHTO). En clasificaciones de suelos A7 o A8, la adición de

estos componentes necesarios incrementará el proceso químico. Los materiales deben desplegar algunas propiedades cohesivas (es decir, materiales excluidos).

Materiales no cohesivos tales como: las arenas pueden ser tratadas después de que hayan sido modificados, mezclándolos con materiales que contengan arcilla, cal, cemento, o arcilla volátil.

3.5. Método de aplicación

Es recomendado aplicar el aditivo multienzimático sobre el terreno en estado natural, pues en todos los casos se logrará incrementar de manera importante las características de estabilidad y compactación del mismo. Sin embargo, debido a que actúa sobre partículas finas plásticas que pasan la malla 200, se trata de mejorar las condiciones granulométricas hasta donde económicamente sea posible.

Es importante que el terreno a estabilizar cuente con un mínimo del 20 por ciento de partículas cohesivas, pues es el efecto de las enzimas sobre los materiales plásticos lo que permite su acción aglutinante.

Después de haber verificado las características físicas del suelo por medio de análisis de laboratorio, se procede a aplicar el aditivo de la siguiente forma.

- **Etapa I**

Se recomienda escarificar el terreno a una profundidad de 15 a 20 centímetros y bandear el material para disgregarlo y homogeneizarlo, sobre todo cuando ha sido necesario utilizar un material granular para mejorarlo.

- Etapa I.A

Escarificar el suelo o la carretera a un mínimo de 15 centímetros de profundidad y luego alinear el material suelto. Si la carretera requiere mayor profundidad, hay que trabajar el material a manera de capas.

- Etapa II

Se añade 1 galón de aditivo multienzimático por cada 120 metros cúbicos de material compactado, y el agua necesaria para obtener la humedad óptima. Se aplica la solución sobre el material lo más homogéneo posible y si luego de aplicar el aditivo es requerida más humedad, solo se aplica agua sin necesidad de este. Si en caso el material tuviera más humedad que la requerida, se procederá a abrir surcos en el material para orearlo hasta obtener la humedad requerida.

- Etapa II.A

Por cada 165 yardas cúbicas de material para la carretera, se debe agregar 1 galón de aditivo a la cantidad de agua requerida para obtener la humedad óptima o su equivalente, utilizando un recipiente de 20 galones que rinde para 660 metros cúbicos, cubriendo 1 100 metros de largo, 4 metros de ancho y 15 centímetros de espesor, el aditivo deberá ser mezclado homogéneamente en el camión cisterna previo a su aplicación sobre la ruta a trabajar.

Mezcle el aditivo multienzimático con una cuchilla graduada (motoniveladora), trabajando el suelo y el agregado hacia delante y hacia atrás, para volver todo una mezcla homogénea. Si el material está muy saturado,

pasar la motoniveladora en seco y si está muy seco se debe agregar agua sin aditivo, para llegar a la humedad óptima.

Después de haber mezclado, esparza el material para que grade. El material puede dejarse durante la noche en hileras, para que absorba y alcance su humedad óptima y esto dará un resultado de mayor compactación con menos esfuerzo.

- Etapa III

Después de homogeneizar el material, este se tiende y se compacta, empleando para esto el equipo especificado según el terreno que se esté trabajando, si no se cuenta con el equipo apropiado de todas formas el aditivo multienzimático reaccionará, dejando una compactación con resultados aceptables y con menos trabajo del que regularmente se requiere.

Si es necesario utilizar agregado se debe usar un material fino. Se debe revisar la gradación total de material para asegurar que está dentro de los límites requeridos por las especificaciones del proyecto. La profundidad a tratar depende de la carga de diseño.

- Etapa III. A

Extienda y corone la superficie con una motoniveladora, si el material seca en un día soleado, es necesario disgregar otra vez con una cantidad mínima de aditivo, se procederá a compactar con un compactador como el de pata de cabra o con uno de neumáticos. Esta maquinaria se usa durante las primeras 2 pasadas. Es necesario evitar la vibro compactadora, para evitar rajaduras.

Esperar 72 horas para la utilización de la carretera si se puede, sino usar inmediatamente.

3.5.1. Especificaciones del material para aplicar el aditivo

El aditivo actúa directamente sobre las partículas finas de origen arcilloso plástico que pasan la malla 200, por lo que se requiere de un mínimo de 20 por ciento y un máximo del 40 por ciento de estas, considerando que los demás materiales presentes se pueden clasificar como bien graduados. Sin embargo, es importante señalar que se han efectuado aplicaciones del aditivo multienzimático a volúmenes de finos por encima de los límites recomendados con buenos resultados.

En el caso que el terreno natural presente una gran cantidad de finos plásticos arcillosos o que incluso por recomendación técnica requiera ser removido y reemplazado por material de banco, el aditivo será la solución, ya que en el primer caso requerirá únicamente que se agregue material de banco granular. Cuando sea necesario reemplazar el material natural, podrá mezclarse el material de reemplazo, en cantidad adecuada, para cumplir con las especificaciones que se requiere, ahorrando con esto movimientos de tierra natural y reduciendo considerablemente el número de acarreos, logrando así construir un camino estable y homogéneo.

Por otra parte, cuando hay terracerías ya construidas a las cuales se les ha aplicado revestimientos de material granular de banco, que con el tiempo ha sido contaminado por las arcillas del terreno original, se recomienda constatar que las partículas finas (arcillas) sean lo suficiente estables para cumplir con las especificaciones del aditivo y entonces se deberá únicamente escarificar el terreno al espesor requerido y necesitará de muy poco o ningún mantenimiento.

El aditivo se recomienda para su uso sobre terreno tal y como se encuentra, siempre y cuando tenga un mínimo del 20 por ciento de material fino arcilloso; sin embargo, se deberá buscar el mejoramiento de las condiciones granulométricas hasta donde económicamente sea posible, ya que es claro que mientras mejores características tenga el terreno, mejores serán los resultados.

Con base en lo anterior es importante respetar las especificaciones de construcción en lo referente a material de gran tamaño, por lo que este se deberá seleccionar (papear) adecuadamente para evitar que afecte la estabilidad del camino, en especial cuando se encuentre en la superficie de rodamiento.

Resumiendo: que en los procesos de construcción, en los cuales se requiera el uso de materiales de banco o agregados, el aditivo será una valiosa ayuda, ya que al utilizarlo se podrán emplear materiales más económicos, disminuirse la cantidad de estos e incluso hasta evitarse, dando como resultados ahorros muy significativos, además de los beneficios ya señalados.

3.5.2. Dosificación recomendada del aditivo y humedad requerida para su aplicación

El aditivo se dosifica a razón de un litro (1l) por cada 25 metros cúbicos de material compacto, mezclándolo con el agua necesaria para obtener la humedad óptima para compactar. Esta dosificación está calculada para llevar a cabo la acción catalítica aglutinadora con las arcillas presentes, considerando que se tiene un mínimo de 20 por ciento de este material plástico, por lo que esta se llevará a cabo en forma total en un período aproximado de 72 horas, durante las cuales no se requerirá de un cuidado especial, ya que dicha reacción se llevará a cabo independientemente de haber sido abierto al tránsito el tramo al terminar el trabajo de compactación.

Normalmente, el equipo para aplicar la humedad óptima está acorde al tipo de terreno que se está trabajando, con lo cual la aplicación del aditivo siempre podrá llevarse a cabo, únicamente es importante recomendar que la aplicación deberá ser lo más homogénea posible.

Las características del agua mezclada con el aditivo, permiten que la humectación del material sea más rápida y eficiente, ya que incrementa la penetración, logrando con esto reducir las pérdidas por evaporación, pero además se logra que las condiciones necesarias de humedad para compactar se obtengan con menor cantidad de agua y es la suma de estos 2 beneficios, lo que da como resultado ahorros significativos.

En base a lo anterior y considerando que al emplear el aditivo siempre se trabajará sobre materiales arcillosos plásticos, se recomienda calcular la cantidad de agua (necesaria para compactar) por lo menos un 20 por ciento debajo de lo que normalmente se requiere para el tipo de material que se esté empleando, de acuerdo a los porcentajes de humedad señalados por el laboratorio correspondiente.

Se hace mención nuevamente, que la dosificación del aditivo es con respecto al volumen de material, no en relación al agua, pues está es sólo el medio para aplicarlo, en el caso que después de aplicar la mezcla (aditivo agua) fuera necesaria más humedad, se deberá aplicar agua sin aditivo, si por el contrario, se hubiera obtenido una humedad por encima de la óptima, solo deberá orearse el material hasta obtener la adecuada y después tenderlo para proceder a compactar.

El aditivo podrá ser aplicado con cualquier cantidad de agua, ya que como se ha mencionado, esta es el vehículo para aplicarlo. Se puede tomar como

ejemplo casos extremos para mayor comprensión al respecto; en los casos en que el terreno presenta poca o nula humedad y en los cuales se requiere aplicar un gran volumen de agua, como por ejemplo 2 pipas (total a emplearse calculando a razón de 30 metros cúbicos por litro). Podrá ser aplicado totalmente el aditivo en la primera pipa y la cantidad de agua faltante podrá ser agregada sin aditivo.

Es desde luego más crítico, cuando se encuentran terrenos que presentan una humedad muy cercana a la óptima y en algunos casos inclusive arriba de esta y conociendo que reduce la cantidad de agua necesaria hasta en un 20 por ciento, se deberá tratar de disminuirla lo más posible para poder aplicar el aditivo de manera más eficiente. Por esta razón se recomienda aplicarlo con el menor volumen de agua necesario, ya sea con un aspersor o una bacheadora. Ante esta situación se debe asegurar la incorporación del aditivo bandeando el material lo suficiente para que la mezcla sea completa, lo cual es fácil notarlo cuando comienza a ponerse más pesada.

Con respecto a la calidad de agua que se requiera para aplicar el aditivo, no es necesario que esta sea potable, aunque si aceptablemente limpia. Se considera importante chequear, siempre que sea posible los porcentajes de humedad, tanto óptima como de campo (determinadas ambas por el laboratorio) y así estar en las mejores condiciones de establecer la cantidad de agua necesaria para mezclar el aditivo.

Se recomienda aplicar el aditivo mezclado con el agua en capas de pequeños espesores de material tendido, con la finalidad de lograr una adecuada distribución y posteriormente mezclar todo el material hasta lograr la óptima homogenización para tender y compactar.

3.6. Ventajas en la aplicación y uso del aditivo enzimático

El método tradicional empleado en mantenimiento vial, implica mayor empleo de maquinaria, así como acarreo de material desde puntos lejanos al lugar de trabajo, retardando con esto el progreso del proyecto. A continuación se detallan los beneficios al utilizar la estabilización de suelos a base de enzimas orgánicas.

- Fácil de aplicar: no se requiere de ningún equipo especial al usarlo, únicamente se agrega a razón de un litro por cada 30 metros cúbicos de material (esta es la cantidad óptima para compactar). No modifica de ninguna forma los procesos tradicionales de construcción de caminos.
- Reduce costos de mantenimiento: caminos nuevos y terracerías ya existentes que son tratadas con el aditivo al espesor recomendado, mantendrán una superficie fuerte y estable, que requerirá de un mantenimiento mínimo.
- Evita utilizar agregados costosos: los constructores de carreteras pueden construir nuevas terracerías y bases usando el material existente sin necesidad de acarrear agregados de banco adicionales (siempre que existan suficientes materiales finos plásticos). Mezclando el aditivo en la superficie escarificada de 15 a 25 centímetros de profundidad, se obtendrá una base con mayor resistencia y superior estabilidad que cualquiera que pudiera obtener con otro método.
- Fácil de aplicar en cualquier clima o región: puede ser usado en diversos rangos de temperatura, desde el punto de congelamiento hasta el más

cálido verano. Desde el fondo de un lago a la colina de una presa, desde lo alto de una montaña hasta la más profunda mina.

- Reducción en gastos de compactación: al aplicar el aditivo multienzimático, se incrementa la lubricación de las partículas, por lo que se alcanza con menos esfuerzos a la compactación de diseño.
- Se trata de usar el equipo de compactación idóneo: según el tipo de terreno que se esté trabajando, pero de no ser así, el aditivo multienzimático de todas maneras actuará, dejando una compactación mucho más resistente de la que normalmente se obtiene, independientemente del método de compactación.
- Aumento en el CBR (valor relativo soporte): la acción de aglutinamiento del aditivo multienzimático, incrementa las características de compacidad del terreno, logrando una unión más densa de las partículas, lo cual reduce la tendencia expansiva de los materiales después de la compactación, dejando una estructura fuerte y estable.
- Impermeabilización de las bases: la fuerte cohesión de las partículas plásticas del material compactado, reduce notablemente la migración del agua. Una base que ha sido tratada adecuadamente con el aditivo enzimático se vuelve prácticamente impermeable.
- Mejora el proceso de humectación: abate la tensión superficial del agua, lo que provoca una fácil penetración y dispersión de la humedad. Esta acción causa una total hidratación de las partículas plásticas, las cuales son aglutinadas dentro de los espacios, formando un denso y permanente estrato.

- Contaminación inexistente: no es tóxico, no requiere de equipos o procedimientos especiales de manejo. No irrita la piel o los ojos, no causa salpullido o quemaduras, no es dañino a los seres humanos, animales, peces o vegetales y es biodegradable.
- Se requiere menos agua: con el uso y aplicación de las enzimas, se reduce hasta en 25 por ciento la cantidad de agua necesaria para alcanzar las condiciones de compactación, al mejorar la humectación y reducir la evaporación superficial.
- No inflamable: no contiene materiales combustibles, no es explosivo y puede ser usado junto al fuego. No emite gases, por lo que puede ser almacenado en lugares poco ventilados.
- El uso del aditivo no cambia en absoluto el método tradicional de construcción de caminos, sin embargo, al ser este una excelente alternativa para mejorar las condiciones de estabilidad y compactación de materiales, se deberán tomar en cuenta sus características y así poder sacar el mejor provecho de ellas.
- Debido al efecto humectante de la enzima al mezclarse con el agua necesaria para compactar, este proceso es mucho más rápido y eficaz. Por lo que se requiere de menor esfuerzo para homogeneizar.
- El aditivo aumenta notablemente la lubricación de las partículas, con lo que se reduce el esfuerzo de compactación al disminuir la fricción entre ellas; siendo esta una de las características principales con respecto a los procesos de compactación.

3.7. Tiempo que se dispone para aplicar el aditivo

La dosificación recomendada de un litro por cada 30 metros cúbicos de material, permite que la acción aglutinante de las arcillas tratadas con el aditivo multienzimático (considerando que se encuentran en una cantidad de 20% o más en volumen) se lleva a cabo en su totalidad en un tiempo aproximado de 72 horas, dependiendo de las condiciones climatológicas y físicas del lugar. Por lo anterior, es claro que se cuenta con tiempo suficiente para tender y compactar un material, aún cuando ya se haya aplicado el producto, pudiendo pasar hasta 24 horas o más para darlo por terminado totalmente.

Si por alguna razón hubiera necesidad de dejar aplicado el producto sin tender ni compactar más de 72 horas, el proceso catalizador se llevará a cabo ocasionando que el material se endurezca, por lo cual no podrá ser manejado fácilmente y en algunos casos, según el tipo de terreno, podrá parecer imposible.

En esta situación, se deberá preparar una mezcla del aditivo en agua en una relación 1:10 000 (1 litro por cada 10 mil litros de agua), para aplicarse sobre el material endurecido, logrando con esto que la enzima que se encuentra mezclada en el suelo se reactive nuevamente, pudiéndose de esta manera volver a acondicionarlo para ser tendido y compactado.

3.8. Aplicación del sello o riego de impregnación a los caminos tratados con aditivo multienzimático

La aplicación del sello puede ser desde un riego de material como arena gruesa, grava o tezontle, hasta un riego de sello o de carpeta asfáltica. Por otra parte, cuando existan carreteras de terracería tratadas con el aditivo pero sin sellar y se vean expuestas a precipitaciones pluviales altas o exageradas, es

posible que el tránsito ocasione pequeñas penetraciones hasta de $\frac{3}{4}$ de pulgada, dependiendo del tipo de terreno sobre el cual se haya trabajado; sin embargo, la superficie de rodamiento recuperará su óptima condición en el momento en que ya no se vea afectada por el agua.

En base a lo anterior y sobre todo cuando se trabaja con materiales con alto porcentaje de finos (más de 80 por ciento pasa la malla 4) y aunque la capa tratada con el aditivo será de muy buena calidad y con mejor estabilidad, se recomienda aplicar algún tipo de sello para evitar, no sólo la penetración de las rodadas, sino también el peligro que representa una superficie muy compacta, pero con bajo valor de fricción debido al tamaño de las partículas, misma que puede ser muy resbalosa estando mojada; pero se insiste que esto sólo sucederá cuando el material sobre el que se trabaje sea extremadamente fino.

De igual forma en caminos tratados con el aditivo, habrá necesidad en determinados casos de rectificar algunos detalles que se hayan presentado con el uso durante el tiempo que fue compactado, dependiendo de qué tan profundo fue afectado con la escarificación dicha superficie.

Como ya se ha mencionado, las superficies de terracerías tratadas con el aditivo multienzimático, pueden volverse extremadamente resbalosas en presencia de agua, cuando ha sido construida con una granulometría muy alta en partículas finas (sin embargo presentará mayor resistencia a la deformación y penetración de las rodadas), por lo que en estos casos conviene aplicar un material granular que sirva como superficie de rodamiento, el cual deberá ser aplicado como ya se ha descrito anteriormente, es decir: después de haber sido tratada la superficie con una dilución de 1:10 000 del aditivo en agua. La dilución cuando se utiliza como matapolvo en caminos mineros o de excesivo tráfico y que no se encuentran sellados, disminuyen no solo el polvo sino la

cantidad de agua que normalmente se usa para mantener estos caminos en buen estado.

4. ENSAYOS DE LABORATORIO APLICADOS A MATERIALES TRATADOS CON ADITIVOS ENZIMÁTICOS

4.1. CBR

El ensayo de CBR mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo simplemente como: relación de soporte, y esta normado en la Norma ASTM D 1883-73.

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de subbases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 milímetros, y que es retenido en el tamiz de 20 milímetros se recomienda que la fracción no exceda del 20 por ciento.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2) y libras por pulgadas cuadrada (psi) necesaria, para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19,4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad, dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

$$\text{CBR} = \text{carga unitaria de ensayo} * 100$$

Carga unitaria patrón

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son:

Tabla X. **Valores de carga unitaria utilizados en ecuación**

Penetración		Carga unitaria patrón		
Mm	Pulgada	Mpa	kg/cm ²	Psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

Fuente: RAVINES MERINO, María Alejandra. *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. p. 34.

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2,54 milímetros (0,1”) sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5,08 milímetros (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico determinado, utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, utilizando los métodos 2 o 4 de las Normas ASTM D698-70 o D1557-70 (para el molde de 15,5 cm de diámetro), se debe compactar muestras utilizando las siguientes energías de compactación

Tabla XI. **Energía de compactación**

	Método	Golpes	Capas	Peso del martillo N
D698	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

Fuente: RAVINES MERINO, María Alejandra. *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras.* p. 37.

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

Tabla XII. **Clasificación de suelos para estructuras de pavimentos**

CBR	Clasificación general	usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 – 3	muy pobre	Subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 – 7	pobre a regular	Subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 – 20	Regular	subbase	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	base, subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	Excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

Fuente: RAVINES MERINO, María Alejandra. *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras.* p. 37.

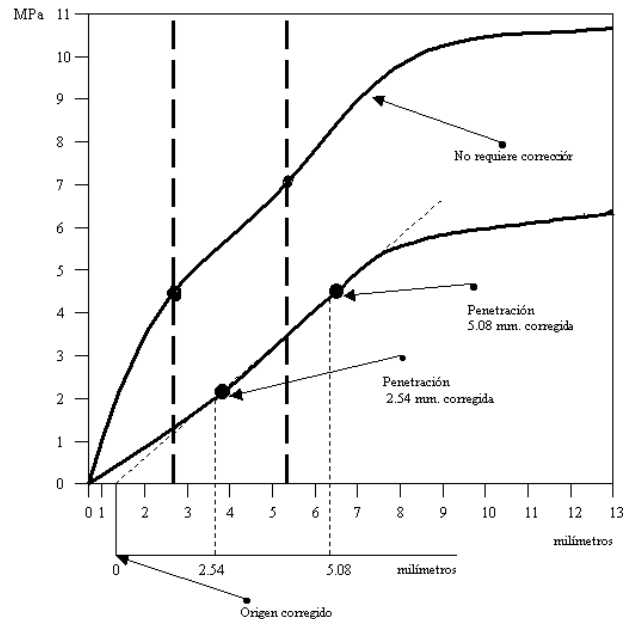
- Equipo necesario
 - Prensa de ensaye
 - Molde
 - Disco espaciador
 - Pisón
 - Cargas
 - Pistón de penetración
 - Aparato para medir expansión

- Procedimiento

Calcular las tensiones de penetración en Mega Pascales (MPA) o en (kg/cm^2)

- Para ello se traza la curva en un gráfico tensión-penetración.
- La curva puede tomar ocasionalmente la forma cóncava hacia arriba, debido a irregularidades de superficie u otras causas. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que la tangente corta la abscisa.
- Obtener de la curva los valores de las tensiones necesarias para lograr una penetración de 0,1 y 0,2 pulgadas.
- Las curvas de tensión-penetración se dibujan en un mismo gráfico para los distintos números de golpes.

Figura 1. Corrección de curvas de tensión



Fuente: RAVINES MERINO, María Alejandra. *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. p. 43.

El valor del CBR es la relación expresada en porcentaje entre la carga real que produce una deformación establecida y la que se requiere para producir igual deformación establecida y la que se requiere para producir igual deformación en un material chancado y normalizado, se expresa por la relación:

$$CBR = \frac{PX100}{P1}$$

Donde:

P: carga obtenida en el ensayo

P1: carga unitaria normalizada

Tabla XIII. **Penetración-tensiones normalizadas**

PENETRACIÓN	TENSIONES NORMALIZADAS	TENSIONES NORMALIZADAS
	MPa	MPa
2,54	6,9	70
5,08	10,3	105
7,62	13,1	133
10,16	15,8	162
12,7	17,9	183

Fuente: RAVINES MERINO, María Alejandra *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. p. 38.

Para los suelos del tipo A – 1; A – 2 – 4 y A – 2 – 6, la razón de soporte se calcula solo para 5 milímetros de penetración (0,2 pulgadas).

Para suelos del tipo A – 4; A – 5; A – 6 Y A – 7, cuando la razón correspondiente a 5 milímetros es mayor que a 2,5 milímetros, confirmar el resultado, en caso de persistencia, la razón de soporte corresponderá a 5 milímetros de penetración.

Para suelos del tipo A – 3; A – 2 – 5 Y A – 2 – 7, el procedimiento a aplicar queda al criterio del ingeniero.

Tabla XIV. **Clasificación de suelo de acuerdo al CBR**

CBR	CLASIFICACION
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Subbase Buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

Fuente: RAVINES MERINO, María Alejandra *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. p. 44.

Quando se requiere conocer los efectos de preconsolidación natural, estructura de suelo, cementación natural, estratificación, que son aspectos que no pueden producirse con muestras remoldeadas de suelo ni con muestras supuestamente inalteradas que se ensayen en laboratorio, se recomienda efectuar el ensaye CBR *in situ*, siempre que el terreno natural esté en las condiciones más críticas en el momento de efectuar la prueba. El procedimiento que se sigue en esta prueba es similar al establecido en los incisos anteriores, con la diferencia que en este caso, la muestra no está confinada en un molde.

Es condición que en el lugar que se realice el ensaye no existan partículas superiores al tamiz 20 milímetros (3/4"). La preparación del terreno requiere enrasar y nivelar un área de 30 centímetros de diámetro, para posteriormente colocar las sobrecargas estipuladas.

El informe final del ensayo deberá incluir; además del CBR determinado, la curva de presión – penetración, humedad, peso específico y densidad natural del

suelo ensayado, antecedentes que pueden obtenerse del suelo inmediatamente vecino al que afectó el ensaye del CBR.

4.2. Índice de plasticidad

La plasticidad es una propiedad característica de los suelos finos, donde el contenido de humedad del suelo está comprendido entre el límite líquido y plástico. En este estado el suelo permite ser moldeado de manera similar a la masa o la plastilina, debido a que el contenido de humedad del suelo contiene la cantidad ideal de moléculas de agua, para que la fuerza de atracción entre las partículas compuestas de minerales de arcilla sea la mayor.

Puede determinarse el límite plástico para un suelo con un tamaño de partículas que pasan el tamiz N°. 40, para lo cual debe humedecerse el suelo lo suficiente como para poder amasarlo, entonces sobre un papel seco en una superficie plana o encima de un vidrio, deben formarse rollitos de unos 3 milímetros de diámetro. Posteriormente los rollitos deben ser juntados en uno para ser amasados y nuevamente formar rollitos, a medida que se formen los rollitos el suelo progresivamente perderá humedad debido al papel y la mano, entonces llegará un momento cuando al formar el rollito el suelo empieza a disgregarse en su superficie y luego a fragmentarse. En este estado cuando el suelo empieza a perder su consistencia plástica, se procede inmediatamente a determinar su contenido de humedad y a la vez será el límite plástico del suelo, que es un contenido de humedad específico que divide la consistencia semisólida de la plástica del suelo.

Con el índice de plasticidad puede evaluarse el grado de amasado que permite el suelo mientras se encuentre en su consistencia plástica, este índice se define como:

$$IP = LL - LP$$

Tabla XV. **Plasticidad del suelo**

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	DESCRIPCIÓN
0 – 3	No plástico
3 – 15	Ligeramente plástico
15 – 30	Baja plasticidad
>30	Alta plasticidad

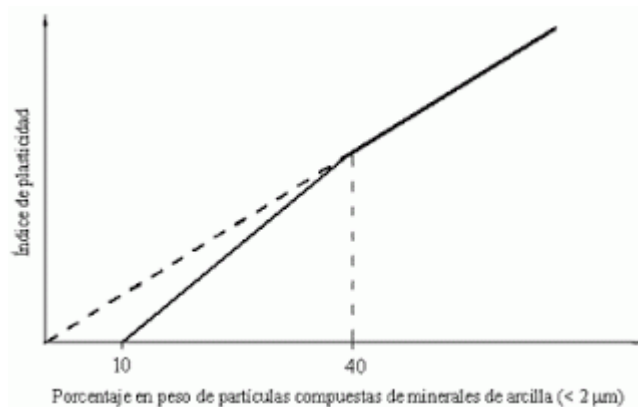
Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. p. 99.

Por lo general los suelos arcillosos están constituidos por un 40 a 70 por ciento de partículas que contienen minerales de arcilla que dan plasticidad al suelo. Si aumenta la cantidad de minerales de arcilla proporcionalmente, también serán afectados el límite líquido y plástico del suelo. Skempton (1953) observó que el índice de plasticidad del suelo aumenta linealmente con el incremento en porcentaje de partículas de arcilla (de tamaño menor a 2 mm), esta proporción lineal variará de acuerdo al tipo de minerales de arcilla que contenga el suelo. Skempton definió una cantidad llamada actividad como la pendiente de la línea que correlaciona el índice de plasticidad y la fracción en peso de las partículas compuestas de minerales de arcilla expresada en porcentaje, que será:

$$A = \frac{IP}{\text{Fracción de arcilla (\%)}}$$

Relación entre el índice de plasticidad y el porcentaje de peso en partículas de arcilla.

Figura 2. **Relación entre el índice de plasticidad y el porcentaje en peso de partículas**



Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. p. 99.

Los suelos que contienen más del 10% de su peso en partículas de arcilla, presentan plasticidad. La plasticidad está correlacionada linealmente con la cantidad de partículas de arcilla del suelo hasta un contenido del 40 por ciento en peso, donde la relación cambia a una línea que parte del origen de coordenadas. La actividad resulta ser la pendiente de la línea de correlación.

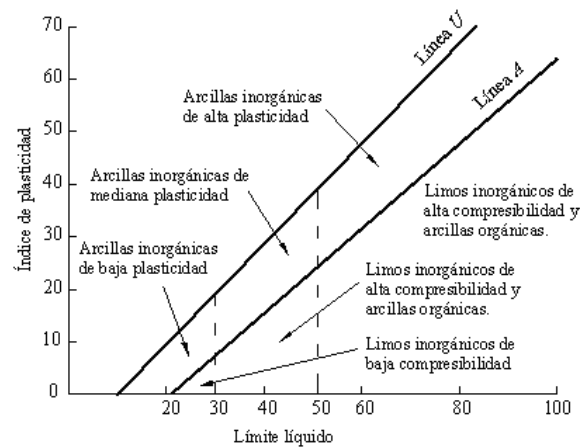
Tabla XVI. **Actividad de las arcillas**

TIPO DE ARCILLA	MINERALES	ACTIVIDAD
Arcilla de caolín	Muscovita	0-4 – 0.5
Arcillas glaciales	Caolinita	0.5 – 0.75
Arcilla común	Illita	0.75 – 1.25
Arcilla orgánica	Montmorilonita	>1.25

Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. p. 100.

Casagrande (1932) estudió la relación que existe entre el índice de plasticidad y el límite líquido para una gran variedad de suelos y construyó el gráfico de plasticidad que se ve en la figura 3, en este observó que las distintas variedades de suelos se agrupan ordenadamente en diversos sectores del gráfico. Empíricamente obtuvo las ecuaciones de las líneas que dividen el gráfico en las regiones donde se agrupan los tipos de suelo.

Figura 3. **Relación que existe entre el índice de plasticidad y el límite líquido**



Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. p.100.

La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos, las arcillas inorgánicas se encuentran por encima de esta línea y los limos inorgánicos por debajo de esta. Los limos orgánicos están situados por debajo de esta línea en el intervalo de 30 a 50 del límite líquido, las arcillas orgánicas se ubican por debajo de esta línea con un límite líquido mayor a 50. La ecuación de la línea A es:

$$IP = 0,73 (LL - 20)$$

La línea U se ubica por encima de la línea A, esta es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad y el límite líquido para cualquier tipo de suelo conocido, aunque rara vez se ubica un suelo por encima de línea U, que tiene la ecuación:

$$IP = 0,9 (LL - 8)$$

La información que provee el gráfico de plasticidad es de gran valor para clasificar los suelos finos y poder identificarlos con facilidad.

4.3. Clasificación del suelo

Dada la complejidad y prácticamente la infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe ir precedido por otro de clasificación completa. Obviamente la mecánica de suelos desarrollo estos sistemas de clasificación desde un principio. Primeramente, dado el escaso conocimiento que sobre los suelos se tenía, fundándose en criterios puramente descriptivos, nacieron así varios sistemas, de los cuales los basados en las características granulométricas, ganaron popularidad rápidamente.

Entre los diversos estudios tendientes a encontrar un sistema de clasificación que satisfaga los distintos campos de aplicación de mecánica de suelos, destacan los efectuados por el doctor A. Casagrande que es el sistema de clasificación: aeropuertos, así llamado originalmente a que estaba destinado a este tipo de obras. Este sistema reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que la malla N°. 200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. En cuanto a los suelos formados por partículas mayores que la

malla mencionada, el criterio básico de clasificación es aún el granulométrico, que aunque no es lo determinante para el comportamiento de un material, sí puede usarse como base de clasificación en los materiales granulares.

- Sistema unificado de clasificación de suelos

Según se dijo, este sistema está basado en el de aeropuertos, hasta el grado que puede decirse que es el mismo con ligeras modificaciones. El sistema cubre los suelos gruesos y finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200, las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50 por ciento de sus partículas son gruesas y si más de la mitad de sus partículas en peso, son finas.

4.4. Granulometría

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. El ensayo es importante, ya que garantiza parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o en subbases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes y demás aplicaciones de este ensayo.

Para obtener la distribución de tamaño, se emplean tamices normalizados y numerados dispuestos en forma decreciente.

Para suelos de partículas de tamaño mayor a 0,074 milímetros (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración que se presentan en la siguiente tabla y para suelos de tamaño inferior se utiliza el Método Hidrométrico, basado en la ley de Stokes.

Tabla XVII. **Numeración y abertura de tamices**

TAMIZ (ASTM)	TAMIZ (Nch) mm	Abertura real mm	Tipo de suelo
3"	80	76,12	Graba
2"	50	50,8	Graba
1/2"	40	38,1	Graba
1"	25	25,4	Graba
3/4"	20	19,05	Graba
3/8"	10	9,52	Graba
Nº. 4	5	4,76	Arena gruesa
Nº.10	2	2	Arena media
Nº.20	0.9	0,84	Arena media
Nº.40	0.5	0,42	Arena media
Nº.60	0.3	0,25	Arena fina
Nº.140	0.1	0,105	Arena fina
Nº.200	0.08	0,074	Arena fina

Fuente: RAVINES MERINO, María Alejandra. *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. p. 26.

4.5. **Compacidad**

Término característico de los suelos granulares, se puede definir como el grado de compactación de los suelos no cohesivos.

La compacidad es una propiedad importante en carreteras, terraplenes y todo tipo de relleno en general, al estar directamente relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de un relleno, ya que debe estar lo suficientemente consolidado para evitar los asentamientos.

Para poder determinar esta característica se hace una comparación entre la densidad del suelo con respecto a sus estados más densos y más sueltos, para ello se establecen las relaciones de vacío mediante la siguiente fórmula:

$$D.R. = \frac{\gamma_d \text{ máx} (\gamma_d - \gamma_d \text{ mín}) \cdot 100}{\gamma_d (\gamma_d \text{ máx} - \gamma_d \text{ mín})}$$

La compacidad se expresa en porcentaje. Cuando los suelos tienen cantidades apreciables de arcilla o limo, la compacidad pierde su significación.

Los valores comunes para gravas y arenas son:

- Muy flojo, si su compacidad relativa varía entre 0 a 15 por ciento.
- Flojo, si su compacidad relativa varía entre 16 a 35 por ciento.
- Medio, si varia de 36 a 65 por ciento.
- Denso, si varia de 66 a 85 por ciento.
- Muy denso, si esta entre 86 a 100 por ciento.

4.6. Comparación de resultados entre material virgen y material tratado con productos enzimáticos

La presente comparación de resultados se basan en las experiencias obtenidas en el proyecto realizado en el mejoramiento de subrasante en la ruta CA-2 San Jerónimo Nuevo Progreso-Pajapita, San Marcos.

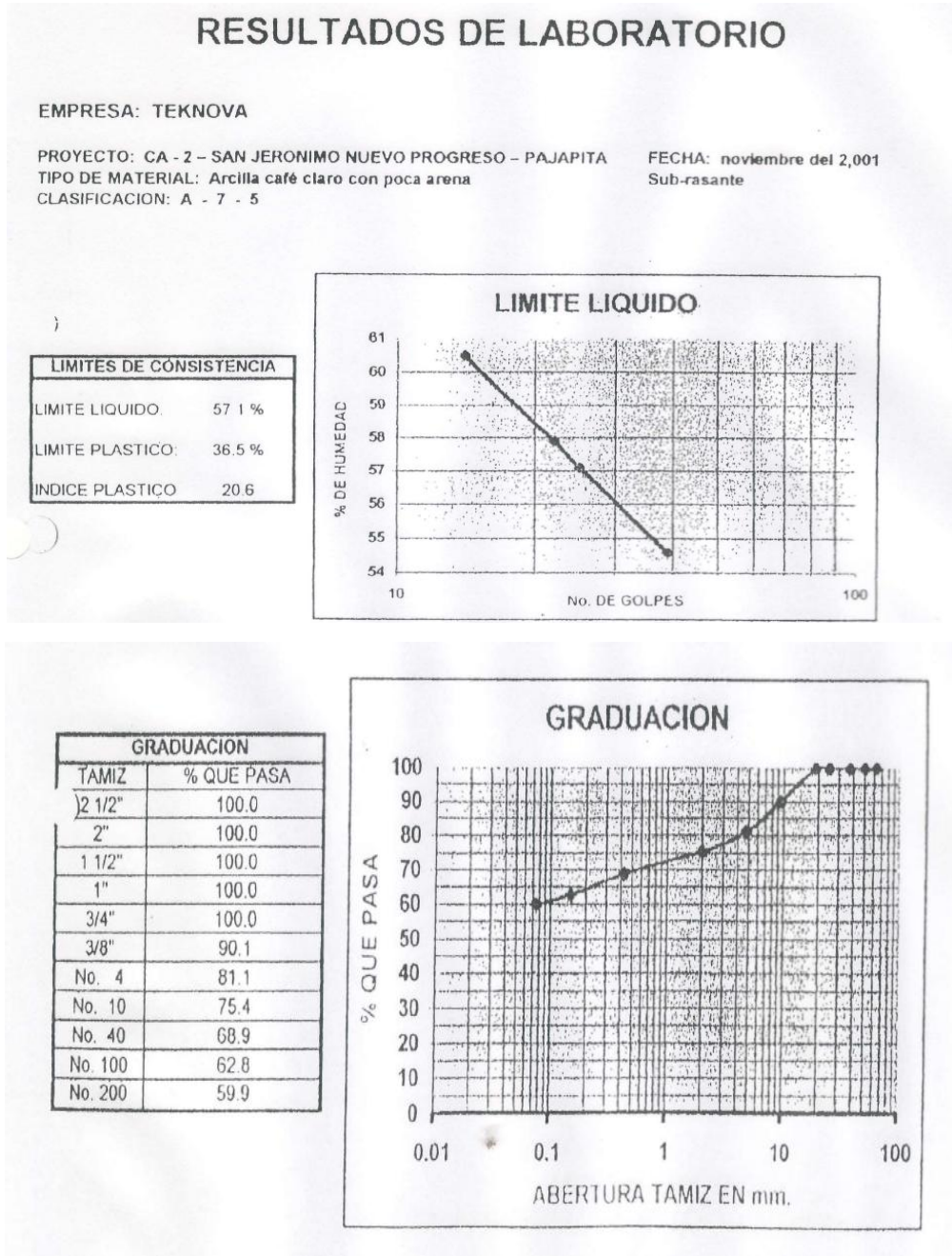
Este estudio se inició realizando un análisis completo de la subrasante del proyecto, la cual está compuesta por una arcilla color café claro con poca arena, presentando un valor soporte bajo y alto hinchamiento.

Posterior a esto se realizó una mezcla de material de subrasante con arena del lugar, en una proporción de 85-15 por ciento. Esto mejoró los límites de consistencia del suelo, valor soporte y porcentajes de hinchamiento, pero no proporcionó los resultados requeridos.

Por último se añadió a la mezcla de arcilla y arena el producto enzimático terrazyme 11X, en una proporción de 0,44 litros por metro cúbico de material, con esto se logró una mejora progresiva con el paso de los días, lo cual se comprueba a continuación.

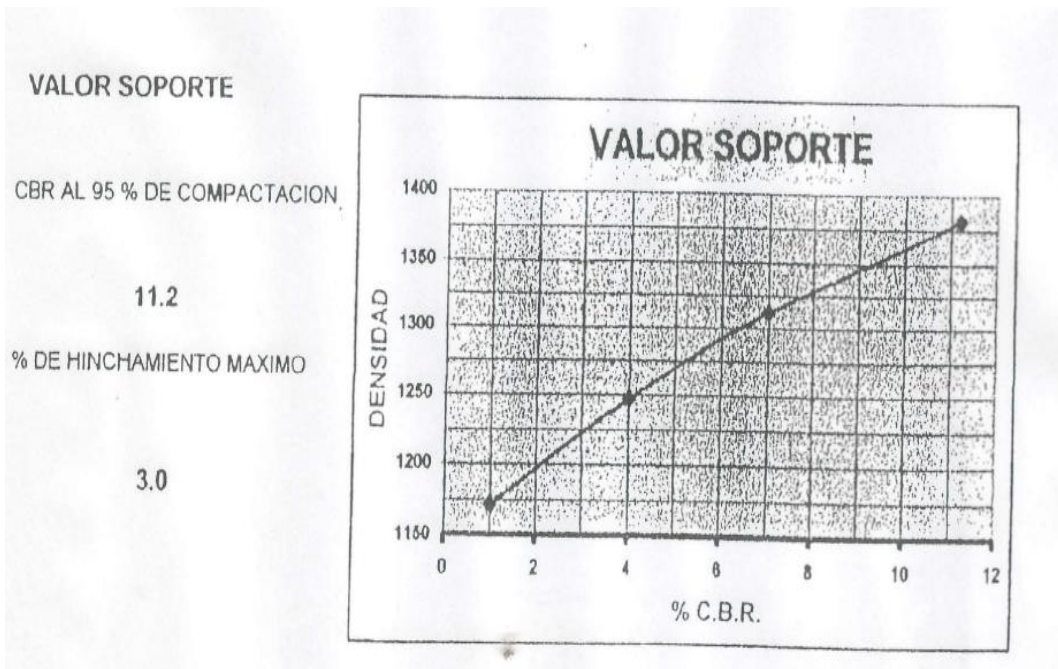
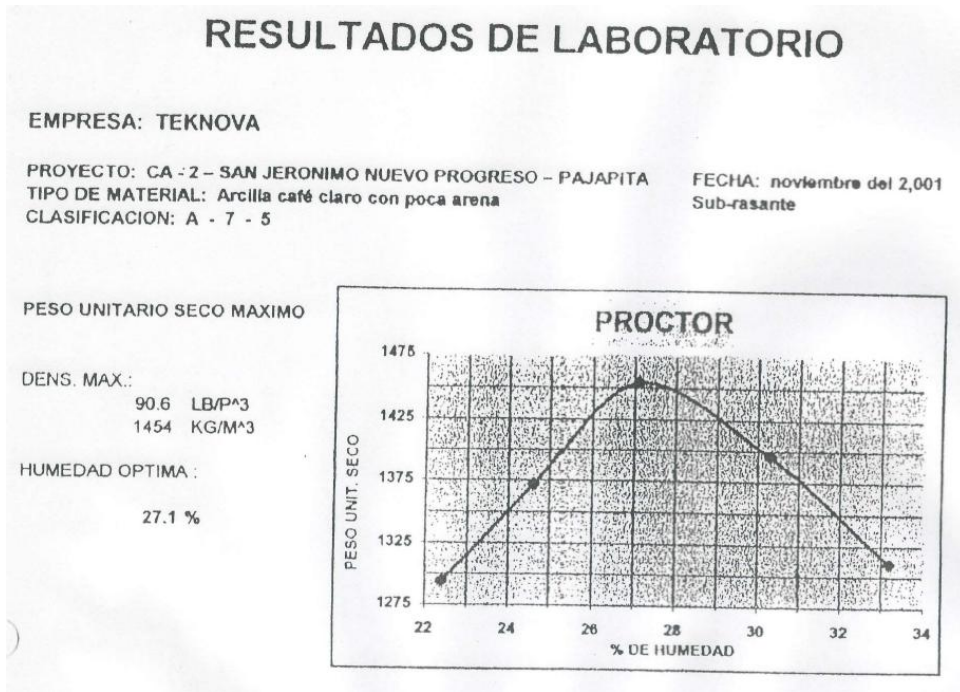
Resultados material virgen del lugar.

Figura 4. Resultados de laboratorio aplicados a la subrasante (límite líquido, plástico, índice de plasticidad)



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

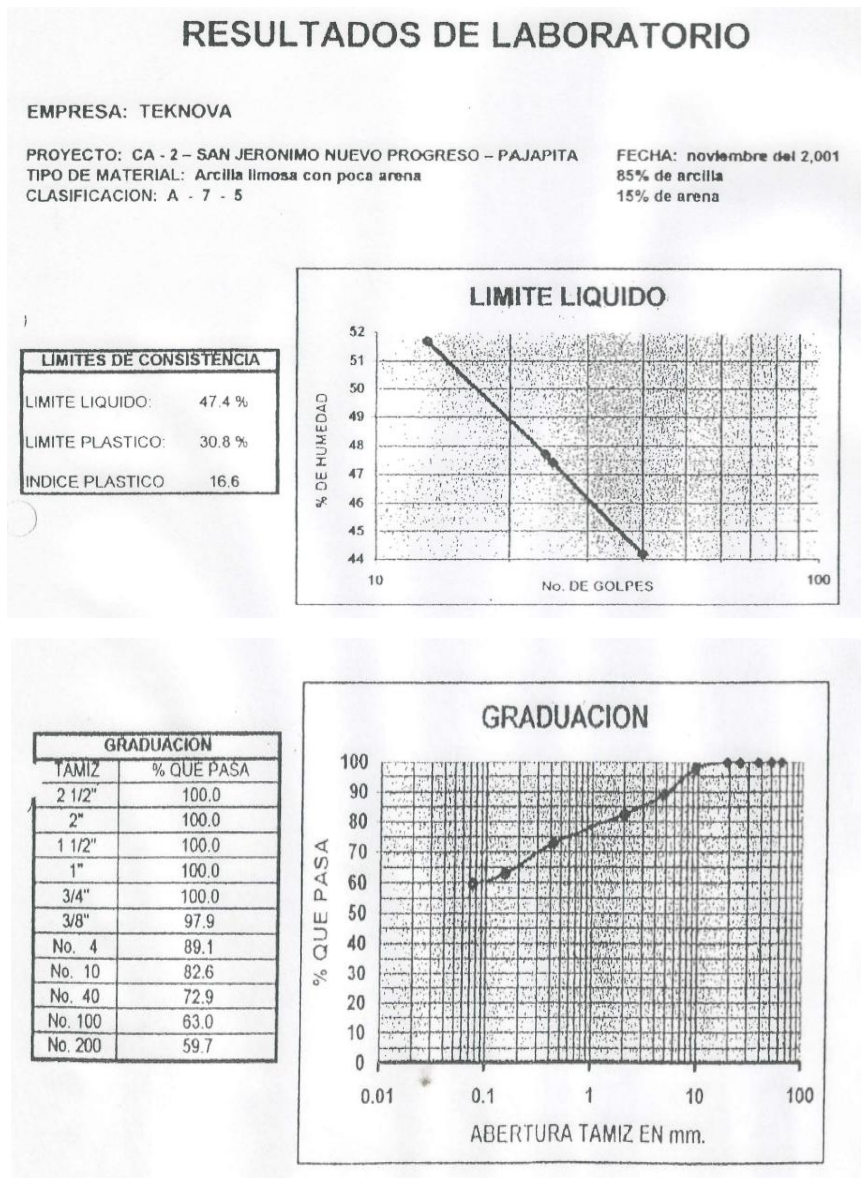
Figura 5. Resultados de laboratorio aplicados a la subrasante (Proctor)



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

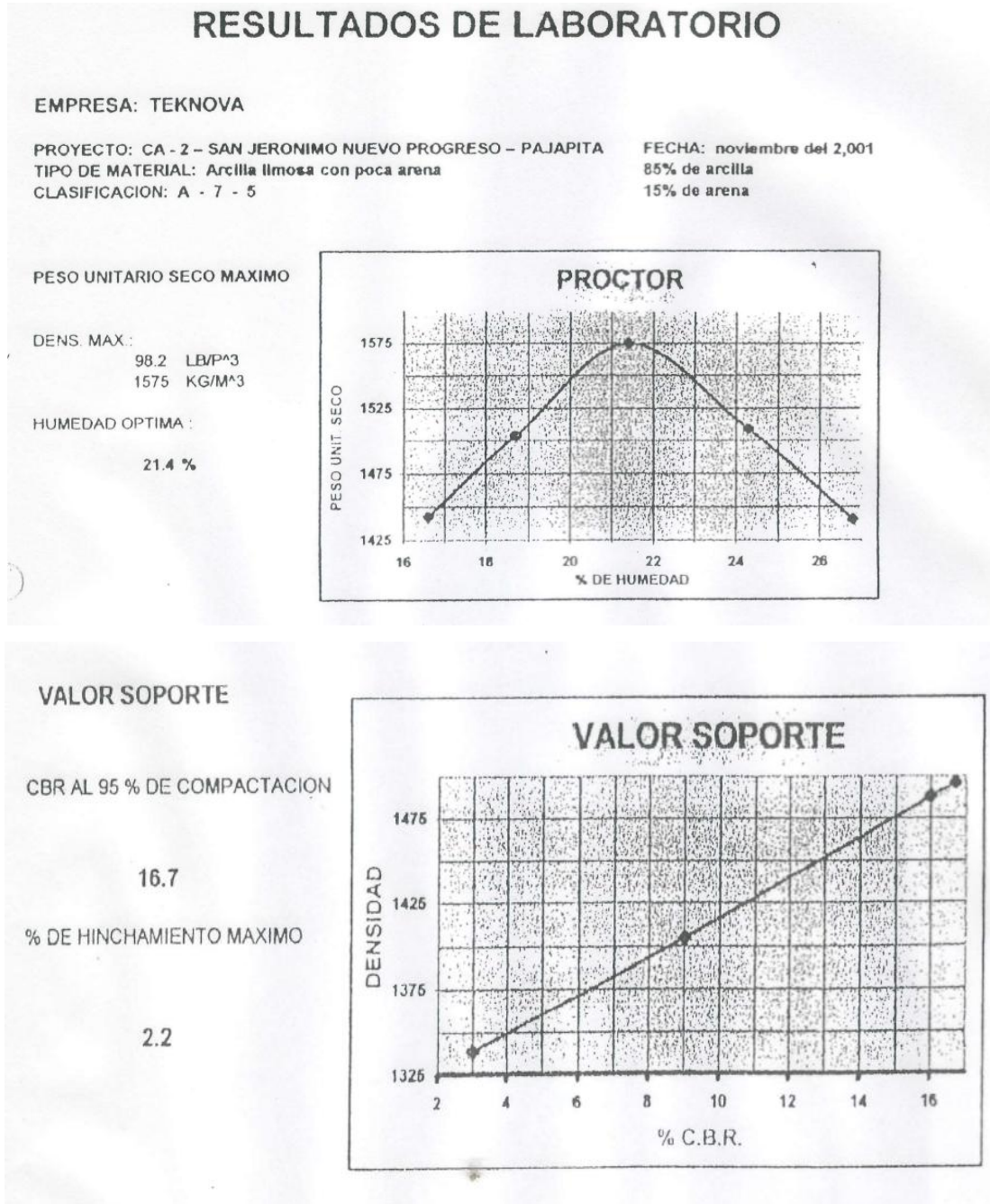
Ensayos aplicando proporción 85 por ciento arcilla-15 por ciento arena

Figura 6. **Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena (límite líquido, plástico, índice de plasticidad)**



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

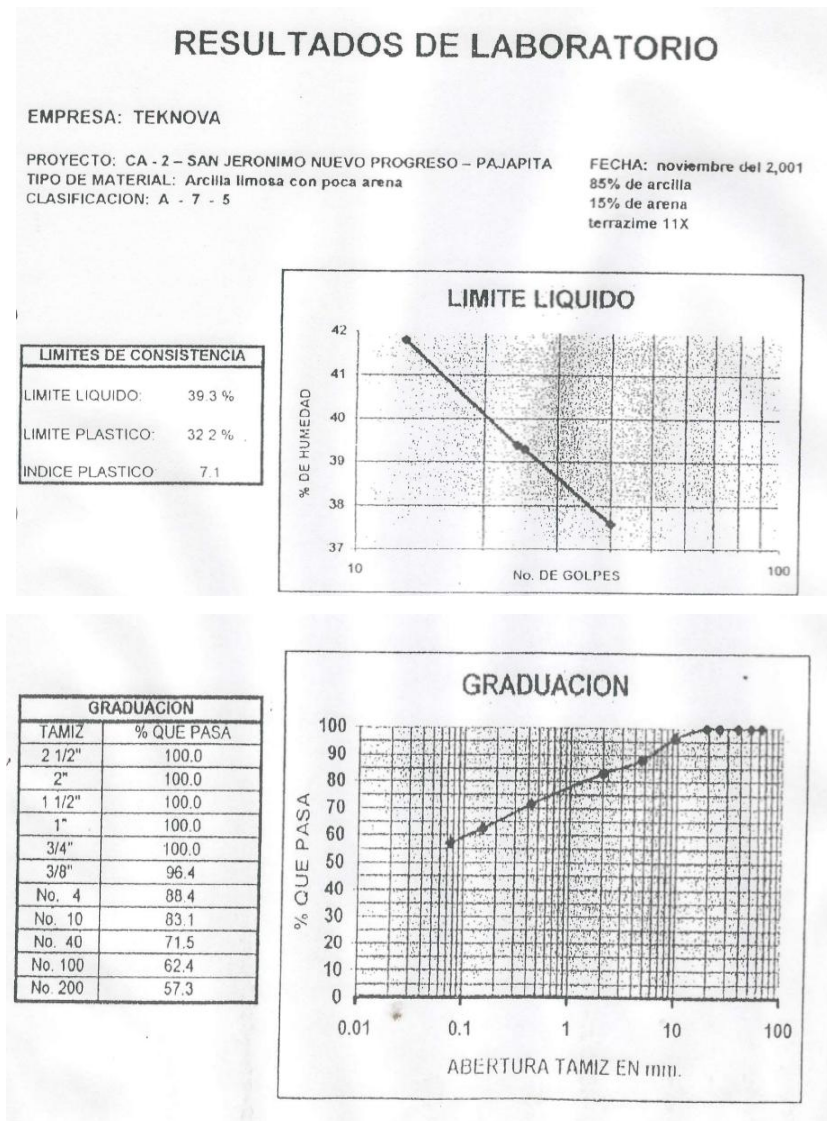
Figura 7. Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena (Proctor)



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

Mezcla aplicando 85 por ciento arcilla-15 por ciento arena y 0,4 litros de Perma-Zyme 11x por cada metro cúbico de material.

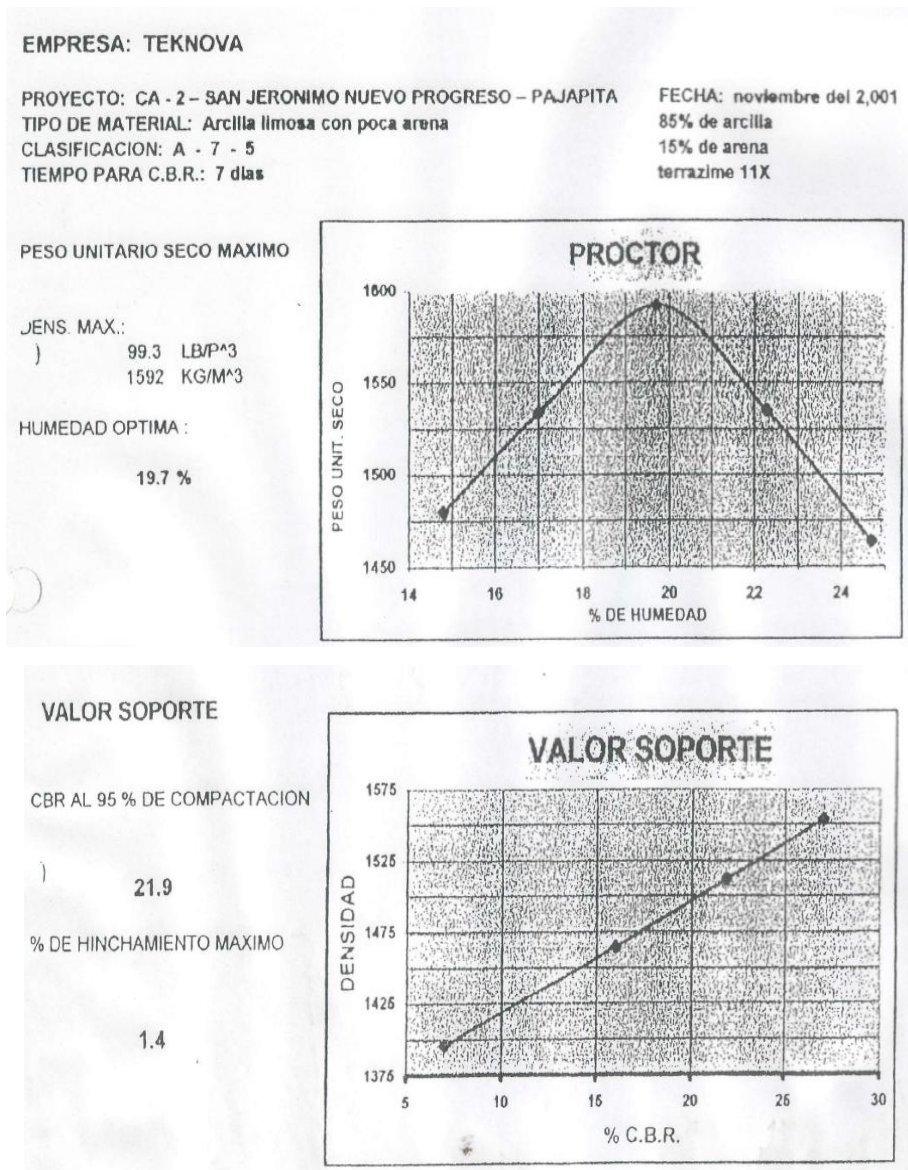
Figura 8. **Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0,4 litros de Perma-Zyme 11X (límite líquido, plástico, índice de plasticidad)**



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

Ensayos aplicados a los 7 días

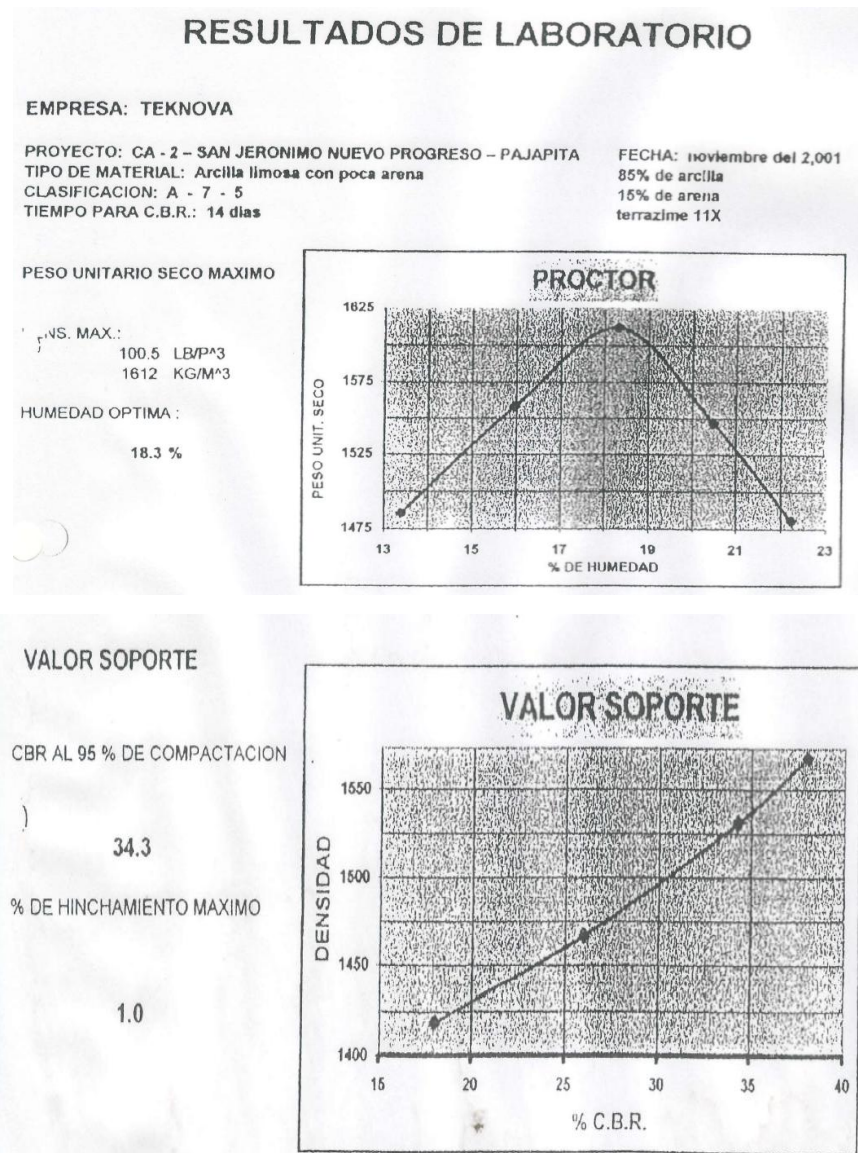
Figura 9. **Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0,4 litros de Perma-Zyme 11X (proctor 7 días)**



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

Ensayos aplicados a los 14 días

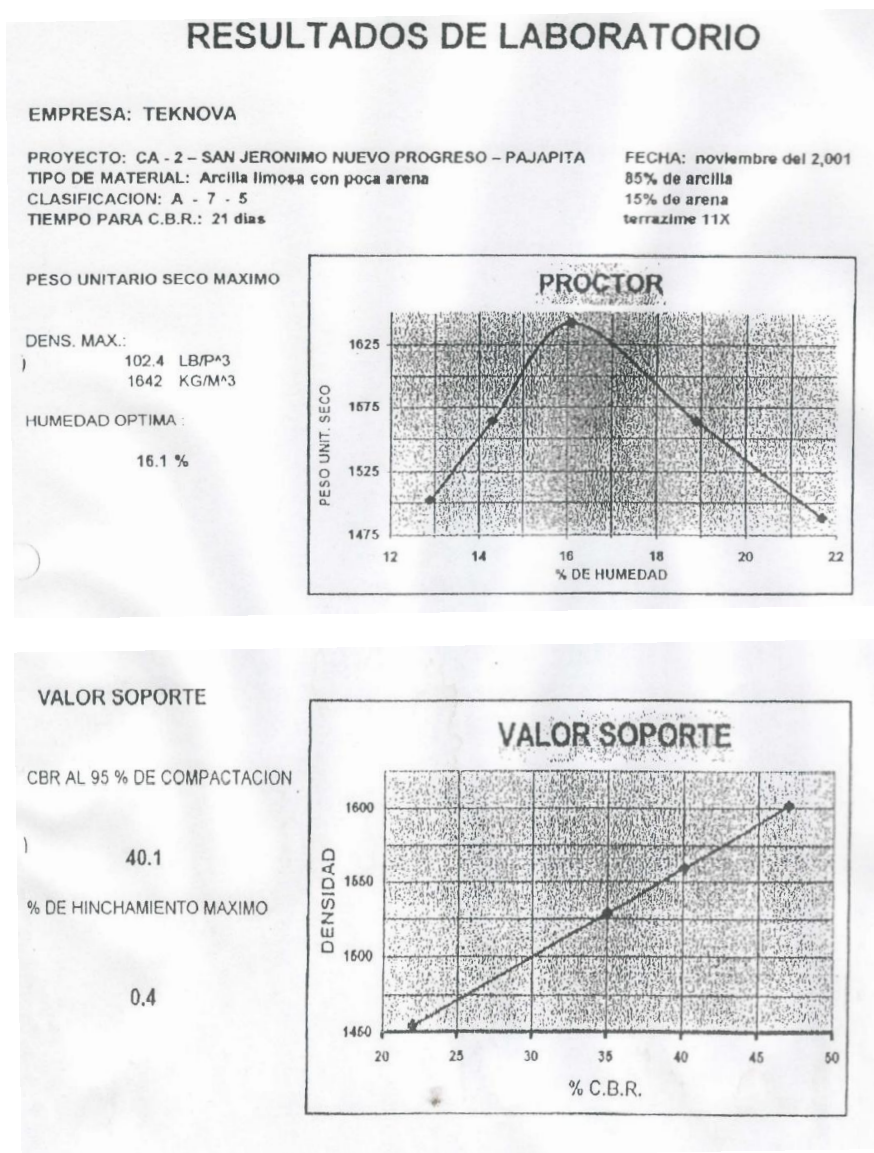
Figura 10. **Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0,4 litros de Perma-Zyme 11X (proctor 14 días)**



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

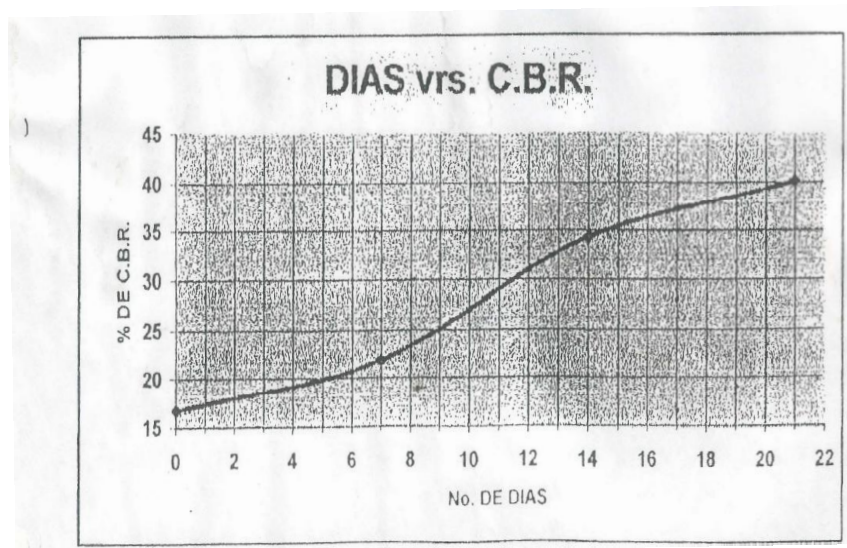
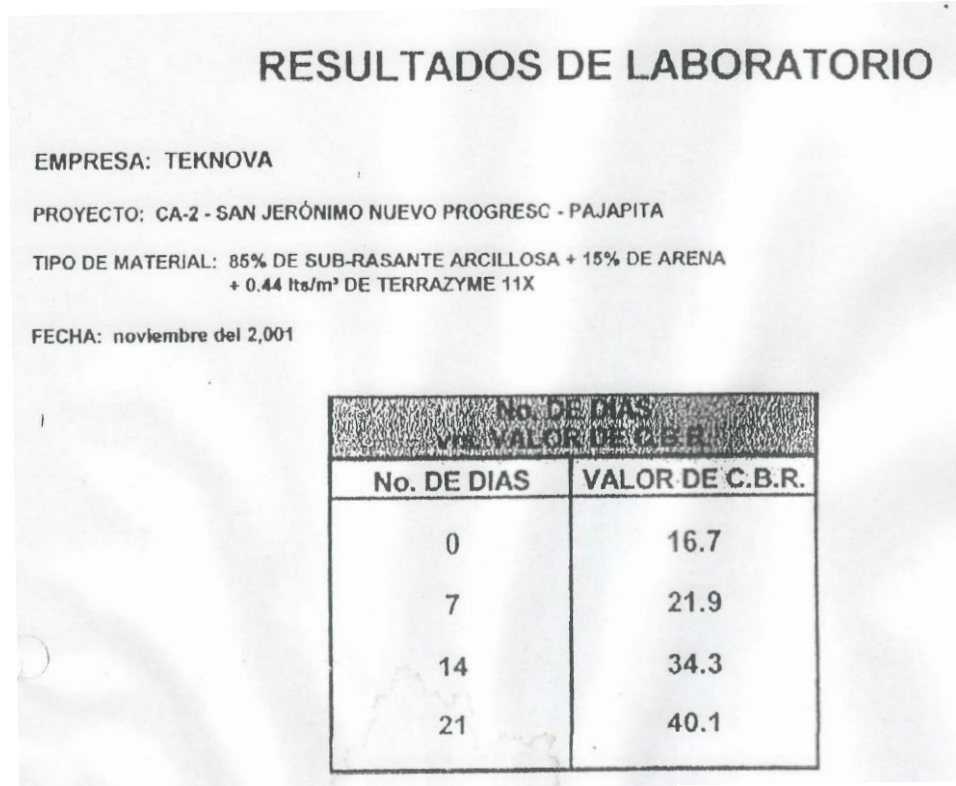
Ensayos aplicados a los 21 días

Figura 11. Resultado de laboratorio aplicados a proporción 85 por ciento arcilla y 15 por ciento arena y 0.4 litros de Perma-Zyme 11X (Proctor 21 días)



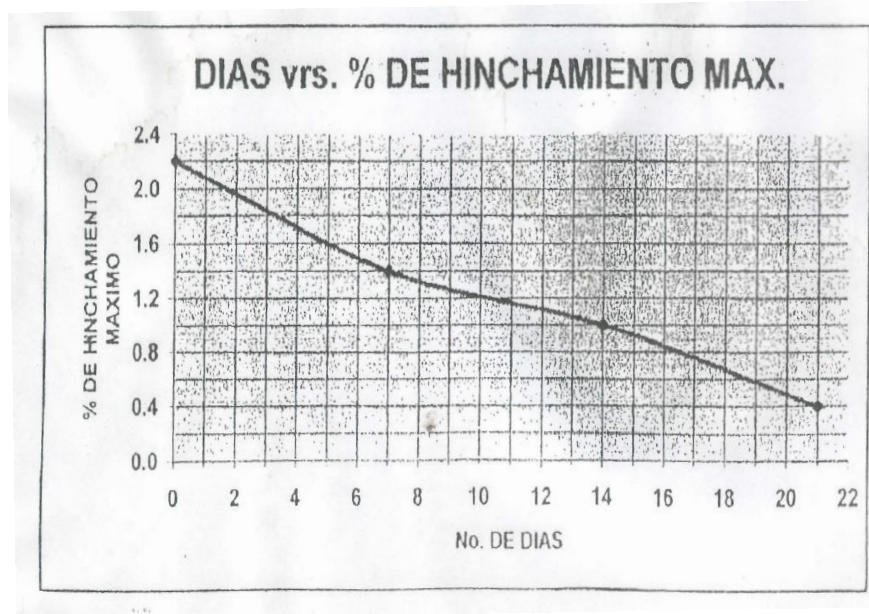
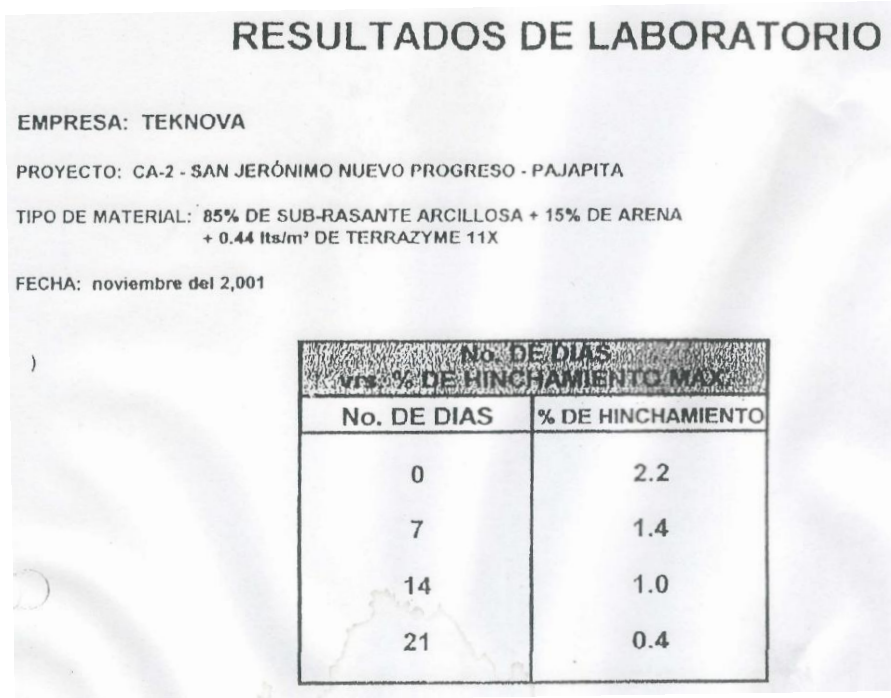
Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

Figura 12. Resultado de laboratorio. Días contra CBR



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

Figura 13. Resultado de laboratorio. Días contra porcentaje de hinchamiento



Fuente: CONCAL. Control de Calidad, Ensayos de Laboratorio, Análisis y Diseños.

4.6.1. Análisis de resultados

Al implementar la estabilización de suelos a base de productos enzimáticos, se espera que los resultados obtenidos sean viables en las distintas actividades del mantenimiento vial.

- Con respecto a la gradación del material, el aditivo enzimático requiere como mínimo que un 20 por ciento de las partículas pasen el tamiz N.º 200, lo cual se cumple en los 3 casos, tanto en el material natural del lugar como en la mezcla de 85 por ciento arcilla con un 15 por ciento arena y la mezcla que contiene el aditivo, este porcentaje es mayor al 50 por ciento. Aunque es recomendable hasta un máximo de 40 por ciento, para este caso se obtuvieron buenos resultados.
- El ensayo de CBR al 95 por ciento aplicado al material virgen proporcionó resultados de 11,2 los cuales fueron mejorados al incluir un 15 por ciento de arena, proyectando un valor de CBR de 16,7, con la adición del aditivo enzimático se logró alcanzar un valor inicial a los 77 días de 21,9, a los 14 días de 34,4 y finalmente a los 21 días de 40,1, estos resultados confirman la eficiencia al utilizar esta nueva técnica de estabilización de suelos, pues aumenta su resistencia a corte. Los resultados iniciales mejoraron en un 47,1 por ciento con respecto al resultado final. A esto se puede agregar que conforme aumentaron los resultados de CBR, disminuyeron los porcentajes de hinchamiento, siendo el valor inicial de 3 unidades hasta llegar al valor final de 0,4.
- La densidad máxima inicial registrada fue de 90,6 libras por pie cúbico, en el material virgen, llegando hasta un valor de 98,2 libras por pie cúbico al aplicarse un 15 por ciento de arena, hasta llegar a un valor final de

102,4 libras por pie cúbico transcurridos 21 días después de la aplicación del estabilizador enzimático. Comprobando con esto que el material se vuelve más denso y estable con la aplicación de aditivos a base de enzimas orgánicas.

- La cantidad de agua utilizada para los trabajos de mantenimiento vial disminuye considerablemente, pues los resultados de humedad óptima del material virgen proporcionan un porcentaje de 27,1, este se logra reducir al aplicar un 15 por ciento de arena, para esta nueva proporción el resultado es de 21,4 por ciento al aplicar el aditivo enzimático este porcentaje se reduce a un 16,1 por ciento. Esto debido a que las enzimas funcionan como catalizadores haciendo que las partículas de suelo fino (arcillas) se acomoden en un menor tiempo posible con una menor cantidad de agua.

CONCLUSIONES

1. Una estabilización enzimática de suelos será viable únicamente si el suelo tratado posee como mínimo un 20 por ciento de suelo arcilloso.
2. La estabilización enzimática es generosa con el medio ambiente al ser de origen orgánico, además de evitar la erosión de bancos de préstamo de material.
3. La falta de conocimiento acerca de estabilizadores a base de enzimas, hacen que proyectos viales incrementen su costo y disminuyan su período de durabilidad.
4. Una estabilización enzimática aplicada adecuadamente, reduce costos en mantenimiento y reparación en períodos distantes.
5. La estabilización a base de productos enzimáticos reduce la utilización de maquinaria, así como el acarreo y compra de material de bancos de préstamo.

RECOMENDACIONES

1. Dar a conocer a las entidades correspondientes del mantenimiento vial en Guatemala los beneficios aportados por las estabilizaciones enzimáticas en los proyectos de conservación vial.
2. Hacer los ensayos de laboratorio previos a una estabilización a base de enzimas, para determinar la presencia del porcentaje mínimo de arcillas para asegurar los resultados deseados.
3. Capacitar a las entidades correspondientes del mantenimiento vial en Guatemala sobre la utilización de productos enzimáticos en proyectos viales.
4. Sabiendo que la base de una carretera es lo más importante para la durabilidad de un proyecto vial, se debe de construir esta con las especificaciones y normativos que rigen la construcción de las mismas.
5. Analizar los distintos métodos de estabilización y aplicar el correcto, según el tipo de terreno a trabajar, para evitar gastos innecesarios y garantizar un proyecto que cumpla con las especificaciones requeridas.
6. Por lo económico que resulta este producto, se considera que en los lugares que posea un mínimo del 20 por ciento de material arcilloso y que tenga buen material pétreo, se obtendrán buenos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. CANIZ OROZCO, Luis Alberto. *Aplicación de enzimas orgánicas en la estabilización de bases para carreteras*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil, Universidad De San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 1998.
2. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa, 1994.
3. LÓPEZ BADILLO, Eulalio, RICO RODRIGUEZ, Alfonso. *Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos*.
4. Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras Alcantarillas y Puentes. 1970.
5. MORALES WONG, Jorge Eugenio. *Estabilización de suelos con permazyme 11X en la construcción de carreteras*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001.
6. RAVINES MERINO, María Alejandra. *Pruebas con un producto enzimático como un agente estabilizador de suelos para carreteras*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Universidad de Pirua. Agosto 2010. P. 26,34,37,38,44.

7. YURRITA ANZUETO, Enrique. *Normas de ejecución, Ministerio de Comunicaciones, Transportes y Obras Públicas, Dirección General de Caminos*. 1986. 112 p.

8. ZAZO, Erikc. *Tesorero municipal, San Juan Sacatepéquez*. 2014. 36 p.

APÉNDICES

Proceso de construcción aplicando productos a base de enzimas orgánicas

Apéndice 1. **Escarificar el material a una profundidad aproximada de 15 a 20 centímetros**



Fuente: tramo kilómetro 5 Acatenango-Patzicía.

Apéndice 2. **Dosificación de 1 galón de producto multienzimático por cada 120 metros cúbicos de material compactado**



Fuente: tramo Acatenango-Patzicía.

Apéndice 3. **Aplicación del producto enzimático de manera homogénea sobre la superficie a estabilizar**



Fuente: estación 8+150 del tramo kilómetro 5 Acatenango.

Apéndice 4. **Homogenización del suelo con la motoniveladora a manera de reubicar partículas gruesas y finas y que estas sean alcanzadas por el estabilizador enzimático**



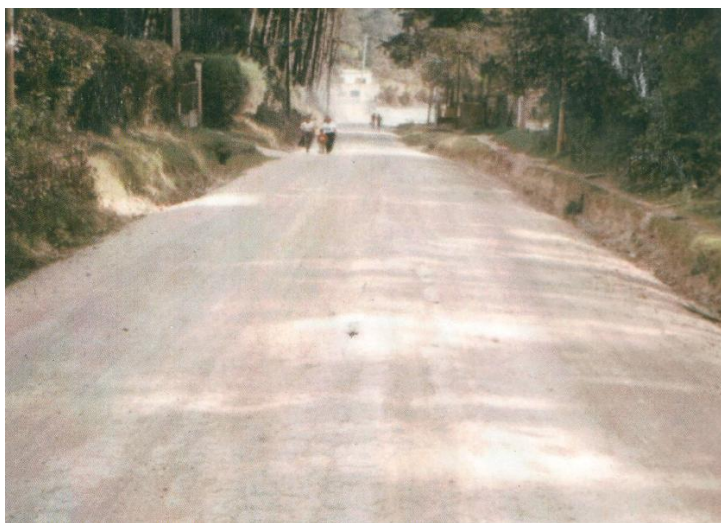
Fuente: estación 8+435 del tramo kilómetro 5 Acatenango-Patzicía.

Apéndice 5. **Compactación del suelo, la cual se facilita debido a la canalización de las enzimas contenidas en el estabilizador**



Fuente: estación 8+375 del tramo kilómetro 5. Acatenango-Patzicía.

Apéndice 6. **Proyecto Patzicia-Acatenango, Guatemala. Aplicación de estabilizador Perma-zyme 11x**



Fuente: tramo Acatenango-Patzicia.

Continuación del apéndice 6.



Fuente: ruta Acatenango-Patzicía.

ANEXO

CARTA INFORME PRESENTADO POR ENTIDAD QUE PRACTICO ENSAYOS

