



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

MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE POR MEDIO DE CATALIZADOR LÍQUIDO NATURAL EN TERRACERÍA

Davis Roberto Santos Castellanos

Asesorado por el Ing. Juan Francisco Lemus Guzmán

Guatemala, julio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE POR MEDIO DE
CATALIZADOR LÍQUIDO NATURAL EN TERRACERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DAVIS ROBERTO SANTOS CASTELLANOS

ASESORADO POR EL ING. JUAN FRANCISCO LEMUS GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Murralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Rudaman Miranda Castañón
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
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:

MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE POR MEDIO DE CATALIZADOR LÍQUIDO NATURAL EN TERRACERÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 3 de noviembre de 2011.

Davis Roberto Santos Castellanos

Guatemala, octubre de 2011.

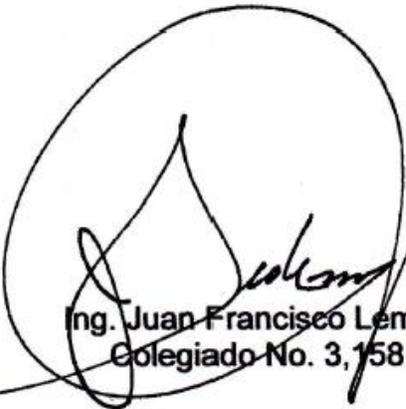
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Ciudad Universitaria Zona 12.
Guatemala

Señor Director:

Yo, Juan Francisco Lemus, Guatemalteco de 48 años de edad, Ingeniero Civil colegiado No. 3,158, graduado en la Universidad de San Carlos de Guatemala, por este medio me dirijo a usted, para manifestarle que estoy dispuesto a brindarle asesoría con mis conocimientos y todo lo que fuese necesario al estudiante Davis Roberto Santos Castellanos, quien está solicitando que se le apruebe como punto de trabajo de graduación el tema **MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE POR MEDIO DE CATALIZADOR LIQUIDO NATURAL EN TERRACERIA** ”.

Al suscribirme de usted agradezco el favor de su atención, su atento servidor.

JUAN FRANCISCO LEMUS GUZMAN
INGENIERO CIVIL
Colegiado 3,158



Ing. Juan Francisco Lemus
Colegiado No. 3,158



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
18 de abril de 2012

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 MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE POR MEDIO DE CATALIZADOR LIQUIDO NATURAL EN TERRACERIA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Davis Roberto Santos Castellanos, quien contó con la asesoría del Ing. Juan Francisco Lemus Guzmán.

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. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Francisco Lemus Guzmán y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Davis Roberto Santos Castellanos, titulado **MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE POR MEDIO DE CATALIZADOR LÍQUIDO NATURAL EN TERRACERÍA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2012.

/bbdeb.

Más de **130** 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: **MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE POR MEDIO DE CATALIZADOR LÍQUIDO NATURAL EN TERRACERÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Davis Roberto Santos Castellanos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Gympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, julio de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitirme vivir este momento.
Mi esposa	Lidia María Salazar Ruiz.
Mis hijos	Jennifer y Félix.
Mis padres	Mario Roberto Santos Diéguez y Lilia Odett Moscoso de Santos.
Mis hermanos	Lizbeth, Evelyn y Josué Santos Castellanos.
Mi abuela	María Cristina de Castellanos (q.e.p.d).
Mi patria	Guatemala

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	¡Gracias Padre bendito! por estar siempre a mi lado, guiándome a lo largo de mi vida y hacer que mi carga sea menos pesada. A Él sea la gloria.
Mi esposa	Por ser la esposa que Dios eligió para compartir mis alegrías y tristezas. Te amo.
Mis hijos	Por ser el regalo más maravilloso que Dios me ha dado y darle inmensa alegría a mi vida. Los amo.
Padres	Por sus sabios consejos, apoyo y eterno amor.
Hermanos	Por su cariño y estar siempre atentos a mí. Gracias
Primos hermanos	Ninoshka, Alex y Juan Pablo Suárez, por ser ellos con quienes pasé esa inolvidable infancia, que es mi mejor recuerdo.

Mis suegros

Félix e Ileana de Salazar, por su incondicional cariño y apoyo.

Mi asesor y familia

Por compartir sus conocimientos, experiencia y por su amistad.

Mi país

Por ser ese país que me vio nacer y al cual le serviré con ética y sobre todo con honestidad.

Mis amigos en general

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS.....	1
1.1. Tipos	1
1.1.1. Propiedades	1
1.1.2. Densidad	2
1.1.3. Absorción.....	3
1.1.4. Granulometría.....	3
1.1.5. Capilaridad	6
1.1.6. Compresibilidad.....	7
1.1.7. Elasticidad	9
1.1.8. Permeabilidad.....	10
1.1.9. Plasticidad	11
1.1.10. Resistencia al corte.....	12
1.2. Identificación y clasificación de los suelos	13
1.2.1. Identificación.....	13
1.2.2. Tamaño	13
1.2.2.1. Reacción al sacudimiento	14
1.2.2.2. Resistencia al quebramiento.....	15
1.2.2.3. Tenacidad	17
1.2.3. Clasificaciones	18

1.2.3.1.	Granulometría (por tamaño)	18
1.2.3.2.	Sistema unificado	19
1.2.3.3.	Sistema AASHTO.....	20
1.2.4.	Tipos de suelos apropiados para un catalizador	21
1.2.5.	Cambios en propiedades del suelo	22
2.	EQUIPOS PARA TERRACERÍA	23
2.1.	Aspectos fundamentales de los trabajos de terracería	23
2.1.1.	Naturaleza del material para terracería	23
2.1.2.	Comportamiento y características del material.....	25
2.1.3.	Operación básica del movimiento de tierras.....	26
2.2.	Tipos y capacidades para equipo de terracerías	27
2.2.1.	Equipo para empuje y escarificación profunda.....	29
2.2.2.	Moto conformadoras para terracería	30
2.2.3.	Cargador frontal.....	31
2.2.4.	Retroexcavadoras	32
2.2.5.	Equipo para acarreo de material	34
2.2.6.	Rodo vibro compactador	35
3.	ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS	39
3.1.	Importancia de mejorar los suelos.....	39
3.2.	Tipos de mejoramiento de suelos.....	40
3.2.1.	Mejoramiento por medio mecánico.....	41
3.2.2.	Mejoramiento por medio físico.....	42
3.2.3.	Mejoramiento por medio químico.....	43

4.	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON CATALIZADOR LÍQUIDO NATURAL EN TERRACERÍA.....	49
4.1.	Catalizador líquido natural	49
4.1.1.	¿Qué es?	49
4.1.2.	¿Cómo actúa?.....	50
4.2.	Características.....	51
4.2.1.	Áreas de aplicación	52
4.2.2.	Ventajas.....	53
4.2.3.	Especificaciones técnicas.....	57
4.3.	Proceso de aplicación.....	63
4.3.1.	Rendimiento	63
4.3.2.	Equipo básico a utilizar	63
4.3.3.	Proceso de aplicación	64
4.3.4.	Importancia y calculo de requerimiento de agua.....	70
4.4.	Fórmula sencilla para cálculo en campo.....	71
5.	COSTO Y COMPARACIÓN CON MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN CON CAL.....	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Gráfico de plasticidad.....	16
2.	Prueba de tenacidad	17
3.	Tractor de oruga.....	29
4.	Moto conformadora	30
5.	Cargador frontal	32
6.	Retroexcavadora de llanta	33
7.	Excavadora de oruga	33
8.	Camión volquete	34
9.	Camión de volteo	35
10.	Rodo liso	36
11.	Rodo pata de cabra.....	37
12.	Estabilización mecánica de suelos.....	41
13.	Estabilización con cemento.....	44
14.	Moléculas actuando	50
15.	Equilibrio eléctrico del catalizador	51
16.	Acción de cementación	55
17.	Superficie tratada con el catalizador	56
18.	Especificaciones especiales	60
19.	Escarificación	65
20.	Catalizador líquido.....	66
21.	Aplicación del catalizador a la cisterna.....	67
22.	Tendido del material.....	68
23.	Compactación	69
24.	Tramo donde se aplicó el catalizador	70

TABLAS

I.	Valores de dilatación y contracción	24
----	---	----

GLOSARIO

AASHTO	Siglas en inglés de American Association of State Highway and Transportation Officials: (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes).
Agregados	Roca quebrada, arena o grava que ha sido graduada y puede utilizarse como material de relleno.
Arcilla	Suelo cohesivo que se compone de partículas cuyo diámetro es menor de 0,06 mm.
ASTM	Siglas en inglés American Society for Testing and Materials.
Banco	Una masa de tierra que se levanta sobre la superficie normal de la tierra. Generalmente, cualquier masa de tierra que se va excavar de su sitio natural.
Camino	Vía de tránsito público construida dentro de los límites del derecho de vía.

CBR	Siglas en inglés de: California Bearing Ratio: (Valor Soporte California) escala de valor soporte del suelo.
Cohesión	Característica de algunas partículas del suelo de atraer y adherirse a partículas semejantes.
Compresibilidad	Propiedad del suelo de permanecer comprimido después de la compactación.
Contracción	Es el acomodamiento de las partículas del suelo, debido a la acción de compactación.
Contenido de humedad óptima	Porcentaje de humedad el cual puede obtenerse la densidad máxima del suelo mediante compactación.
Derecho de vía	Área de terreno que el Estado suministra para ser usada en la construcción de la carretera.
Densidad	Relación del peso de la sustancia contra su volumen.
Enzima	Compuesto orgánico similar 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 los suelos arcillosos.

Estabilizar	Afirmar el suelo para impedir su movimiento.
Finos	Las partículas más pequeñas del suelo.
Grava	Suelo de partículas gruesas de tamaño que van de 10 a 76 mm.
Impermeable	Resistente al movimiento del agua.
Limite líquido	El contenido de agua al cual el suelo cambia de estado plástico a estado líquido.
Limite plástico	Es el porcentaje de humedad límite entre el estado plástico y el estado semisólido.
Limo	Suelo compuesto de partículas de tamaño que varían entre 0,09 y 0,006 mm.
Material cohesivo	Suelo que posee propiedades de cohesión.
Proctor modificado	Método para reproducir, teóricamente, en laboratorio las condiciones dadas de compactación de un terreno. En el que se utiliza mayor energía de compactación que el método estándar.

Subrasante

Terreno de fundación de un pavimento, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

Suelo

Superficie de material suelto de la corteza terrestre.

RESUMEN

La utilización del método de catalizador líquido enzimático, es una técnica que presenta variedad de ventajas desde el punto de vista ambiental y económico.

Es también, un catalizador eficaz que permite acelerar y fortalecer la unión del material de la rasante del camino. Creando una superficie más densa, cohesiva y estable cuya resistencia a la compresión aumenta con el tiempo. Este catalizador actúa debido a la estructura de sus moléculas que contienen partes activas que aceleran el proceso de aglutinamiento de las arcillas.

Este método se utiliza con suelos que contengan materiales plásticos, arcillosos, empleando los métodos ya conocidos en el mantenimiento de la red vial no pavimentada.

En lo que se refiere a la aplicación del catalizador, es de forma sencilla y práctica, su presentación viene en forma líquida, en galones o cubetas, según se prefiera, debe de ser diluida en agua, es importante la proporción de agua, para un adecuado funcionamiento. En este trabajo se propone la utilización de una fórmula sencilla de aplicar y entender, para el rendimiento y dosificación de una adecuada proporción de agua basada según las características de cada suelo en cada región del país, por lo tanto, hay que conocer los distintos tipos de suelos y saber cuál es la humedad óptima del mismo. La aplicación se hace con los procedimientos normales de un mantenimiento de terracería.

OBJETIVOS

General

Proporcionar una guía práctica y económica para el mantenimiento de la red vial no pavimentada del país, utilizando las técnicas del catalizador líquido natural, con la tecnología de las enzimas naturales, mostrando los procesos constructivos, herramientas, técnicas y maquinaria requerida para el mantenimiento de la red vial no pavimentada del país. Aprovechando al cien por cien los materiales existentes de la estructura de sección de rodadura, generar economía en el tiempo de trabajo y coadyuvar con el medio ambiente.

Específicos

1. Dar a conocer métodos constructivos más duraderos y económicos en el mantenimiento de la red vial no pavimentada del país.
2. Proporcionar una guía adecuada y fácil de entender para empresarios dedicados al mantenimiento de la red vial no pavimentada.
3. Presentar una alternativa diferente en la estabilización química de caminos del país.

4. Constituir un documento de referencia y consulta, para el análisis del costo de una carretera de terracería en el área rural de la República de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país se basa, primordialmente en sus vías de comunicación, a través de ellas se llevan a cabo interrelaciones económicas, sociales y culturales entre las comunidades, municipios y departamentos.

Miles de millones de quetzales se gastan cada año en la construcción y mantenimiento de la red vial, ya que al estar en mal estado, ocasionan pérdida tiempo, dinero e incluso llegar a colapsar del país entero en su economía.

En la actualidad, dentro del ámbito nacional, se utilizan una serie de métodos tradicionales en el campo del mantenimiento de la red vial no pavimentada del país. Este estudio, básicamente, presenta una alternativa económica, pero sobre todo más duradera en cuanto al deterioro de la red vial no pavimentada. Es importante estar actualizados en cuanto a estos métodos y darlos a conocer para aplicarlos adecuadamente en el país.

El catalizador líquido natural es una alternativa eficaz para la estabilización de la subrasante en un camino de terracería, cuya formulación líquida enzimática natural, no tóxica y totalmente biodegradable, mejora la calidad de los caminos de terracería.

Este método cataliza la degradación de los materiales orgánicos en el suelo, alterando favorablemente sus atributos físicos y químicos.

Esto da como resultado una mejor unión química de partículas cohesivas de suelo y una estructura de suelo más estable, duradera y alcanzando grandes porcentajes de compactación con menos esfuerzo mecánico.

Con el presente trabajo de graduación se pretende dar los lineamientos necesarios de la metodología, con una adecuada aplicación y funcionalidad óptima y alto rendimiento en el mantenimiento de la red vial no pavimentada del país.

1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

1.1. Tipos

En su origen, todos los suelos son el producto de la alteración química o de la desintegración mecánica de un manto rocoso, el cual ha sido expuesto a los procesos de intemperismo y descomposición de materia orgánica.

Los diferentes tipos de suelos dependen de sus características para así clasificarlos por su origen, su composición, forma de agruparse. Además presentan diversas características, como: textura, estructura, consistencia, color, compacidad, cementación y composición química.

1.1.1. Propiedades

Las propiedades básicas del suelo pueden dividirse en dos categorías físicas, y mecánicas.

- Físicas: éstas comprenden la densidad, tamaño, gravedad específica y contenido de agua, los parámetros del índice de los suelos cohesivos abarcan el límite líquido, plástico y de contracción.
- Mecánicas: describen el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente. Las más importantes son: la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de los suelos *in situ*.

1.1.2. Densidad

La densidad absoluta de un cuerpo es la masa de dicho cuerpo contenida en la unidad de volumen, sin incluir sus vacíos la densidad aparente, es la masa de su cuerpo contenida en la unidad de volumen, incluyendo sus vacios y la densidad relativa es la relación de su densidad a la densidad absoluta del agua destilada a una temperatura de 4 grados celsius. Sus ecuaciones son:

Densidad absoluta = $D_a = P_s / V_s$

Densidad aparente = $D_a = P_s / V_t$

Densidad relativa = $D_t = D_a / D_w$

Donde:

P_s : peso de la partícula sólida (en gramos)

V_s : volumen del sólido (en centímetros cúbicos)

V_t : volumen de sólidos más el volumen de sus vacios (en centímetros cúbicos)

D_w : densidad absoluta del agua destilada a temperatura de 4 grados celsius

Generalmente, a los materiales que contienen partículas gruesas en su mayor parte se les determina la densidad relativa aparente, y a los materiales que están formados por gran cantidad de partículas finas se les determina la densidad relativa absoluta.

1.1.3. Absorción

Ésta se refiere a la determinación de la absorción del material en 24 horas. Para ello, la muestra seleccionada del agregado grueso retenido en la malla de 3/8 se sumerge en agua durante 24 horas. Al final de este tiempo deberá extraerse el material del agua y pasar a su secado superficial, mediante un lienzo absorbente. En estas condiciones de saturación se determina el peso de la muestra PH. Se pone luego a secar la muestra y se determina el peso seco Ps, calculando así la absorción por la siguiente fórmula:

$$\% A = ((Ph - Ps) / Ps) * 100$$

El resultado obtenido sirve para compararlo con la especificación correspondiente al uso que se le dará al material para verificar si satisface la norma.

1.1.4. Granulometría

La composición granulométrica de un suelo sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. Este método se refiere a la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expédito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los gruesos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación.

Conocida la composición granulométrica del material se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica. El tamaño de las partículas puede considerarse el diámetro de las mismas, cuando es invisible bajo la acción de una fuerza moderada, como la producida por un mazo de madera golpeando ligeramente.

Procedimiento del tamizado:

- a. Tomar la muestra representativa de unos 20 kilogramos y secarla al sol o en horno durante 12 horas.
- b. Por medio de cuarteos a la muestra se toman 2 kilogramos.
- c. Pasar los 2 kilogramos por las mallas de 2", 1 1/2", 3/4", 3/8" y # 4 y pesar el retenido en cada una de dichas mallas.
- d. El material que pasa la malla al #4, se toma una cierta cantidad, por lo general son 200 gramos, y se colocan en un vaso con agua, dejándolo en remojo unas 12 horas.
- e. Con un agitador metálico, agitar el contenido del vaso durante 1 minuto y se vacía luego sobre la malla # 200, vaciar nuevamente el material al vaso lavando la malla en posición invertida, agitar de nuevo el agua del vaso y repetir el procedimiento cuantas veces sea necesario, hasta que el agua no se enturbie cuando se agita el agua.
- f. Eliminar el agua y poner la muestra a secar en un horno a temperatura constante.

- g. Pesar, y por diferencia a los 200 gramos, se obtiene el porcentaje que pasó la malla # 200.
- h. Se vacía el material que pasó por la malla # 4 y retener en la # 200, para que pase lo correspondiente por la mallas # 10, 20, 40, 100, 200, pesando los retenidos.
- i. Conociendo los pesos parciales retenidos desde la malla # 2 hasta la # 200, se obtienen los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes retenidos acumulativos se obtienen sumando los parciales.

Los porcentajes retenidos parciales en cada malla se deben expresar como porcentajes de la muestra total, y para calcular los porcentajes retenidos en las mallas # 10 a la # 200 se divide el peso en gramos retenido en cada malla entre el peso seco de la muestra (200 gramos). Se multiplica este cociente por el porciento que pasa la malla # 4 determinando en el análisis del material grueso.

El retenido acumulativo en la malla # 10 se calcula sumando el retenido parcial en dicha malla, al retenido acumulativo en la malla # 4.

El retenido acumulativo en la malla # 20 es igual al retenido acumulativo en la malla # 10, más el retenido parcial en la malla # 20.

De igual manera se calculan los demás retenidos acumulativos hasta la malla # 200.

Luego, se traza la curva de la composición granulométrica del material, en una gráfica que tiene por abscisas, a escala logarítmica las aberturas de las mallas y por ordenadas los porcentajes de material que pasa a escala aritmética.

La curva resultante se compara con las que tengan como especificaciones, o se obtienen de ellas relaciones entre ciertos porcentajes, que dan idea de la graduación del material. Además, la forma de la curva granulométrica, dibujada a escala semi logarítmica, da una idea de la descomposición granulométrica del suelo.

1.1.5. Capilaridad

La capilaridad es un factor significativo en arenas (la grava es demasiado grande para ser afectada), especialmente en arenas finas a medias, cuando la arena está totalmente saturada o totalmente seca, la capilaridad no está presente y los granos son fácilmente desplazados.

A contenidos de humedad intermedios, los efectos capilares están presentes y debido a las muchas partículas el efecto acumulativo es lo suficientemente grande como para permitir que la arena se sostenga en cortes verticales y sea moldeada cuando está húmeda. Es fácil observar que es más fácil conducir un vehículo con ruedas en una arena húmeda, que en una arena seca, debido al desplazamiento del grano.

Otra consideración práctica con arena es el abultamiento. Cuando la arena está seca es totalmente imposible efectuar una excavación vertical o moldearla.

El efecto capilar en la arena húmeda se denomina cohesión aparente, ya que desaparece cuando la arena está seca o saturada.

El deleznamiento es la desintegración rápida, casi explosiva de terrones de suelo cohesivos seco o casi seco cuando se sumergen en agua, esto es un fenómeno capilar, el suelo que no está muy seco, solamente expandirá cuando es sumergido en agua; en cambio, si el contenido de humedad está por debajo del límite de contracción, los capilares del suelo contienen aire, cuando el suelo es colocado en agua, la tensión superficial atrae o tira agua hacia los tubos capilares, confinando y comprimiendo el aire.

Solamente los suelos arcillosos y algunas lutitas, en donde el material en estado primitivo tiene un límite de contracción, experimenta deleznamiento. Otros suelos y rocas sin límite de contracción no exhibirán este fenómeno.

1.1.6. Compresibilidad

Este método hace evidencia de que en un estrato de suelo confinado por la masa circundante y sujeto a un aumento de esfuerzo relativamente uniforme, la relación de vacíos decrece de forme apreciable. Aunque esto hubiera podido detallarse, en el caso de un material formado por diversas partículas irregulares con pequeñas áreas de contacto y grandes poros entre ellas, esto quedó así hasta que, Karl Terzaghi, aclaró la mecánica de este proceso de compresión.

Terzaghi, decía que la deformación o el movimiento lateral de un suelo blando, bajo un edificio estaba impedida por la alternancia de estratos de suelo no deformable dentro de la masa de suelo.

Él preparó un ensayo de laboratorio donde se producía esto, usando una muestra de suelo que confinaba en un anillo y la cubría, por arriba y por debajo, con placas de material poroso, este aparato se llama consolidómetro.

Para hacer el ensayo se aplicaba a las placas una presión vertical para comprimir la muestra, esta presión se aplicaba hasta que cesara la compresión, y entonces se aplicaba una presión mucho mayor.

Esta presión se repetía hasta encontrar el orden de la presión a la que el suelo estaría sometido bajo la estructura.

La compresión del suelo se mide en un cuadrante de medida, para calcular la relación de vacíos, correspondiente a cada uno de los esfuerzos producidos.

La forma más simple de ver los resultados es expresar la deformación vertical como una función del esfuerzo efectivo y otra manera de expresar los resultados es con la relación de vacíos como una función del esfuerzo efectivo.

Las curvas son similares en forma, para esta simple condición de deformación unidimensional. La forma de esfuerzo deformación se adapta mejor a los cálculos de asentamientos en ingeniería.

1.1.7. Elasticidad

Si a un prisma del suelo se le aplica un incremento del esfuerzo normal, se deformará una cantidad A_h en la dirección en que el esfuerzo aumenta. El incremento directo de la deformación A_{ez} se haya por la deformación:

$$A_{ez} = A_h / h$$

Esto representa, corrientemente, en una curva de esfuerzo. La relación entre el incremento de esfuerzo y el incremento de la deformación que él produce, es el módulo de la elasticidad. La fórmula general es:

$$E = A_g / A$$

Donde:

E = elasticidad

A_g = al incremento de esfuerzo

A = incremento de deformación

1.1.8. Permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad K es una medida de la velocidad del flujo de agua a través de un suelo saturado bajo un gradiente hidráulico dando l centímetro/centímetro y se define de acuerdo con la ley de Darcy como:

$$V = K \cdot I \cdot A$$

Donde:

V = a la velocidad del flujo (cm 3/s)

Donde:

A= al área de la sección transversal del suelo por donde pasa el flujo (cm 2)

K depende de la distribución del tamaño de los granos, de la relación de vacíos y de la constitución del suelo y por lo común puede variar de 10cm/s en la gravas, hasta menos de 10^{-7} cm/s en arcillas.

El coeficiente de permeabilidad es una constante que expresa la facilidad con que el agua atraviesa el suelo.

La magnitud de coeficiente de permeabilidad depende de la viscosidad del agua y del tamaño, forma y área de los conductos a través de los cuales fluya agua.

Debido a los números y complejos factores que influyen en el coeficiente de permeabilidad, sólo se puede estimar, aunque de manera burda, la magnitud de dicho coeficiente por el conocimiento del suelo. Por lo tanto, deben hacerse ensayos para determinar el valor de dicho coeficiente con alguna certeza.

El ensayo más simple es el que se hace con el permeámetro de carga constante, que se usa principalmente en arenas y gravas.

Para arenas finas y limos se usa el permeámetro de carga variable. Durante el ensayo el nivel del agua desciende en el tubo vertical y el volumen del agua que atravesó la muestra es igual a la diferencia de volúmenes en el tubo vertical.

Para los suelos de arcilla se emplea, indistintamente, el permeámetro de carga constante o de carga variable, porque la cantidad de agua que pasa es tan pequeña que es necesario evitar la pérdida de agua por goteo o evaporación que puede ser mucho mayor que la que realmente atraviesa el suelo.

1.1.9. Plasticidad

Es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse hasta cierto límite, la plasticidad se determina por su índice (de plasticidad) o puede estimarse por la resistencia de una muestra secada al aire.

La muestra se prepara eliminando, primero, las partículas más gruesas que el tamiz # 40 amasándola después, para formar un cubo que tenga la consistencia de macilla dura; se añade agua si es necesario. El cubo se deja secar al aire o al sol y después se tritura entre los dedos.

Los suelos orgánicos se pueden determinar por el olor, que se pueden intensificar calentándolos y por el color que, generalmente es negro castaño, verde oscuro o verde azulado. Sin embargo, algunos suelos orgánicos son negros debido al hierro, titanio y minerales ferromagnesianos. Una pérdida de peso, de materia orgánica, del 80% o más indica, que el suelo es turbosa, si la cantidad de materia orgánica fibrosa es menor, el suelo se describe como arena o arcilla turbosa según sea el caso. Al describir un suelo en el que predomina el grano grueso se empleará el término grava o arena.

Un suelo en que predominan los granos finos puede considerarse como limo o arcilla, y los componentes de grano grueso deben usarse como modificadores, con el menos importante del primero.

Ejemplo: un suelo con 70% de finos (arcilla), el 20% de arena y el 10% de grava se describe como arcilla gravosa y arenosa.

1.1.10. Resistencia al corte

El incremento de esfuerzo σ_z , también, produce una deformación o combadura en las dimensiones laterales, Δb y Δl y las deformaciones laterales correspondientes ϵ_z y ϵ_y , la relación entre las deformaciones laterales y directas, es el módulo de Poisson ν .

$$\nu = -\epsilon_z / \epsilon_x = \epsilon_y / \epsilon_x$$

El módulo de Poisson, para los materiales elásticos ideales, varía entre 0 y 0,5. El valor de 0,5 corresponde a un material cuyo volumen no cambia por efecto de la carga, ejemplo: la gelatina. El valor 0 corresponde a un material que se deforma lateralmente por la carga, como un prisma de corcho o de goma esponjosa. Los suelos y las rocas caen entre estos dos límites, pero ν es mayor que 0,5, en ciertos casos.

1.2. Identificación y clasificación de los suelos

A continuación se describen cómo identificar y clasificar los suelos.

1.2.3. Identificación

Esta se efectúa en campo a través de una inspección visual tomando en cuenta las siguientes características para su identificación:

1.2.4. Tamaño

Los suelos formados por partículas gruesas se identifican, fácilmente, por inspección visual.

Para ello, se extiende una muestra representativa sobre una superficie plana y se observa la distribución de las partículas, tamaño de las mismas, composición mineralógica. Los tamaños de la grava y la arena se reconocen fácilmente. Para separar una de la otra se usara aproximadamente las más pequeñas distinguibles a simple vista.

Para la granulometría de los suelos finos se agita la muestra en agua dentro de un recipiente de vidrio y se deja sedimentar.

La granulometría aproximada se determina por la separación de las partículas en el recipiente desde arriba hasta el fondo. Los limos permanecen en suspensión, por lo menos 1 minuto y la arcilla 1 hora o más.

1.2.4.1. Reacción al sacudimiento

Ésta sirve para medir la capacidad plástica de los materiales. Este ensayo es útil para identificación de suelos de partículas finas. Después de quitar las partículas gruesas mayores que la malla # 40, se prepara una pequeña porción de suelo húmedo de un volumen aproximado de 10cm cúbicos.

Si es necesario, se agrega agua para dejar el suelo suave pero no pegajoso. Se coloca el suelo en la palma de la mano y se agita horizontalmente, golpeando secamente una mano contra la otra varias veces. Una reacción rápida consiste en que la superficie de la muestra aparece agua mientras se le agita; su superficie cambia adquiriendo una apariencia de hígado.

Cuando la muestra se aprieta entre los dedos, desaparece de la superficie el agua y el lustre, el suelo se vuelve tieso y finalmente, se agrieta o se desmorona.

Una reacción rápida es típica de las arenas finas, uniformes, no plásticas, como las SP y SM del sistema unificado de clasificación de suelos, así como de algunos limos inorgánicos, (ML) del tipo de roca y en las tierras diatomáceas (MH).

Los ligeros contenidos de arcilla le proporcionan algo de plasticidad al suelo y, por tanto, la reacción al movimiento del agua es rápida. Ello sucede en los limos orgánicos e inorgánicos, ligeramente plásticos, lo mismo que en las arcillas muy limosas y en muchas arcillas del tipo caolinitico. Una reacción nula o extremadamente lenta corresponde a las arcillas situadas sobre la A del gráfico de la plasticidad (CL-CH), así como las arcillas orgánicas de alta plasticidad.

1.2.4.2. Resistencia al quebramiento

Después de eliminar las partículas de tamaño mayor que el de la malla # 40, se moldea una pastilla de suelo hasta alcanzar la consistencia de macilla, añadiendo agua, si es necesario, se seca la pastilla al aire o al sol, o en un horno si lo hay, y se prueba su resistencia al esfuerzo cortante rompiéndola y desmoronándola entre los dedos.

Esta resistencia al corte es una medida del carácter y cantidad de la fracción coloidal que mantiene el suelo. La resistencia que mantiene al corte en estado seco tiende a aumentar la plasticidad del suelo.

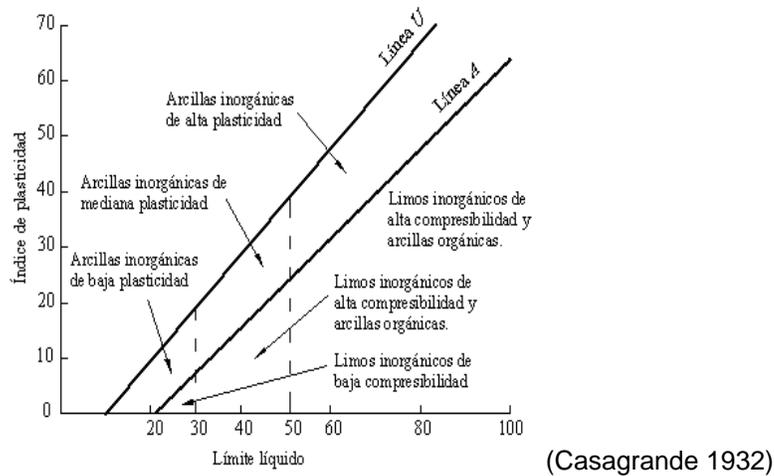
Una alta resistencia en seco es característica en las arcillas del grupo CH y del grupo CI, localizadas muy arriba de la línea A del gráfico de plasticidad.

Una resistencia media en seco es propia de los suelos del grupo CL que cae muy cerca de la línea A.

Los limos del grupo ML y MH exentos de plasticidad poseen solamente muy poca resistencia en seco.

Las arenas finas limosas y los limos poseen la misma resistencia en seco pero pueden distinguirse por sensación táctil si se pulveriza el espécimen. La arena fina se siente granulada, mientras que el limo da la sensación suave de arena.

Figura 1. **Gráfico de plasticidad**



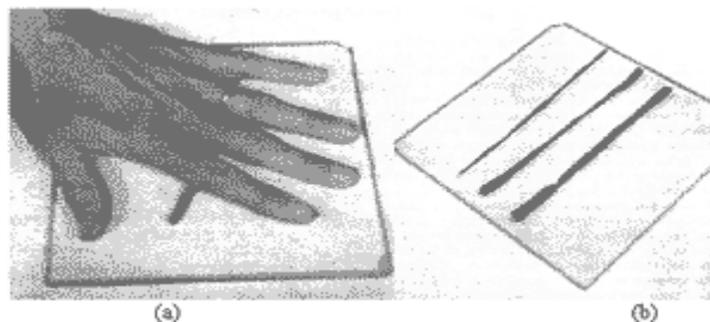
Fuente: CRESPO VILLALAZ. Mecánica de suelos. p.11.

1.2.4.3. Tenacidad

Sirve para determinar la consistencia del suelo o bien su plasticidad. Después de retiradas las partículas de suelo mayores de los que pasan por la malla # 40, se moldea un espécimen de uno 100 cm cúbicos, hasta alcanzar la consistencia de macilla.

Si en estado natural el suelo está muy seco, agréguele agua, y si está demasiado húmedo, se seca por evaporación hasta adquirir la consistencia adecuada. En este estado se rodilla en las palmas de la mano hasta formar un filamento de unos 3 mm de diámetro aproximadamente.

Figura 2. Prueba de tenacidad



Fuente: [hp://2.b.p.suelos.com/tenacidad](http://2.b.p.suelos.com/tenacidad). Consulta: 03 de febrero de 2012.

Amasar y volver a arrodillar varias veces. Durante estas operaciones, el contenido de humedad se reduce gradualmente y el espécimen se llega a poner duro, pierde su plasticidad, se desmorona cuando se alcanza el límite plástico.

Después de que el filamento sea desmoronado, los pedazos deben juntarse y amasarse ligeramente entre los dedos, formando una bola hasta que la masa se desmorone nuevamente.

La mayor o menor tenacidad del filamento al acercarse al límite plástico y la rigidez de la bolita al romperla finalmente entre los dedos, es indicativo de la preponderancia de la fracción arcillosa del suelo.

La debilidad del filamento en el límite plástico y la rápida pérdida de cohesión de la bolita al rebasar este límite, indican la presencia de arcilla inorgánica de baja plasticidad. Las arcillas altamente orgánicas dan una sensación de debilidad y se sienten esponjosas al tacto en el límite plástico.

1.2.5. Clasificaciones

Para clasificar un material debemos de tomar en cuenta las siguientes características.

1.2.5.1. Granulometría (por tamaño)

Los resultados obtenidos de la prueba de granulometría por sedimentación, se aplican en el diagrama triangular de clasificación de suelo dada por la comisión de Rio Misisipi y con ello se obtiene la clasificación del suelo.

Para clasificar el suelo se toma el porcentaje de arena, limo y arcilla sobre la escala del lado correspondiente del triangulo, se trazan tres rectas y su punto común dan la clasificación del suelo.

La clasificación de los suelos, por el tamaño de sus partículas, es la más simple de todas; pero tiene el inconveniente de que su relación con las principales características físicas del suelo es indirecta.

Pues el tamaño de los granos es sólo uno de los diferentes factores de los cuales dependen ciertas propiedades físicas importantes de los suelos, tales como la permeabilidad y la cohesión.

1.2.5.2. Sistema unificado

Este sistema fue presentado por Arthur Casa Grande, como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto. Los suelos de partículas gruesas y los de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material que pasa por la malla # 200, los suelos gruesos son los que quedan retenidos en dicha malla.

Los finos son los que pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidos en la malla # 200, y fino si más del 50% del material pasa la malla # 200.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. Éste consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales grupos de suelo grava: arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba, mientras que los sufijos indican las subdivisiones en dichos grupos.

1.2.5.3. Sistema AASHTO

El sistema de clasificación original Bpr de la década de 1920 ha sido revisado varias veces. Clasifica los suelos de 8 grupos desde A-1 hasta A-8 y originalmente requería los siguientes datos:

- Análisis granulométrico.
- Límites líquido y plástico
- Límite de contracción.
- Equivalente de la unidad de terreno definida como el máximo contenido de humedad para el que una gota de agua colocada en una superficie pequeña de suelo no sea totalmente absorbida.
- Equivalente de la humedad centrifuga: es un ensayo para medir la capacidad del suelo para retener agua (el suelo seco es remojado en agua por 12 horas y luego centrifugado por 1 hora), el contenido final de agua así obtenido es el EHC.
- El sistema revisado (Proctor 25 th Annual Meeting of High Way Research Board, 1945), retuvo los 8 grupos básicos, pero agregó dos subgrupos en A-1, 4 subgrupos en A-2 y 2 subgrupos en A-7. Los ensayos de suelos (4) y (5) fueron eliminados, así que los únicos ensayos requeridos son el análisis granulométrico y los límites líquido y plástico. Este sistema de clasificación revisado fue adoptado por AASHTO como la Norma M-145.

La tabla I ilustra el sistema corriente AASHTO de clasificación de suelos. No se presenta el grupo A-8 pero es turba o tierra vegetal con base de una clasificación visual. Se dan los grupos en A-1 al A-7 con 2 sub grupos en A-1, 4 sub grupos en A-2 y 2 sub grupos en A-7, para un total de 12 sub grupos de suelo en este sistema de clasificación (excluyendo la turba I-O de trito en general); este sistema de clasificación evalúa un suelo como: más pobre para el uso en la construcción de caminos en la medida en que se avanza de izquierda a derecha, el suelo A-6 es menos satisfactorio que el suelo A-5. Más pobre para la construcción de caminos a medida que el indicador del grupo aumenta para un sub grupo en particular, un A-6 (3) es menos satisfactoria que u A-6 (1).

1.2.6. Tipos de suelos apropiados para un catalizador

El modo de modificar y el grado de modificación necesarias depende del carácter del suelo y de sus deficiencias. En su mayoría, los suelos necesitan modificar su resistencia. Se aplican aditivos cuando el suelo no es cohesivo o bien si es cohesivo para aumentar su resistencia haciéndolo resistente a la humedad. También, se puede aplicar para lograr la inmunidad a la retracción y a la expansión, modificando así la capacidad del suelo para la absorción de agua. También, se puede aplicar para reducir la permeabilidad del suelo.

Los suelos que necesitan más de la aplicación del catalizador líquido natural son los limos y las arcillas.

Los suelos apropiados para usar un catalizador orgánico son los siguientes:

- Arenas arcillosas cuyo contenido de finos sea entre 15 a 30%
- Arenas limosas cuyo contenido fino sea entre 15 y 30%
- Arenas grava arcillosas cuyo contenido de finos sea entre 15 y 30%

1.2.7. Cambios en propiedades del suelo

La acción catalizadora incrementa notablemente el proceso humectante del agua y provoca una acción aglutinante sobre los materiales finos, disminuyendo la relación de vacíos, ayudando también, a que las partículas del terreno puedan ser más densamente compactada la acción cohesiva de este proceso, origina una fuerte activada 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 mientras que al ser aplicado el catalizador líquido natural, realmente provoca una fusión de las partículas orgánicas del terreno, creando una sub rasante densa y estable que resiste mejor la penetración del agua, así como la acción destructiva y tan variable del clima, como también el uso constante de los caminos de terracería.

2. EQUIPOS PARA TERRACERÍA

2.1. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías

La planeación correcta de los trabajos de terracerías requiere el reconocimiento de la naturaleza del material, y de la manera de prepararlo para su manejo y colocación final. También, el encargado de la planeación debe poder determinar la cantidad del material que puede cargarse en un ciclo, es decir, la capacidad de carga del equipo para movimiento de tierra. Para planear satisfactoriamente una operación, debe conocerse las operaciones básicas del trabajo de la tierra y los componentes de un ciclo de movimiento de tierras. A continuación se detallan los aspectos fundamentales y las facetas importantes de los trabajos de movimiento de tierra.

2.1.1. Naturaleza del material para terracería

El material que se encuentra en los trabajos de movimientos de tierras puede ser desde arcillas de alta plasticidad hasta de baja plasticidad, material suelto o de roca sólida. Es importante saber cómo se manejará el material y qué equipo ha de usarse para tal fin.

Comparado con el estado natural del material en la superficie de la tierra, este se dilata al excavarlo y se contrae al compactarlo. En su estado natural, el suelo se mide como si estuviera en su lugar o en el banco.

Cuando se perturba el estado del material, como cuando se detona la roca o se excava la tierra de su lecho natural, utilizando cualquier equipo, éste se expande, y entonces se le llama material suelto, tal abundamiento del suelo puede ser en parte un aumento real de volumen, debido al alivio de los esfuerzos de compresión originados por muchos años de consolidación del material. El aumento de volumen, se expresa como un porcentaje de aumento sobre el volumen medido en el banco.

En la tabla I se indican algunos valores representativos de expansión. Sin embargo, no todos los terrenos aumentan de volumen al excavarlos. Las cenizas volcánicas o piedras pómez y algunos suelos de aluvión sufren, en realidad, una contracción de volumen cuando se les extrae de su condición natural.

Tabla I. **Valores de dilatación y contracción**

Material de terracería	% de dilatación	% de contracción
Arena o grava limpias, secas	+ 12 a + 14	-12
Arena o grava limpias, mojadas	+ 12 a + 16	-14
Limo y arena limosa	+ 15 a + 20	-17
Tierra común	+ 25	-20
Arcilla densa	+13 a +40	-25

Fuente: CRESPO VILLALAZ. Mecánica de suelos. p. 45.

Al material que se ha extraído de su banco natural, y que luego se ha tendido y compactado cuidadosamente, se le llama material compactado. Este término se aplica a cualquier material terminado en un área determinada para cualquier propósito.

2.1.2. Comportamiento y características del material para terracerías

El material que se va a manejar o trabajar, requiere con frecuencia cierto comportamiento y características. En este caso se necesita comprender parcialmente, la naturaleza del material y su preparación para las operaciones de construcción.

Si se trata de un material duro y tenaz, debe romperse sus ligamentos de solidificación. Los fuertes ligamentos que operan en todas direcciones, deberán romperse. Un trabajo que requiera la extracción y disposición de roca originalmente sólida deberá romperse probablemente por voladura.

Por otra parte, volar o excavar en exceso la roca es antieconómico. Hay ciertos materiales ligeros y finos, de tipo granular que parecen estar solidificados en su estado natural.

El método de movimiento de tierra que se planee para extraer este tipo de material, es el que rige los preparativos que requiere la operación.

Es necesario mencionar otro aspecto relativo a la característica del material de terracerías. Se refiere a la humedad natural que contiene el material. Un material mojado es más pesado que en estado seco, porque los poros están llenos de agua, en vez de aire. En los terrenos de grano grueso, como los suelos arenosos, puede resultar económica su explotación, particularmente si se va ejecutar algún trabajo en el renglón de excavación.

Éstas son algunas de las muchas consideraciones relativas al comportamiento y características del material de terracerías con las que ha de enfrentarse el encargado de planeación del equipo para construcción.

2.1.3. Operación básica del movimiento de tierra

Teniendo ya una comprensión razonable de la naturaleza del material de terracerías, se procede a identificar las partes claves de un trabajo de movimiento de tierra. Los primeros esfuerzos deben ser para preparar el material para su movimiento. Estas operaciones preparatorias se conocen como despalme, desmonte y explotación de banco. En efecto, algunas veces en la construcción, se debe combinar equipos para realizar más fácilmente las operaciones básicas de movimiento de tierra.

El material debe estar en forma manejable, o tener el tamaño adecuado para facilitar el proceso. Para la construcción y mantenimiento de carreteras y de otros proyectos, es frecuente la necesidad de mover grandes cantidades de materiales hacia el lugar, y desde el lugar mismo, la siguiente operación básica del movimiento de tierra es la del vaciado del material.

El material se vacía en el área seleccionada para su depósito y uso final. Se trata de un lugar escogido para deshacerse del material como desperdicio o desecho, porque no se necesita y no se volverá a tocar durante esa construcción. En cambio, puede suceder que el plan indique que el material a de usarse como relleno o como terraplén.

En este caso, tendrá que vaciarse de una manera ordenada, extenderse uniformemente y compactarse usando otro equipo.

El paso final de una operación de movimiento de tierras es el trabajo que se efectúa en el material para usarlo como subbase.

El material debe extenderse en una capa uniforme.

Debe agregarse agua para lograr el contenido de humedad especificado, y obtener una densidad cercana a 95% o mayor, para finalmente compactarse, de 10 a 25 cm de espesor y darle la pendiente final apropiada.

2.2. Tipos y capacidades para equipos en terracerías

Los tipos generales de equipo para efectuar una o más de las operaciones básicas del movimiento de tierras, abarcan:

- Equipo de empuje
- escarificadores montado sobre tractor

- Moto conformadoras
- Cargadores frontales
- Excavadoras de oruga
- retro excavadoras
- Equipos de acarreo
- Camiones de volteo
- Compactadoras

2.2.1. Equipo para empuje y escarificación profunda

Los tractores son la máquina más importante en cualquier trabajo de construcción en donde hay que empujar, mover tierra y roca.

Si el tractor tiene el equipo adecuado, suele ser la primera y la última máquina en el sitio de la obra.

Los tractores de banda se utilizan en terreno abrupto y en pendiente, blando o pantanoso y sobre roca sólida. Los tractores con llantas neumáticas son adecuados para proyectos específicos, como excavación en tierra o arena en donde el desgaste de las bandas sería excesivo.

Figura 3. **Tractor de oruga**



Fuente: Fábrica CAT.

2.2.2. Moto conformadoras para terracería

La moto conformadora es un equipo que se utiliza para mover tierra u otro material suelto. Generalmente, su función consiste en nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en el que trabaja, para darle una configuración predeterminada.

Es de particular utilidad, porque su hoja puede mantenerse en diversas posiciones. A esta hoja también se le llama hoja conformadora o cuchilla, porque recuerda una de las formas primitivas de este equipo, que se utilizó antes del siglo XX.

En la actualidad se han logrado muchos adelantos desde que apareció la moldeadora original y en el presente la moto conformadora es un equipo muy versátil e indispensable para el movimiento de tierras.

Figura 4. **Moto conformadora**



Fuente: komatsu.

2.2.3. Cargador frontal

Los cargadores frontales pueden ser del tipo sobre ruedas o sobre orugas. Es preferible el tipo de orugas si su transporte de una obra a otra no es problema, la distancia para acarreo es corta y el fondo de la excavación no es adecuado para llantas neumáticas. La mayoría de los cargadores con llantas tienen tracción en las cuatro ruedas.

La capacidad del cargador frontal a utilizar depende del peso unitario del material que se va a manejar. Por ello, hay una gran variedad de cucharones para cada cargador.

El cargador debe excavar o cargar a baja altura del banco o cara del material.

Como la mayoría de los cargadores tienen posiciones de cucharón de ajuste automático, la altura del banco se debe ajustar de modo que no sea mayor de la necesaria para llenar el cucharón, es decir, más o menos la misma altura que las articulaciones del brazo de empuje.

En un trabajo de construcción y mantenimiento de carreteras un cargador frontal es una máquina de gran utilidad.

Figura 5. **Cargador frontal**



Fuente: Fábrica CAT.

2.2.4. Retroexcavadoras

Estas máquinas tienen en su parte frontal partes de trabajo muy importantes puesto que tienen brazos mecánicos o plumas firmes y cortas, sujetas directamente al frente de la súper estructura. La pluma soporta un miembro excavador o cucharón en su extremo pueden ser de llantas neumáticas o banda según lo exija el terreno y la cantidad de material a mover. Una diferencia entre la excavadora y retroexcavadora es la dirección en la que se mueven sus cucharones para lograr sus cargas.

La excavadora es más versátil por su movimiento giratorio de 360 grados, reduciendo así el área utilizada para trabajar, mientras que la retroexcavadora se mueve hacia adelante y hacia atrás necesitando una mayor área para trabajar y por las dimensiones de su pluma tiene un menor alcance en excavación y carga.

Figura 6. **Retroexcavadora de llanta**



Fuente: Fábrica CAT.

Figura 7. **Excavadora de oruga**



Fuente: Fábrica CAT.

2.2.5. Equipo para acarreo de material

A través de los años, los contratistas han estado buscando equipo de mayor producción para el movimiento de tierra. Un sistema que pareció tener gran utilidad, fue el de cargar el material en unidades de acarreo de alta velocidad mediante un transportador de banda.

Una de las primeras versiones de este conjunto, consistía en una unidad móvil con cucharón para levantar el material suelto el cual se descargaba en una banda transportadora inclinada para elevarlo y vaciarlo, estos transportadores se llamaron, posteriormente, volquetes que variaban en su tamaño según el peso del material a transportar, pero en la actualidad son escasos por su alto precio.

Figura 8 **Camión volquete**



Fuente: Fábrica CAT.

Figura 9 **Camión de volteo**



Fuente: Tramo San Julián – Tukurú.

Quedando en la actualidad los camiones de volteo doble eje o eje sencillo, por su economía en precio y su versatilidad en el área de trabajo, pero reduciendo así también, la cantidad de material que transporta que va de 5 M3 a 14 M3.

2.2.6. Rodo vibro compactador

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

- Liso
- Dentado

Las vibrocompactadoras de rodillo liso: generan únicamente, tres fuerzas de compactación: presión, impacto y vibración. Mientras que las de rodillo dentado, además de estas tres fuerzas, desarrolla la de manipulación.

Se asume que la 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 estos 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 las vibrocompactadoras.

Figura 10. **Rodo liso**



Fuente: Fábrica CAT.

La velocidad, también es importante, ya que determina cuanto tiempo será compactada parte de un terraplén. Velocidades de 3,2 a 6,4 km/hora producirán buenos resultados cuando se utilicen vibrocompactadoras de rodo liso.

Las vibrocompactadoras de rodillo liso se introdujeron primero, siendo más efectivas en materiales granulares. También, son utilizados en suelos semi cohesivos con un 10% del contenido de cohesividad.

El ancho de las capas varía de acuerdo al tamaño del vibro compactador, pero por lo general no debe excederse de 24" (607 mm) en materiales granulares.

Al aumentar el material de relleno o terraplén, las capas deberán ser más gruesas, hasta espesores incluso de 4" (0,101 m).

Un aspecto muy importante es cuando se utilicen materiales granulares en los terraplenes, el espesor de la capa deberá ser aproximadamente de 1 pie (305 mm), mayor que el tamaño del material granular utilizado.

Esto permite consolidación del material evitando que esté sobre la superficie del terraplén.

Figura 11. **Rodo pata de cabra**



Fuente: Fábrica CAT.

Las compactadoras de cilindros dentados se utilizan con más frecuencia para la elaboración de rellenos de gran proporción, su rango de operación fue expandida para incluir suelos con hasta un 50% de material cohesivo y un elevado porcentaje de finos.

Cuando los dientes penetran en la superficie del terraplén, las uniones naturales entre las partículas del suelo son alteradas obteniéndose mejores resultados de compactación.

3. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS

3.1. Importancia de mejorar los suelos

Cuando un suelo es suelto, altamente compresible, que posee índices de consistencia inapropiados o cualquier otra propiedad indeseable, para su utilización en algún proyecto de construcción, debe llenar ciertos requisitos de resistencia e incompresibilidad indispensables para su uso. El proceso por el cual se mejora el suelo, para poder adquirir los requisitos establecidos se llama estabilización.

Estabilización de suelos se le denomina al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades, de manera que puedan soportar las condiciones adversas de clima y uso, rindiendo en todo tiempo un servicio adecuado.

Estos procesos o tratamientos a los que se somete el suelo, deben llenar ciertos requisitos:

- El material básico que se debe emplear es el suelo natural, incorporándole otros materiales, químicos o acarreándole materiales de bancos cercanos.
- Esto es necesario para desarrollar suficiente cohesión y fricción interna en los suelos, para que puedan resistir la acción de los agentes

atmosféricos conservando así buenas sus propiedades durante un mayor tiempo.

- Seleccionar los materiales y métodos de estabilización apropiados para reducir los costos y obtener unas buenas características.

3.2. Tipos de mejoramientos de suelos

La estabilización de suelos pretende hacer más estable un suelo. Se puede considerar entonces que hay tres tipos de estabilización los cuales se detallan a continuación:

- Estabilización mecánica: comúnmente es la que aparece en todas las estabilizaciones, aumentando así la densidad de un suelo, compactándola mecánicamente.
- Estabilización por mezcla: es el método de mezclar un material de granulometría gruesa de la misma naturaleza, para mejorar sus características.
- Estabilización química: se hace mezclándole cemento, cal hidratada, asfalto, productos orgánicos y químicos o catalizadores líquido natural.

La estabilización es un asunto económico y hay ciertos casos que un mejoramiento del suelo por medio de algún químico es más económico que transportar algún material a una gran distancia.

3.2.1. Mejoramiento por medio mecánico

Este procedimiento se utiliza con la remoción del material existente para llevar un proceso de mezclado con diferentes materiales, a fin de obtener un suelo de mejor calidad al que se tiene en este momento.

Figura 12. **Estabilización mecánica de suelos**



Fuente: [hpt://compactación/mecánica de suelos/maquinaria](http://compactación/mecánica de suelos/maquinaria). Consulta: 10 de marzo de 2012.

La utilización de una estabilización mecánica, depende de una de las características básicas del suelo, tanto físicas, su clasificación, así como los resultados esperados al final del proceso, después de haber mezclado los suelos.

Una de las formas de estabilización de suelos mediante procedimientos mecánicos, es la mezcla con roca triturada o la tamización del suelo, a efecto de eliminar partículas con cierto tamaño determinado.

3.2.2. Mejoramiento por medio físico

Se pretende, con la utilización de este método, mejorar el material existente sin cambiar la estructura y composición básica del suelo, este proceso también puede ser completado por el uso de materiales cementantes.

Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, donde intencionalmente, se pretende reducir el volumen de vacíos presentes en el suelo.

- **Compactación**

Puede definirse de varias formas, pero en términos simples es el proceso de aumentar mecánicamente la densidad de algún material.

Con la aplicación de esfuerzos mecánicos es posible reducir el tiempo de compactación y lógicamente lo que tomaba años solamente toma varias horas.

La compactación se lleva a cabo por la combinación de los siguientes esfuerzos:

- Presión estática: consiste en compactar el suelo agregando peso sobre él.
- Impacto: consiste en dejar caer cierto peso repetitivo.
- Vibración: ésta se lleva a cabo por medio de maquinaria, que compacta con un peso grande y a la vez, vibrando.

3.2.3. Mejoramiento por medio químico

Este tipo de estabilización se logra mediante la adición de agentes estabilizadores (productos químicos) específicamente, como lo pueden ser el cemento, la cal, el asfalto, suelos premezclados y el catalizador líquido natural.

En este campo es frecuente el uso de productos sulfonados para cambiar la estructura del suelo, además de materiales impermeabilizantes como bituminosos.

Cuando lo que se pretende es lograr la retención de la humedad para apropiarle cohesión al suelo (el caso de arenas y limos), se logra proteger al suelo de la retracción y el agrietamiento; esto se logra agregando al suelo sal, que funciona como retenedor de la humedad en regiones calientes y también es aplicable el cloruro de calcio. El añadir cal o cemento, se le conoce como el proceso de cementación química que se produce, de la reacción de la estructura química del suelo.

Figura 13. **Estabilización con cemento**



Fuente: [hptt://maquinaria/estabilización suelo cemento/chile](http://maquinaria/estabilización%20suelo%20cemento/chile). Consulta: 10 de marzo de 2012.

Esta reacción no incluye necesariamente las partículas del suelo, aunque en las ligazones de éste sí están implicadas las fuerzas intermoleculares del suelo en su conformación química.

No cabe duda que existe una gran cantidad de métodos y procedimientos de estabilización de suelos, pero por su importancia se describirán en este trabajo únicamente los siguientes:

- Estabilización con cal
- Estabilización con cemento
- Estabilización con catalizador líquido natural
- Estabilización de suelos con cal

Parece ser la más antigua. En términos generales, las técnicas de estabilización con cal hidratada son bastante similares a la estabilización con cemento, pero hay dos aspectos de diferencia que conviene destacar desde un principio.

En primer lugar: la cal tiene un espectro de aplicación que se extiende mucho más hacia los materiales arcillosos que el cemento y en contra, se extiende algo menos hacia el lado de los materiales granulares de naturaleza friccional.

La forma más usual de la cal empleada en las estabilizaciones es la hidratada, puesto que los carbonatos de calcio no tienen virtudes estabilizantes. La cal viva se utiliza con frecuencia en pre tratamientos con suelos húmedos.

El efecto básico de la cal es la constitución de silicatos de calcio que se forman por acción química de la cal sobre los minerales de arcilla, para formar compuestos cementadores. Hay dos tipos de reacciones químicas entre la cal y el suelo. La primera es inmediata e incluye una fuerte captación de iones de calcio por las partículas de suelo a causa del incremento en la concentración de cationes en el agua; a la vez ocurre otro efecto que tiende a expandir la doble capa por el alto PH de la cal.

La segunda reacción tiene lugar a lo largo de lapsos considerables y ésta es la reacción propiamente cementante; aunque no es completamente bien conocida, se atribuye a una interrelación entre los iones de calcio de la cal y los componentes aluminicos y siliciosos de los suelos; de hecho esta ultima reacción puede reforzarse añadiendo al suelo cenizas ricas en sílice.

La reacción cementante tiene lugar a través de la formación de silicatos de calcio y es muy dependiente del tipo de suelo que en ella intervenga; en esto, la estabilización con cal difiere mucho de la estabilización con cemento. La cal tiene poco efecto en los suelos muy orgánicos o en suelos sin arcilla. Tiene su máximo efecto en las gravas arcillosas y en las que pueden producir mezclas inclusive más resistentes que las que se obtendrían con el cemento.

Ha sido utilizado con mayor frecuencia en arcillas plásticas, a las que hace adicionalmente, más trabajables y fáciles de compactar, razón por la que se usa frecuentemente como pretratamiento anterior a una estabilización con cemento, además de los muchos casos en que se usa como estabilizante definitivo. El efecto de la cal en las arcillas es más rápido que en las caoliniticas y en las primeras, la cal logra resultados mucho más espectaculares en el aumento de resistencia y, sobre todo en la disminución de la plasticidad. En las arcillas, la cal tiene también, un importante efecto en consecución de estabilidad volumétrica ante el agua.

- Estabilización de suelos con cemento

Los fenómenos químicos que ocurren entre el suelo y cemento, cuando ambos se mezclan con el apropiado contenido de agua, aun no son comprendidos del todo, pero básicamente parece que consisten en reacciones de cemento con los componentes silicosos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos; éste es el efecto básico en los suelos gruesos. Además, el hidrato de calcio que se forma como consecuencia del contacto del cemento con el agua, liberaciones de calcio, muy ávidos de agua que la toman de la que existe entre laminillas de arcilla; el

resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y la plasticidad del suelo arcilloso, así como el aumento en su resistencia y su durabilidad.

La reacción favorable del suelo cemento se ve muy impedida cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran avives por los de calcio que liberan la reacción original del cemento y los captan; dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas.

Por esta razón, las especificaciones de casi todos los países exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo no sobrepase del 1 al 2% en peso, si ha de ser considerado apropiado para ser estabilizado con cemento.

Para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables cementos de alta resistencia y cuando la mezcla con el suelo se produce y extiende a baja temperatura, pudieran convenir los de fraguado rápido o bien los que contienen, como aditivo, el cloruro de calcio.

El proporcionamiento de las mezclas del suelo cemento viene a ser al final lo primordial, pues el cemento es el elemento más costoso y el fijar la proporción determina la factibilidad técnica de la estabilización; aparte que las propiedades que se logren para la mezcla dependen también esencialmente de la cantidad de cemento que se emplea.

La resistencia de 17,5 Kg/cm² se alcanza en los suelos gruesos, como las gravas, con contenido de cemento sumamente bajos y con los contenidos usuales no es raro llegar a resistencia de 100 Kg/cm², que dan en la mezcla la

consistencia de un cemento pobre, con resistencia sobrada, pero también, con mucha susceptibilidad al agrietamiento.

Al mezclar un suelo con cemento, se produce un nuevo material duro con mejores características que el suelo original y que no es tan sensible a la humedad como el suelo asfalto. Los suelos mas arenas, son agregados adecuados para producir suelo cemento.

La cantidad de cemento necesaria varía con el tipo de suelo. Estas cantidades de cemento corresponden de un 3 a 6% en peso. La mezcla de mejor calidad se obtiene usando planta mezcladora; si no, ésta se puede hacer con moto conformadora, aumentándose ligeramente el cemento, por las deficiencias del mezclado. Con dos moto conformadoras se pueden hacer, entre mezclado y tendido, tramos de suelo cemento de 200 m de largo, 10 de ancho y 1 espesor de 10 a 15 cm, en una jornada de 4 a 6 horas. Siendo éste el tiempo máximo para empezar a compactar la mezcla.

4. MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON CATALIZADOR LÍQUIDO NATURAL EN TERRACERÍA

4.1. Catalizador líquido natural

Este producto es una enzima que fue descubierta por equivocación, debido a que la idea inicial fue para uso de fertilización de tierras para cosechar productos más vitaminados. El error consistió en agregar un ingrediente de más al producto, y al aplicar el catalizador de enzimas al suelo este se solidificó como una roca, y al aplicarle el riego de agua esta era repelida por el mismo suelo o sea se volvió el suelo impermeable. Entonces, fue así como echando a perder una plantación, se encontró un producto que sería comercializado para hacer un aditivo de estabilización de suelos para carreteras.

4.1.1. ¿Qué es un catalizador líquido?

Es una enzima orgánica, que fue diseñada para maximizar la compactación y aumentar las propiedades del suelo. Está elaborado a partir de extractos de plantas naturales mediante el uso de la tecnología de fermentación. La formulación final contiene productos de un proceso metabólico microbial, incluyendo enzimas.

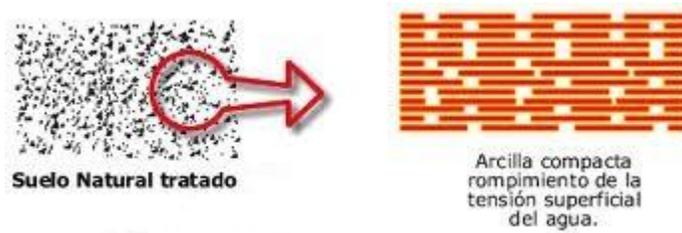
Su permeabilidad es tan baja que algunos países lo utilizan para aplicarlo en la base de canales artificiales de riego y en la base de lagos artificiales.

Este catalizador es 100% natural, no es tóxico ni dañino por sus ingredientes que están fabricados con materiales biodegradables es totalmente soluble en agua, de color ámbar oscuro es viscosa y de olor no desagradable.

4.1.2. ¿Cómo actúa el catalizador?

Las moléculas del catalizador líquido natural interactúan con las partículas cohesivas del suelo para mejorar los límites de solidez en el tiempo. El proceso reduce la permeabilidad y la plasticidad en suelos arcillosos, elimina el agua e incrementa los límites de solidez entre las partículas cohesivas. Este incremento de límites ayuda a estabilizar los suelos y reducir el daño y de formación que generalmente se produce como resultado de determinadas condiciones húmedas de los suelos.

Figura 14. **moléculas actuando**

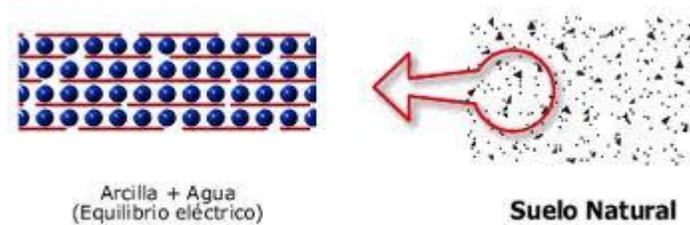


Fuente: folleto técnico Natureplus.

El incremento de la densidad y solidez de los suelos tiene un importante impacto en la vida útil de las carreteras. Es también un producto tan eficaz que permite acelerar y fortalecer la unión del material del camino. También crea una

superficie más densa, cohesiva y estable, cuya resistencia a la compresión y al corte aumenta con el tiempo.

Figura 15. **Equilibrio eléctrico del catalizador**



Fuente: folleto técnico Natureplus.

Es importante mencionar que el catalizador líquido natural no utiliza material granular grueso, por lo que hace que los amarres del suelo sean con materiales finos. Al mezclar el catalizador líquido natural, este mejora la acción de la humedad del suelo esto indica que las partículas del suelo absorben más agua y hay mejor penetración de la misma para obtener una excelente compactación, obteniendo así, mejores densidades del suelo.

Según pruebas realizadas posteriormente de aplicado, el catalizador líquido natural, éstas alcanzaron niveles de compactación del 100 al 102%.

4.2. **Características**

- Alto rendimiento
- Bajo costo
- Utiliza equipo normal para el mantenimiento de carreteras
- Aplicable a un en suelos de muy baja calidad
- Es 100 % natural compatible con el medio ambiente
- Es ecológico: (no tóxico y es biodegradable)

- De manejo seguro
- No inflamable
- Color ámbar oscuro
- Es viscoso
- Su gravedad específica es de 1.09
- Su punto de ebullición es de 212 grados Fahrenheit
- Su presión de vapor es de 75 grados Celsius
- No produce gases

4.2.1. Áreas de aplicación

En la actualidad, es una diversidad de aplicaciones que se han encontrado para el catalizador líquido natural a través de los años los cuales se describen a continuación los más destacados:

- Rehabilitación de carreteras
- Accesos de tierra, caminos secundarios
- Áreas de control de erosión
- Tratamientos de sub base
- Estacionamientos
- Pistas de aeropuertos
- Plantaciones, parques, senderos y otros lugares de ambiente ecológico
- Estabilizador contra erosión y escurrimiento de bermas de caminos
- Estabilizador de canales y acequias
- Complemento de relleno en reparaciones de caminos y baches
- Sellador de fondos de lagunas, tanques
- Rellenos sanitarios entre otros

4.2.2. Ventajas

- Bajo costo

Con el tratamiento del catalizador puede obtenerse caminos de terracería con bajo costo de mantenimiento, de extensa vida útil y en las más variadas y condiciones climatológicas.

- Alto rendimiento

Aumenta la estabilidad disminuyendo la penetración de agua en el camino. De esta manera se reduce los efectos de ondulaciones, enclavado y baches, dando como resultado mayor tiempo de vida útil, incluyendo la de los vehículos.

- Uso de material de menor calidad

Usa el material del propio suelo, asimismo puede usar finos cohesivos no granulares, de menor calidad que, a menudo, se encuentran en el camino entre 10 cm a 15 cm de profundidad.

Si se necesitara material nuevo puede utilizarse el menos costoso, con más contenido de finos (de 20-30% pasando por malla 200).

- Se requiere mismo equipo

Utilizando equipo convencional de mantenimiento de carreteras no pavimentadas y se requiere menor esfuerzo que se realiza para operaciones normales de recubrimiento de superficies. El único paso diferente en la operación normal de escarificado y nivelación es agregar el producto, con la cantidad de agua adecuada para mojar todas las partículas del suelo y obtener la humedad óptima para la compactación.

- Aumenta la resistencia de compresión

El catalizador líquido natural orgánico, fortalece la unión del material de la base del camino, creando un suelo más denso, cohesivo y estable. Por lo tanto la resistencia de la compresión aumenta con el tiempo.

- Mejora la capacidad de carga del camino

Mejora la integridad estructural de la base del camino y con el tiempo aumenta la capacidad para soportar carga (CBR), por lo tanto extiende la vida útil del camino.

- Reduce el esfuerzo de compactación

Incrementa la lubricación de las partículas del suelo. Hace el suelo más fácil de nivelar y permite que se logre la densidad deseada con menos pasadas del vibro compactador.

Figura 16. **Acción de cementación**



Fuente: folleto técnico natural plus.

El catalizador produce una fuerte acción de cementación

- Aumenta la densidad del suelo

Cambiando la atracción electroquímica en las partículas del suelo y liberando agua retenida, el catalizador ayuda a disminuir los vacíos entre las partículas del suelo. Se produce así una sección del camino más firme, seca, densa y con menos polvo.

- Disminuye la permeabilidad de agua

Configuraciones de suelo más cohesivas, inhiben el escurrimiento y migración del agua que generalmente, se produce a través de los vacíos que existen entre las partículas. Caminos y bases de suelos construidos con el catalizador oponen mayor resistencia a la penetración de agua.

- **Clima**

El catalizador líquido natural de suelos reacciona, efectivamente a cambios bruscos de temperatura y en zonas lluviosas, en las alturas y a la acción de las heladas.

- **Ecológico**

Este catalizador, por ser orgánico, no produce sustancias tóxicas, para humanos y animales siendo 100% biodegradable. La cantidad de agua requerida por este producto es de un 25% menos que la utilizada sin aplicar el producto para alcanzar condiciones óptimas de compactación. Se puede almacenar en lugares pocos ventilados y su presentación mínima es en tambos de 5 galones para su mejor transporte.

Figura 17. Superficie tratada con el catalizador



Fuente: folleto técnico Natureplus.

4.2.3. Especificaciones técnicas

- Aspecto del catalizador líquido natural:
 - Tecnología: es un sistema enzimático
 - Efecto en la estructura mineral de la arcilla: reduce la plasticidad y permeabilidad, incrementa la densidad y el CBR.
 - Características y comportamiento: reacciones e intercambio iónico, electrolítico con las partículas de la arcilla; reducción de tensión superficial; degradación enzimática del material orgánico del suelo.
 - Naturaleza: tecnología de fermentación de vegetales.
 - Rango: amplio rango de suelos naturales, incluyendo materiales con alto contenido arcilloso cohesivo.
 - Aplicación: los requerimientos de aplicación son mínimos, es de fácil aplicación, la construcción es económica. Aplicación manual, basada en una buena mezcla de suelo, suficiente dilución en agua del producto y una adecuada compactación.
 - Rendimiento: un bidón de 20 litros. Rinde para 660 m³, con un largo de 1,100 m, 4 m de ancho y un espesor de 15 cm. Rinde 220 m² por 1 litro o 1 litro para 33 m³.

- Fabricante: NATUREplus, inc., (USA) con una presentación de bidones de 20 litro.
 - Vencimiento: el producto tiene 48 meses, contados desde la fecha de su fabricación.
 - Test de laboratorio y evaluación: es necesario realizar análisis usuales durante la preconstrucción: granulometría del suelo, límite líquido e índice de plasticidad, PH, humedad natural, ensayo de proctor.
 - CBR y medidas de densidad en carreteras para establecer el incremento de la compactación con respecto al tiempo.
- Especificaciones de catalizador líquido natural

Los resultados óptimos en la estabilización con el catalizador natural se dan, cuando se mezcla completamente con la solución del producto considerando las especificaciones de diseño que se muestran a continuación:

- Granulometría: método de ensayo: ASTM E-11, D-422 o análisis de graduación similar. El catalizador líquido natural cataliza las reacciones con finos cohesivos (plásticos). Los finos pasan la malla N. 200 y deben de constituir por lo menos el 15% del material de construcción. La arcilla cohesiva deberá estar presente en un 6% como mínimo.

- Plasticidad: método de ensayo: ASTM D-4318 (límites Atterberg). Suelos ideales tratados con el catalizador líquido natural y deberán tener un límite líquido (LL) menor que 30% y un índice plástico (IP) entre 5% a 18%.
 - PH. Método de ensayo, según instrucciones del fabricante.
 - para equipo: un suelo con PH de 4,5 – 9-5 es el mejor.
 - Suelos con PH bajos pueden tratarse con carbonato de calcio (cal).
 - Suelos con alto PH se podrán tratar con sulfato de sodio, sulfato de magnesio o ácido muriático. El catalizador líquido natural concentrado tiene un PH de 3,2 – 5,1.
 - Humedad natural: el porcentaje de humedad natural del suelo a usarse servirá para determinar los rangos y diluidos del aditivo con agua y el riego para el óptimo.

Los anteriores ensayos en laboratorio, también, se pueden utilizar para estimar la performance de la carretera y ajustar la relación de aplicación.

Figura 18. **Especificaciones especiales**

Especificaciones especiales para tratamiento de caminos con estabilizadores orgánicos para Guatemala

Las especificaciones especiales de la unidad ejecutora de conservación vial COVIAL edición 2011 en la división 200, sección 210, detalla específicamente el tratamiento de caminos con estabilizadores orgánicos el cual se describe a continuación:

210. tratamientos de caminos con estabilizadores orgánicos

210.01 Descripción: este trabajo consiste en la estabilización de los caminos de terracería que contengan, como mínimo un índice de plasticidad (IP) mínimo de seis (6%), utilizando productos orgánicos (catalizador de enzimas,) las cuales serán diluidas con una concentración definida dentro del agua con la que se le da la humedad óptima al material existente en el tramo para compactar hasta obtener una densidad mínima del 95% (AASHTO T-91) respecto a la densidad máxima. Se sugiere T-180 (modificado) por el tipo de maquinaria a utilizar.

Continuación de la figura 18.

210.02 Materiales

210.02.1 Enzimas: se utilizarán diluidas en el agua que se empleará para humedecer el material de la sub-rasante existente. Se empleará las siguientes dosificaciones:

- Un (1) galón de enzimas por 120 metros cúbicos de material con un índice de plasticidad (IP) entre 6 y 12.
- Un (1) galón de enzimas por 92 metros cúbicos de material con un índice de plasticidad (IP) entre 12 y 15.

210.02.2 Imprimación: siendo esta actividad, parte del proceso constructivo de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, edición 2001 en lo que sea aplicable. Con una dosificación de 0,30 galones por metro cuadrado de área a tratar.

210.02.3 Control de tránsito y mantenimiento:

- a. Esparcimiento de material secante: previamente a la apertura al tránsito, la superficie imprimada, debe cubrirse con material secante en una cantidad que puede variar 0,003 a 0,006 metros cúbicos por metro cuadrado para absorber los excesos de asfalto y evitar que la imprimación sea levantada por las llantas de los vehículos que circulan en la carretera.

Continuación de la figura 18.

b. El esparcimiento del material secante debe efectuarse de preferencia con distribuidor de agregados u otro adecuado, con sistema de llantas neumáticas. Para mejorar el efecto del material secante, puede compactarse con compactadora de llantas neumáticas, efectuando las pasadas de la orilla al centro de la superficie imprimada.

c. Durante todas las operaciones de imprimación y durante el tiempo comprendido hasta barrer la superficie cubierta con material secante, el contratista debe controlar el tránsito, señalizando, dirigiendo el mismo y controlando la velocidad para evitar accidentes y deterioro del trabajo efectuado, por el paso de vehículos en la superficie, conforme a la sección 800 y el manual de seguridad vial e imagen institucional en zonas de trabajo.

210.03 Procedimiento: se seguirá el mismo método de trabajo del renglón conformación descrito en la sección 206.02 con las siguientes variantes:

- El espesor a trabajar (a escarificar) será de 20 cm.

210.04 Medida: la medida final se efectuará por el número de metros cuadrados de área tratada (estabilizada e imprimada).

210.05 Pago: se hará al precio unitario del contrato por metro cuadrado de área tratada (estabilizada e imprimada). Precio que incluirá la plena compensación por el suministro de todos los materiales especificados, conformación, imprimación, equipo, herramientas, mano de obra y demás trabajos necesarios para completar el trabajo.

Fuente: especificaciones técnicas y especiales COVIAL 2009.

4.3. Proceso de aplicación

La aplicación del catalizador líquido natural se realiza durante el mantenimiento de carreteras, donde se presentan ondulaciones, baches etc.

Demostraciones exitosas y su correspondiente aplicación en muchas partes de Latinoamérica han permitido acumular experiencias respecto a los tipos adecuados de los suelos, su química, requerimiento de equipos y maquinas, así como métodos de aplicación del producto para obtener el mejor éxito.

4.3.1. Rendimiento

La relación de dosificación es de 1 litro de catalizador líquido natural por 33 m³ de material. El rango de dilución en agua es de 1: 500 a 1:2,000, dependiendo del tipo de suelo y lo seco que este se encuentre.

Suelos secos.....	1/2000
Suelos húmedos.....	1/500

4.3.2. Equipo básico a utilizar

Los equipos requeridos para la construcción y rehabilitación de carreteras con catalizador líquido natural son los mismos que se usan para el mantenimiento de caminos.

- Moto niveladora (120 HP) que sirve para escarificar la superficie del camino, pudiendo ser reemplazado eventualmente por un arador giratorio (2 m).
- Camión cisterna para agua, de 2,500 a 5,000 galones de capacidad.
- Rodillo de tambor liso, de 1.5 a 2 m de ancho, con un peso de 8 a 12 toneladas. Para una efectiva compactación. Usar el rodillo vibrando para las dos primeras pasadas. Si el suelo presenta un alto contenido de arcilla, el uso de un compactador de pata de cabra mejorara los resultados. Un rodillo neumático de 10 a 15 toneladas puede reducir la adhesión del suelo a la superficie de la llanta en suelos muy cohesivos.

Los caminos adecuados para una buena demostración del catalizador líquido natural, se escoge de preferencia, longitudes alrededor de 100 m para establecer con mayor precisión la dosificación adecuada, previamente se habrá calculado las condiciones de contenido de humedad del suelo. Para asegurar el éxito de caminos en la aplicación del catalizador lo detallaremos a continuación en el proceso de aplicación.

4.3.3 Proceso de aplicación

Escarificar el camino hasta una profundidad de 20 cm. Si se requiere agregar más material (gruesos finos o arcilla) hágalo antes de escarificar. Trabaje y mueva el material suelto hasta que esté bien pulverizado, a una profundidad de 20 cm para asegurar la penetración completa y distribución pareja del tratamiento líquido. Retire las piedras mayores a 10 cm.

Figura 19. **Escarificación**



Fuente: tramo San Julián – Tukurú.

Calcular la cantidad de agua requerida para que el suelo alcance una humedad óptima para su compactación. La cantidad de agua calculada en este paso será mezclada en el camión cisterna con el volumen previsto del catalizador líquido natural. La solución se aplicará a la sección del camino antes de ser mezclado y compactado.

La hoja de trabajo para la cantidad de agua se determina con el análisis de laboratorio y ensayo proctor, si no existiera estudio de laboratorio de suelos, use la fórmula sencilla en campo que proporcionaremos más adelante.

Calcular el volumen de concentrado del catalizador líquido natural que se utilizará para estabilizar un determinado volumen de material. La relación es de 1 litro de catalizador por 33 m³ de material a compactar.

Figura 20. **Catalizador líquido**



Fuente: folleto técnico Aqua. p. 4.

- Combinar en un camión cisterna el volumen de concentrado del catalizador con el 90% de volumen de agua. Éste se mezclará fácilmente con el agua en pocos minutos. La mezcla puede ser acelerada moviendo el camión hacia adelante y hacia atrás. Esparcir la carga total de la formulación diluida con el catalizador líquido natural, contenida en el camión, en varias pasadas uniformes sobre la sección preparada para permitir la penetración total de líquido.

Esta mezcla se requiere para llevar al suelo a la humedad óptima y a la distribución uniforme antes de ser compactada, si la formulación diluida del producto calculada para una sección predeterminada del camino llegar a ser distribuida en menor cantidad se obtendrá, inevitablemente, una compactación debajo del nivel óptimo.

Figura 21. **Aplicación del catalizador a la cisterna**



Fuente: folleto técnico Aqua.

- Mezclar bien la formulación del producto con el suelo. Después de mezclar totalmente el suelo mediante el uso de la moto niveladora, comprobar que tenga suficiente contenido de humedad. Para ello tome muestras del suelo en formas de bolas, en varios lugares a lo largo del camino. Agregue hasta un 10 % de agua sin el producto (catalizador líquido natural), si fuera necesario y vuelva a mezclar el suelo.
- Tender el suelo tratado en capas de espesor uniforme previa a la compactación. Siga los métodos tradicionales para darle la curvatura y escurrimiento de agua necesaria al camino. Se conseguirá el mejor rendimiento cuando se prevenga al máximo posible la formación de pozas de agua.

Figura 22. **Tendido del material**



Fuente: tramo San Julián – Tucurú, Alta verapaz.

- Compactar la capa tratada con un rodillo. Puede emplearse un rodillo vibratorio para sentar mejor la mezcla del suelo, pero solo vibrando en las dos primeras pasadas. La compactación deberá traslaparse en un 50% para evitar puntos débiles, hoyos o irregularidades.

Pueden ser rellenados con una pala o usando una pasada ligera de una moto niveladora solo después de la primera pasada de compactación. Generalmente se realiza de 3 a 4 pasadas de rodillo finales sobre la sección sin vibrar.

Figura 23. **Compactación**



Fuente: tramo San Julián – Tukurú, Alta Verapaz.

- El camino estabilizado nuevo puede ser usado para el tránsito liviano, inmediatamente después de realizada la compactación, de ser necesario. Para usos más pesados de tráfico, los mejores resultados se han logrado después de un período de curado de 2 a 3 días.

Figura 24. **Tramo donde se aplicó el catalizador**



Fuente: folleto técnico Aqua.

4.3.4. Importancia y cálculo de requerimiento de agua

Estimación en campo de requerimiento de agua para el grado de humedad óptima (cuando no existe estudio de laboratorio de suelos). Si no contamos con equipo para determinar la humedad óptima, la humedad neta hacer agregada puede ser estimada en el propio terreno. Para tal efecto seguir los siguientes pasos:

- a. Medir 100 gramos de suelo de la sección preparada de camino.
- b. Agregar cantidades medidas de formulación diluida con catalizador líquido natural a la muestra del suelo hasta que pueda

formar con ella una bola en una mano. Cuando haya alcanzado la humedad óptima. La bola húmeda de suelo obtendrá su forma y dejará sólo una breve película de humedad en la palma de la mano.

- c. Tomar nota de la cantidad total de agua mezcladas con el producto expresadas en mililitros, que haya agregado al suelo para alcanzar el nivel de humedad óptima (paso 2).
- d. Dividir el número de mililitros de agua por los 100 gramos de suelo y anotar el resultado en una hoja de trabajo el resultado obtenido establecerá la cantidad de agua necesaria para mojar adecuadamente la sección preparada del camino.

El catalizado líquido natural, impacta y afecta el nivel de humedad óptima en el suelo. En todos los casos, el agua usada para ajustar la humedad del suelo debe contener una parte con el catalizador líquido natural y 500 partes de agua (2 mililitros de concentración del producto por cada litro de agua).

Los implementos necesarios para realizar lo anteriormente descrito en campo son los siguientes:

- Un gotero graduado (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 ml)
- Un litro de agua mezclado con 2 mililitros de concentrado del producto
- recipiente, de por lo menos medio litro para la mezcla
- Una cuchara, o herramienta similar, para mezclar el suelo con el agua
- Un vaso de uno 100 ml., (para contener 100 gramos de suelo)

5. COSTO Y COMPARACIÓN CON MÉTODO ESTABILIZACIÓN CON CAL

En el presente capítulo se hace una comparación respecto al costo de ejecución de una estabilización de subrasante usando la cal como método, por ser el material de menor costo en el mercado, para compararlo con la estabilización de subrasante utilizando el catalizador líquido natural, para determinar cuál es más económico en cuanto a costo se refiere.

A continuación se describen las integraciones unitarias de cada método, para su respectiva comparación. Ver apéndices.

- Integración de estabilización con cal
- Integración de la cal
- Integración de estabilización con catalizador líquido natural

CONCLUSIONES

1. En cualquier proyecto donde las subrasantes y/o los materiales cercanos para subbase y bases sean plásticas, (índice de plasticidad sobre 5%) y el porcentaje de finos sea mayor, se justifica analizar el empleo del catalizador líquido natural como estabilizante.
2. Es requisito indispensable contar con el estudio de suelos completo.
3. Para tratar con el catalizador líquido natural, los suelos que presenten escasa humedad natural se requiere agregar mayor cantidad de agua, lo que permitirá una absorción más efectiva de la enzima.
4. Las enzimas orgánicas del catalizador líquido aplicadas a suelos cohesivos, mejoran el comportamiento de éstos en forma progresiva. La mayoría de las variaciones que se producen no se pueden apreciar antes de 15 días de aplicadas las enzimas. La mayor facilidad de manejar el suelo se manifiesta inmediatamente.
5. La comparación de la utilización del catalizador líquido natural contra la estabilización por medio de cal representa en costo que el método de catalizador resulta ser más alto su aplicación.
6. El conocimiento de los aditivos nuevos químicos al público es escaso, por lo tanto ignoran sus beneficios, ventajas y rendimiento para la estabilización de subrasantes en caminos de terracería.

7. El catalizador líquido natural es una solución competitiva con otros métodos en lo relacionado a su costo, pero sobre todo es una solución sana y natural para la naturaleza.

RECOMENDACIONES

1. La buena práctica de este método, relativamente nuevo, se basa en el cálculo exacto del requerimiento de agua para obtener un buen resultado.
2. Realizar ensayos de laboratorio en campo (densidades) en distancias que no excedan a 300 m para llevar un mejor control de los resultados.
3. Ubicar proveedores del producto en los países vecinos como México y Centro América, puesto que el valor varía respecto a Guatemala.
4. El catalizador líquido natural actúa directamente sobre partículas finas de origen plástico que pasan por la malla 200, por lo que se requiere un mínimo de 20% de las mismas.
5. Es importante, como futuros ingenieros, la actualización sobre nuevos métodos y saberlos emplear bien para aportar al mantenimiento de los caminos de terracería, una nueva solución ante el deterioro que sufren por los cambios climáticos que actúan en el país.

BIBLIOGRAFÍA

1. DAY, David A. *Biblioteca del Ingeniero Civil: maquinaria para la construcción*. Tomo I. España: Limusa, 1990. 300 p.
2. Dirección General de Caminos DGC, *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* sección 210. Guatemala: 2001. 700 p.
3. *Enzimas orgánicas*. [en línea] www.stasoil.coma/enzimas. [Consulta:12 de diciembre de 2011].
4. FREDERICK,S. Merrit, *Manual del Ingeniero Civil*. 3a ed. Tomo I. Madrid: McGraw-Hill, 1992. 789 p.
5. LOSA, Julián. *Caminos económicos*. Madrid: Castillo, 1973. 346 p.
6. *Proveedores de catalizador químico natural*. [en línea] www.slidershade.com. [Consulta: 5 de enero de 2012].
7. SOLARES DÍAZ, Jorge Ovidio. *Métodos de estabilización de suelos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1978. 120 p.

8. Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones especiales*. Guatemala: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, 2010. 900 p.

Apéndice 1.
Integración de la estabilización con Cal

rendimiento	1400	m2/día		
Fecha				
EQUIPO				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB-TOTAL
1	Patrol	8,00	Q 395,00	Q 3.160,00
1	Camión cisterna de 2000 GLS	8,00	Q 140,00	Q 1.120,00
1	Rodo vibratorio	8,00	Q 250,00	Q 2.000,00
			Total	Q 6.280,00

MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCION	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB-TOTAL
1	Operador de patrol	8,00	Q30,00	Q240,00
1	Operador de cisterna	8,00	Q23,00	Q184,00
1	Operador de rodo	8,00	Q24,00	Q192,00
4	peones	8,00	Q8,00	Q256,00
			Total	Q872,00

Herramientas (5% de Mano de Obra)			Q43,60
-----------------------------------	--	--	--------

MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO/UD	SUB-TOTAL
	Cal	M2	Q2,43	
			Total	Q1,65

Total costo directo		Q917,25
Costos indirectos (49%)		Q449,45
Equipo:		Q 6.280,00
Total parcial:		Q7.646,70
IVA	12%	Q917,60
Total por día:		Q8.564,31
TOTAL POR	M2	Q6,12

Fuente: elaboración propia

Apéndice 2. Integración de la cal

Rendimiento	7900	kg/día		
fecha:				
Equipo				
CANTIDAD	DESCRIPCION	HRS	COSTO HORA	SUB-TOTAL
1	CAMION PARA ACARREO	3,00	Q130,00	Q 390,00
			TOTAL	Q 390,00

MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCION	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB-TOTAL
1	Operador de camión	3,00	Q22,00	Q66,00
4	peones	3,00	Q8,00	Q96,00
			Total	Q162,00

Herramientas (5% de Mano de Obra)	Q8,10
-----------------------------------	-------

MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO/UD	SUB-TOTAL
7900	Cal	kg	Q1,40	Q11.060,00
			Total	Q11.060,00

Total costo directo		Q11.230,10
Costos indirectos (49%)		Q0,00
Equipo:		Q 390,00
Total parcial:		Q11.620,10
IVA	12%	Q1.394,41
Total por día:		Q13.014,51
TOTAL POR	M2	Q1,65

Fuente: elaboración propia

Total Q. 7,77/ M2

Apéndice 3.

Estabilización con catalizador líquido natural

rendimiento	1400	m2/dia		
Fecha				
EQUIPO				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB-TOTAL
1	Patrol	8.00	Q 395.00	Q 3,160.00
1	Camión Cisterna de 2000 GLS	8.00	Q 140.00	Q 1,120.00
1	Rodo Vibratorio	8.00	Q 250.00	Q 2,000.00
			Total	Q 6,280.00

MANO DE OBRA				
CANTIDAD	DESCRIPCION	HRS. TRABAJO	COSTO HR.	SUB-TOTAL
1	Operador de patrol	8.00	Q30.00	Q240.00
1	Operador de Cisterna	8.00	Q23.00	Q184.00
1	Operador de Rodo	8.00	Q24.00	Q192.00
4	peones	8.00	Q8.00	Q256.00
			Total	Q872.00

Herramientas (5% de Mano de Obra)				Q43.60
-----------------------------------	--	--	--	--------

MATERIALES				
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO/UD	SUB-TOTAL
	catalizador liquido natural	litro	Q1,428.57	
			Total	Q4,545.45

Total costo directo		Q5,461.05
Costos indirectos (49%)		Q2,675.91
Equipo:		Q 6,280.00
Total Parcial:		Q14,416.96
IVA	12%	Q1,730.04
Total por día:		Q16,147.00
TOTAL POR	m2	Q11.53

Fuente: elaboración propia

