



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

TITULO: MEJORAMIENTO DE SUELOS GP CON VINAZA

**TRABAJO DE TITULACION QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO
PREVIO A OPTAR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL**

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

JORGE ISRAEL LOAIZA LARREATEGUI

NOMBRE DEL TUTOR:

ING. BLAS CRUZ CARPIO

SAMBORONDON, MAYO, 2017

CERTIFICACIÓ

En mi calidad de tutor del estudiante Jorge Israel Loaiza Larreategui estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil, carrera dictada en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES, certifico: Que he revisado el trabajo de tesis con el título:

MEJORAMIENTO DE SUELOS GP CON VINAZA, presentado por el estudiante Jorge Israel Loaiza Larreategui con cedula de ciudadanía N °. 0703530121, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutor: Ing. Blas Cruz Carpio

Samborondón, Mayo 2017.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres por ser el pilar fundamental en mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo mantenido a través del tiempo, hoy le doy gracias a Dios por haberme dado paciencia, constancia e inteligencia para poder culminar mi carrera universitaria.

Este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco los conocimientos y ayuda de todos mis profesores y compañeros por que sin ellos esto no hubiera sido posible terminar mis estudios.

Este trabajo de titulacion ha sido la suma de sinnumero de experiencias y conocimientos compartidos por cada uno de mis profesores, amigos y futuros colegas, a todos ustedes mi respeto y mi mas grande estima. Gracias por su desinteresada labor, por sus consejos, por su sabiduria, por su profesionalismo para la formacion de ingenieros civiles y sobretodo mejores ciudadanos. Al Ingeniero Urbano caicedo y al Ingeniero Blas Cruz por su dedicacion y paciencia para culminar con éxitos, al Ingeniero Franklin Barros Camargo por haber sido un compañero incondicional a lo largo de mi carrera y ayudarme en todo lo que ha sido mi trabajo de titulacion.

Resumen

En el Ecuador en las zonas rurales existen caminos de cuarto orden, los cuales se encuentran compuestos por suelos GP que no son aptos; debido a la escasez de recursos no han sido tratados de la mejor manera e incluso no han sido asfaltados, ya que dichos trabajos solo son desarrollados en su mayoría en las carreteras denominadas de primer orden.

Mediante el uso de la vinaza en el suelo GP, se podrá obtener una mezcla más densa y a la vez resistente, la cual pueda cambiar la del suelo que está en mal estado, logrando así una mayor satisfacción para las personas que circulan por dichas zonas. El objetivo de este trabajo es mejorar la resistencia y la capacidad de los suelos GP a través del uso de la vinaza en la construcción de caminos y carreteras. Se realizaron varios ensayos en el laboratorio con la finalidad de poder obtener los resultados de la aplicación de la vinaza en los suelos GP. Se concluye que mediante el compuesto de la vinaza la resistencia de los suelos GP mejora significativamente, debido al contacto de la mezcla con el agua.

Palabras Claves: Vinaza – suelos GP – sub-base – resistencia – base

Contenido	
Capítulo I	9
1. EL PROBLEMA.....	9
1.1. Planteamiento del Problema.....	9
1.2 Formulación del problema	10
1.3 Sistematización del problema.....	10
Objetivos de la investigación	11
1.5 La propuesta	11
CAPÍTULO II.....	12
Marco Teórico.....	12
1. Definición de suelos GP.....	12
2. Origen de los suelos GP	13
3. Tipos de suelos GP.....	14
4. Clasificación de los suelos GP	17
5. Sistema unificado de clasificación de los suelos GP SUCS	17
6. Sistema de clasificación de los suelos GP AASHTO	22
7. Clasificación española	24
8. Características de los suelos GP	25
9. Carreteras	25
10. Subrasante	26
11. Subbase.....	26
12. Rasante o Superficie de rodadura.....	29
13. Estabilización de los suelos GP.....	31
14. Estabilización de suelos GP vía mecánica	33
15. Estabilización de suelos GP vía volumétrica	34
16. Uso de la Vinaza en las carreteras.....	35
CAPÍTULO III.....	40
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
Análisis de los suelos GP.....	40
Ensayos de Laboratorio.....	41
Ensayo de Proctor Modificado.....	41

Ensayo de Capacidad Soporte California	43
Ensayo granulométrico	44
Ensayo de Atterberg	46
Índice de Plasticidad.....	48
Ensayo Triaxial	48
Cambios de volumen en esfuerzos para los ensayos de corte.....	49
Forma de aplicar la Vinaza a los Suelos GP	50
Aplicación de la Vinaza en forma Líquida	50
Pasos para aplicar la vinaza líquida dentro de los suelos GP	51
Dosificación de la Vinaza	52
Ensayos a muestras de suelos GP estabilizados.....	52
CAPÍTULO IV	54
ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
4.1 Ensayo de Granulometría	54
Test & Sample Details	58
4.3 Ensayos de compresión simple con muestra de suelo sin vinaza.....	58
Specimen Details	58
4.3 Ensayo de Compresión Simple para suelo con vinaza.....	59
Test & Sample Details	59
Specimen Details.....	59
4.4. Ensayo de Compresión Simple para Suelo	60
Test & Sample Details	60
Specimen Details	60
4.5 Ensayo de Compresión Simple	61
Test & Sample Details	61
Specimen Details.....	61
4.6 Ensayo de Compresión Simple para Suelo	62
Test & Sample Details	62
Specimen Details.....	62
4.8 Aplicación de Modelo Matemático	63

CAPÍTULO V	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1. Conclusiones	71
5.2. Recomendaciones	73
Referencias Bibliográficas	74

Capítulo I

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento Del Problema

En el ámbito de la Ingeniería Civil son muchos los campos que pueden ser analizados al momento de realizar estudios sobre esta rama, sin embargo, el tema que mayor importancia tendrá en este trabajo de investigación será el análisis de las diferentes capas de las bases y sub bases de los suelos GP, ya que, debido a la presencia de muchos factores naturales han hecho que tomen un rol importante, específicamente con los tipos de suelos GP en los que se construyen las carreteras (Toledo, 2014).

Trabajos de investigación como una tesis o estudios de casos, son necesarios que puedan ser aplicadas en la vida cotidiana, específicamente en el área en la cual será dirigida como lo es la Ingeniería Civil en este caso y sobre todo en el país donde se vaya a realizar dicha investigación. En esta oportunidad, el estudio se hará dentro del Ecuador con la finalidad de poder solucionar las principales necesidades en vista de los recursos con los que cuenta el país en la actualidad (Toledo, 2014).

El propósito de este trabajo de investigación es realizar una investigación demostrativa que pueda ser aplicable en la sociedad, para lo cual se recurre a un sin número de pruebas en laboratorios que permitan sustentar todo aquello que se está fundamentando. Además de eso, se intenta dar una revisión teórica que sea válida y esto se lo logrará mediante la revisión de fuentes bibliográficas.

Cabe recalcar que la riqueza de una nación no solamente se basa en la cantidad de recursos con los que cuenta, sino también en el uso que hace de los mismos teniendo en cuenta todos los procesos a realizar. En el caso del Ecuador, específicamente en las zonas rurales se pueden observar que todavía existen caminos de cuarto orden los cuales

se encuentran compuestos por suelos GP no aptos, debido a la escasez de recursos no han sido tratados de la mejor manera e incluso no han sido asfaltados, ya que dichos trabajos solo son desarrollados en su mayoría en las carreteras denominadas de primer orden (Barek, 2015).

Mediante la implementación de este proyecto se busca mejorar la calidad de los suelos GP de aquellas vías que son consideradas de cuarto orden y que se encuentran sin asfaltar, proponiendo así el uso de la vinaza como una alternativa que sea aplicada dentro de la mezcla para incrementar la resistencia del suelo.

1.2 Formulación del problema

La investigación se realiza en base a la situación que se han observado en la revisión teórica hecha por el autor, con referencia a la condición que presentan los suelos GP de cuarto orden. En otras palabras el problema se podría definir de la siguiente manera: ¿cómo se mejora la capacidad de los suelos GP y de las capas subrasante, base y sub-base con la implementación de la vinaza?

1.3 Sistematización del problema

El problema que originan los suelos GP al no ser tratados de la manera adecuada genera un sin número de interrogantes ante la propuesta de implementar la vinaza como un compuesto eficaz para el incremento de la resistencia de los suelos GP.

¿Cuál es la posibilidad de que se pueda utilizar la vinaza como material que permita mejorar la calidad de los suelos GP? ¿Qué duración tiene el compuesto de la vinaza como aglutinante? ¿Cuál es la resistencia que tiene la vinaza al momento de mezclarse con la lluvia? Todas estas interrogantes serán respondidas a lo largo de este trabajo y mediante las pruebas realizadas en los laboratorios.

Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

- Modificar la resistencia y la capacidad de los suelos GP no aptos a través del uso de la vinaza, en la construcción de caminos y carreteras.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar las características mecánicas que tiene la vinaza como aglutinante para gravas pobremente gradadas.
- Realizar mezclas con distintas proporciones de vinaza para determinar la resistencia de cada mezcla y analizarla sobre el suelo.
- Medir el porcentaje de durabilidad de la mezcla entre la vinaza y el agua como agente protector de los suelos GP.

1.5 La propuesta

Al no existir un correcto asfaltado, la apariencia de los caminos y carreteras están totalmente inservibles para que sirva como flujo vehicular, puesto que la adherencia es mucho menor que en los suelos GP sueltos.

Además de eso la presencia de polvo es muy desagradable, puesto que disminuye la visibilidad, las masas de aguas generan que la resistencia de las capas sub-rasante, sub-base y base se vean afectadas, lo que ocasiona que el desgaste de los neumáticos y motores de los vehículos sean cada vez más grande (Barek, 2015).

Mediante el uso de la vinaza en el suelo, se podrá obtener una mezcla que sea mucho más densa y a la vez resistente que mejore la calidad del suelo GP, logrando así

una mayor satisfacción para las personas que circulan por dichas zonas rurales, puesto que se encuentran en mejor estado y a la vez la vida útil de las carreteras se prolongan.

Desde este punto de vista, el problema sin duda alguna se ve reflejado en la carencia de estudios que permitan determinar la posibilidad de poder emplear algún tipo de material que sea económico como aglutinante para de esa forma mejorar las condiciones de las capas sub-rasante.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

1. Definición de suelos

La definición de suelo puede darse desde diferentes perspectivas o puntos de vista. Los conceptos de suelo que provengan de un geólogo, agrónomo o ingeniero civil pueden ser distintas en su apreciación global, pero siempre será similar. Crespo (2008) definió al suelo como una capa delgada situada sobre la corteza terrestre procedente de la modificación o descomposición química o física de las rocas y de los residuos causados por las actividades de los seres humanos.

El suelo posee un alto grado de importancia dentro del campo de la ingeniería civil y se considera que es el soporte principal de todos los proyectos. Por lo cual, se lo debe de estudiar como una estructura esencial para cualquier obra a realizarse. Para un estudio a profundidad del suelo se deben de considerar sus principales características como la porosidad, talud natural, densidad, cohesión, entre otras. Debido a que estas características dan a conocer las propiedades resistentes ante diversas fuerzas (Crespo, 2008).

2. Origen de los suelos

El suelo se forma como consecuencia de cambios físicos y químicos que sufren las rocas que se encuentran en la corteza terrestre. La formación del suelo también implica un proceso dinámico el cual involucra un cambio progresivo desde que la roca se pone en contacto con la atmósfera como consecuencia de la erosión. La meteorización es un proceso que colabora con la transferencia de materiales alterados que luego se depositarán formando la alterita, para luego consolidarse en suelo (Juárez, 2004).

La exfoliación es un proceso que consiste en el rompimiento de la capa superficial y el desprendimiento de la misma. El rompimiento o desprendimiento es causado por el sol, puesto que actúa sobre las rocas y calienta más su exterior que su interior, esto causa diferencias de expansión provocando esfuerzos extremos.

El proceso de exfoliación varía dependiendo del tipo de roca, las localidades, alturas sobre el nivel del mar y las épocas del año. Además, el agua y el viento contribuyen a la erosión del suelo. El agua arrastra los fragmentos angulosos de las rocas y provocan fricción de unos con otros, también contribuye en forma de lluvia cuando cae en superficies pétreas, abre grietas y llena espacios huecos. Por otro lado, el viento arrastra arenas como en el caso de los loess y los médanos (Das, 2001).

Debido a que los agentes físicos no son suficientes para la formación del suelo, la desintegración de diferentes partículas debe darse mediante procesos químicos. Los principales agentes químicos que participan en la formación del suelo son la oxidación, hidratación y carbonatación (Crespo, 2008).

La oxidación puede definirse como la reacción química que ocurre cuando el agua de lluvia toca las rocas, debido a que el oxígeno del aire reacciona químicamente

cuando se presenta humedad y esto produce el fenómeno conocido como oxidación. La hidratación es un proceso químico en donde el agua y un compuesto se combinan químicamente para la formación de hidratos. De esta forma el agua se absorbe y se mezcla químicamente para la creación de nuevos minerales. Por último, la carbonatación es un proceso que consiste en la capacidad que el dióxido de carbono tiene para actuar sobre las rocas que poseen calcio, fierro, magnesio, potasio o sodio para que puedan ser descompuestas (Crespo, 2008).

3. Tipos de suelos

3.1. Suelos granulares

Los suelos granulares (gruesos) se originan principalmente por un proceso de meteorización física y están conformados por partículas sin cohesión y agregadas entre ellas debido a la gran dimensión. Entre los procesos de meteorización física se encuentran la termoclastia, lajamiento, fenómenos de hidratación física o hialoclastia. Las características granulométricas del suelo van a depender del tipo de transporte. Por ejemplo, si el transporte es fluvial presentará una granulometría progresiva con relación a la energía del medio. Por otro lado, si es en medios glaciares se puede esperar un amplio espectro de tamaño de granos, puesto que no existe un patrón granulométrico definido (Rico, 2005).

Las principales características de este tipo de suelos es que poseen una elevada permeabilidad y buena capacidad portante. Lo cual garantiza una evacuación rápida del agua en presencia de cargas externas. Dentro de este tipo de suelos se pueden mencionar dos distinguidos grupos: el de las gravas y arenas (Rico, 2005).

3.2. Gravas

Las gravas presentan un tamaño de más de dos milímetros de diámetro y son consideradas como acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas. Cuando son llevadas por el agua, las gravas se redondean debido a que sufren desgaste en sus aristas. Estas se las puede encontrar en muchas depresiones de terrenos rellenadas por el acarreo de los ríos. También en márgenes y en los conos de deyección de los ríos. El tamaño de partículas de las gravas se encuentran desde 7.62 cm hasta 2.0 mm y la forma de las partículas de las gravas dependen fundamentalmente de la historia de su formación, de las cuales se han encontrado desde elementos rodados a los poliédricos (Berry, 1993).

3.3. Arenas

Las arenas provienen de la denudación de las rocas o de su trituración artificial. Las partículas que forman la arena varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro. Cabe destacar que la arena de río contiene proporciones de arcilla y grava puesto que estas se las suele encontrar en el mismo depósito (Crespo, 2008).

3.4. Suelos cohesivos

Los suelos cohesivos (finos) se caracterizan por obtener ciertas propiedades de superficie importantes, puesto que la superficie específica de estas partículas es más que considerable. El tamaño de estas partículas de suelo es más fino y es inferior a 0.08 mm. La principal característica de este tipo de suelo es la cohesión y esta se define como la fuerza interparticular que se produce por el agua de constitución del suelo, siempre que este no esté saturado. La cohesión es muy importante debido a la estabilidad de taludes, puesto que aumenta la resistencia de un suelo frente a esfuerzos cortantes. Dentro de estos suelos se encuentran el grupo de los limos y arcillas (Fredlund, 2012).

3.5. Limos

Estos limos son suelos de granos finos con poca plasticidad. El tamaño de estos limos se comprende entre 0.05 mm y 0.005 mm. El color puede variar desde gris a muy oscuro. Los limos se pueden clasificar en dos grupos, limo orgánico y limo inorgánico. El limo orgánico puede encontrarse en los ríos y el inorgánico puede producirse en las canteras (Crespo, 2008). La compresibilidad de los limos orgánicos es muy alta pero su permeabilidad es muy baja. Se consideran a los limos como suelos pobres para cimentar cuando estos no se encuentran en estado denso (Crespo, 2008).

3.6. Arcillas

Las arcillas son consideradas como un silicato de alúmina hidratado, aunque también posee en ciertas ocasiones silicato de magnesio o hierro hidratado. La estructura de la arcilla es transparente y complicada, los átomos están acomodados en forma laminar (Fredlund, 2012).

Juárez (2004) sostiene que existen dos tipos de suelos laminar: El aluminico y el silícico. La lámina del tipo aluminico está compuesta por un átomo de aluminio rodeado por seis átomos de oxígeno e hidrógeno. Por otra parte, una lámina de tipo silícico está compuesta solo por un átomo de silicio rodeado de cuatro átomos de oxígeno.

3.7. Suelos orgánicos

En esta clase de suelos se incluyen los suelos constituidos por materia orgánica descompuesta ya sea animal o vegetal. Una de las características principales es que no es recomendable utilizar este tipo de suelo para construir sobre este. Además, los suelos orgánicos poseen una mala tolerancia al agua, poca capacidad portante y alta compresibilidad (Gerhardt, 2009).

4. Clasificación de los suelos

A través de la historia se han desarrollado varios métodos de clasificación de los tipos de suelo debido a la enorme diversidad que la naturaleza posee. Estos métodos de clasificación cumplen con un alto grado de importancia puesto que fueron creados para campos y necesidades específicas (Crespo, 2008).

Los principales métodos o sistemas de clasificación de suelo que se han realizado y se utilizan a nivel mundial son el el Unified Soil Clasification System o también conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) por sus siglas en español y el American Association of State Highway and Transportation officials (AASHTO) (Juárez, 2004).

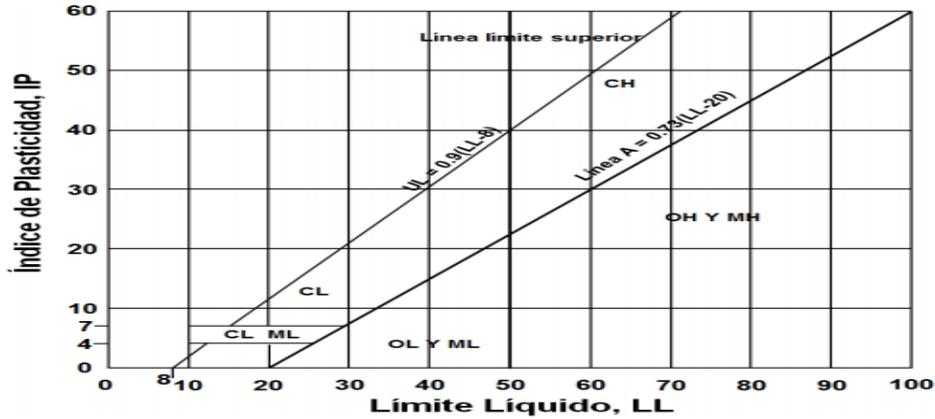
5. Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS

Durante la segunda guerra mundial el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos presentó un sistema de clasificación de tipo de suelos . En 1942 este sistema fue revisado y modificado por Arthur Casagrande quien lo adaptó para que pueda ser apreciado como un sistema más general. El cuerpo de ingenieros y el US Bureau Reclamation revisaron conjuntamente el sistema creado en 1952 y en la actualidad se destaca por ser uno de los más utilizados por los ingenieros en la clasificación de los suelos (Santamarina, 2008).

Casagrande creó un gráfico para poder relacionar el límite líquido con el índice de plasticidad de un suelo. La figura 1 muestra el gráfico conocido como la carta de Casagrande de suelos cohesivos (Santamarina, 2008).

Figura 1

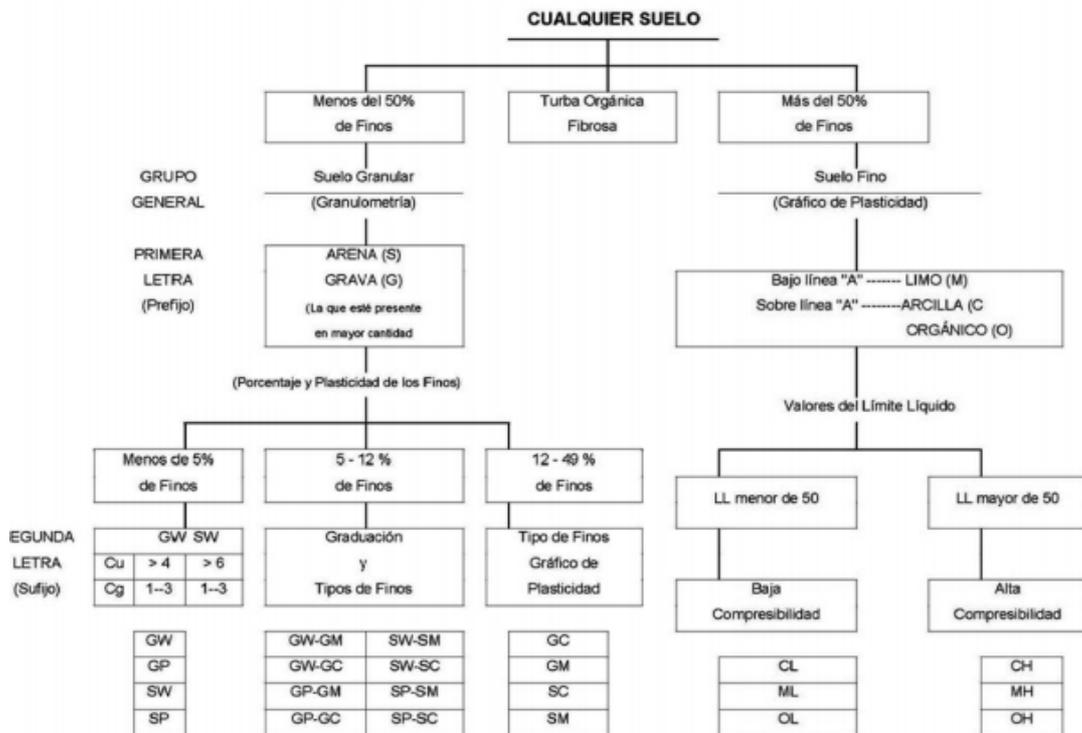
Índice de plasticidad



Fuente: Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de suelos GP y cimentaciones, p. 84.

Figura 2

Clasificación de los suelos



Fuente: Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 86.

La clasificación del sistema unificado de los suelos SUCS se muestra en la tabla

Tabla 1

Suelos de partículas finas y gruesas

Divisiones Mayores		Símbolos de Grupo		Nombres Típicos		Criterios de Clasificación para Suelos granulares		
Suelos de grano grueso Si menos del 50% del material pasa el tamiz No. 200	Gravas Si más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	Gravas limpias (pocos o ningún fino)	GW		Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	Cu = $D_{60}/D_{10} > 4$ Cc = $1 < D_{30}^2/D_{10} \times D_{60} < 3$		
			GP		Gravas pobremente gradadas, mezclas grava, arena, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW		
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	e f a	GM		Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP < 4	A los materiales sobre la línea A con 4 < IP < 7 se considera de frontera y se le asigna doble símbolo
				GC		Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcillosas	Límites de Atterberg por encima de la línea A o IP > 7	
		Arenas Si más del 50% de la fracción No. 4 gruesa pasa por el tamiz No. 4	Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW		Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu = $D_{60}/D_{10} > 6$ Cc = $1 < D_{30}^2/D_{10} \times D_{60} < 3$	
				SP		Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, poco o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación	
	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)		e f a	SM		Arenas limosas, mezclas arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP < 4	Si el material está en la zona sombreada con 4 < IP < 7 se considera de frontera y se le asigna doble símbolo.
				SC		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla	Límites de Atterberg por encima de la línea A o IP > 7	
	Suelos de grano fino del 50% del material pasa el tamiz No. 200	Limos y arcillas (Límite Líquido LL < 50)	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. Dependiendo del porcentaje de finos (fracción menor que el tamiz No. 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% --- GW, GP, SW, SP Más del 12% --- GM, GC, SM, SC De 5 a 12% --- Casos de frontera que requieren doble símbolo		
			CL		Limos inorgánicos, de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras			
OL			Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad					
Limos y arcillas (Límite Líquido LL > 50)		MH		Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomeos, suelos elásticos				
		CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas				
		OH		Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas				
Suelos altamente orgánicos		PI		Turba y otros suelos altamente orgánicos				

La tabla 1 presenta una división entre los suelos de partículas finas y suelos de partículas gruesas y estos se pueden apreciar a través del tamizado del material por la malla #200. El modo de poder observar cual es un suelo grueso o fino es prestando atención cuales pasan a través de la malla y cuáles son los que se estancan.

Usualmente los suelos finos pasan a través de la malla y los suelos gruesos se estancan en esta malla. Se conoce que si más del 50% de las partículas son retenidas se debe de considerar que es un suelo grueso y será suelo fino si más del 50% de las partículas son menores que la malla (Crespo, 2008).

Tabla 2

Tipos de suelo según los sufijos y prefijos

Tipo de suelo	Permeabilidad	Resistencia a la tubificación	Resistencia al cortante	Compresibilidad	Susceptibilidad al agrietamiento	Susceptibilidad a la licuación	Manejabilidad
GW	Permeable	Alta	Muy alta	De baja compresibilidad siempre que hayan sido colocados y compactados adecuadamente. Su compactación es fundamental.	No susceptible al agrietamiento	No susceptible a la licuación cuando se están bien compactados	Muy buena
GP	Permeable a muy permeable	De alta a media	Alta				Muy buena
SW	Permeable	Alta a media	Muy alta				Muy buena
SP	Semipermeable a permeable	Baja a muy baja	Alta				De buena a correcta
GM	Semipermeable	Alta a media	Alta	Compresibilidad baja si más del 60% del material es grueso (tamaño superior a la malla No. 4). Si el material contiene menos de 35% de material grueso, se pueden estimar los asentamientos con base en la compresibilidad de finos.	Control de humedad de compactación muy importante	Media si mal compactados	Muy buena
GC	Impermeable	Muy alta	Alta			Baja	Muy buena
SM	Semipermeable a impermeable	Media a baja	Alta			Muy susceptible si mal compactados	Buena a correcta
SC	Impermeable	Alta	Alta a media			Muy baja	Buena a correcta
ML	Impermeable	Baja a muy baja	Media a baja	Los asentamientos pueden ser grandes y se calculan con base en pruebas de consolidación.	Muy susceptibles: deben colocarse con alto grado de saturación	Media a alta si mal compactados	Correcta a muy pobre
MH	Muy impermeable	Media a alta	Baja			Muy baja	Buena a correcta
CL	Impermeable	Alta	Media		Mediana a alta	Media a alta si mal compactados	Pobre a muy pobre
CH	Muy impermeable	Muy alta	Baja a media			Muy baja	Muy pobre
OL	Impermeable	Media	Baja			Muy baja	Correcta a pobre

Fuente: Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 90.

La tabla 2 presenta los suelos por grupo dependiendo del símbolo de cada grupo el cual posee un sufijo y un prefijo. Los prefijos pertenecen a los nombres en inglés de los tipos de suelo como grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba. Por otra parte los sufijos muestran revelan las subdivisiones en dichos grupos

6. Sistema de clasificación de los suelos AASHTO

La clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) es una de las más conocidas a nivel mundial. Esta fue desarrollada en Estados Unidos por geotécnicos norteamericanos conocidos como Hogentogler y Terzaghi quienes trabajaron para el Bureau of Public Roads. La clasificación fue concebida en base al modelo de Casagrande (Terzaghi, 1996).

La clasificación está dividida en siete grupos básicos de suelos GP, los cuales están catalogados y numerados desde el A-1 hasta A-7. Además, dentro de estos grupos surgen subdivisiones, el grupo A-1 y A-7 poseen dos subgrupos y el A-2 presenta cuatro. Para poder encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro se deben de realizar solo dos tipos de ensayos: El análisis granulométrico y los límites de Atterberg (Terzaghi, 1996).

El índice de grupo (IG) es un número entero con un valor entre 0 y 20 en función del porcentaje del suelo. La tabla 3 presenta la clasificación de los suelos AASHTO (Crespo, 2008).

Tabla 3

Estado de consistencia

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)	
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20		≤ 20			
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos				
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Fuente: Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones, p. 93.

7. Clasificación española

La clasificación española del PG-3 se basa principalmente en dividir en cuatro grupos de suelos establecidos por el pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Estos grupos están divididos en seleccionados, adecuados, tolerables e inadecuados. En la tabla 4 se aprecia la clasificación española.

Tabla 4

Características de los suelos

SUELO	CARACTERÍSTICAS	SUCS
SELECCIONADO	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño máximo del árido TMA < 8 cm. - Contenido en finos menor del 25% (0.080 UNE) - Límite líquido LL < 30 - Índice de plasticidad IP < 10 - CBR > 10, sin presentar hinchamiento - Exentos de materia orgánica 	GW GP
		GM GC
ADECUADO	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño máximo del árido TMA < 10 cm. - Contenido en finos menor del 35% (0.080 UNE) - Límite líquido LL < 40 - Densidad máxima Proctor Normal > 1,750 g/cm³ - CBR > 5, con un hinchamiento < 2% - Contenido de materia orgánica < 1% 	SW SP
		SM SC
TOLERABLE	<ul style="list-style-type: none"> - Contenido en piedras de tamaño superior a 15 cm. inferior al 25% - Límite líquido LL < 40, o bien simultáneamente: <ul style="list-style-type: none"> ▪ LL < 65 ▪ IP > 0.6·LL - 9 - Densidad máxima Proctor Normal > 1,450 g/cm³ - Índice CBR > 3 - Contenido de materia orgánica < 2% 	ML CL OL
		MH CH
INADECUADO	No cumplen las condiciones mínimas exigidas para los suelos tolerables.	OH Pt

Fuente: Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de suelos GP y cimentaciones, p. 94.

8. Características de los suelos

Mediante el estudio de la mecánica de los suelos se pueden estar al tanto de las principales características de los suelos . De esta forma se puede comprender el comportamiento de un terreno cuando está sometido a cargas y el suelo exhiba diferentes contenidos de humedad (Berry, 1993).

Densidad

Para poder definir el término de densidad se necesita separarlo en dos: Densidad absoluta y densidad aparente. La densidad absoluta de un cuerpo es la masa de ese cuerpo comprendido en la unidad de volumen, excluyendo los vacíos. Por otro lado, la densidad aparente es la masa de un cuerpo comprendida en la unidad de volumen, incluyendo vacíos. Además, se debe de tener en cuenta la densidad relativa de un sólido, esta es la relación de su densidad a la densidad absoluta del agua destilada en una temperatura de 4 °C (Crespo, 2008).

Peso volumétrico

Crespo (2008) argumenta que el peso volumétrico es una de las características más importantes de los suelos. Usualmente el peso volumétrico se expresa en kg/m^3 y se lo puede definir como el peso de dicho suelo contenido en la unidad de volumen.

9. Carreteras

A la carretera se la puede definir como una franja de terreno sobre la cual pueden circular vehículos. Las características más importantes para tomar en cuenta en las carreteras son el ancho, alineamiento y la pendiente (Fredlund, 2012).

10. Subrasante

Se conoce como subrasante a la capa natural de la carretera, sobre esta se colocan las demás capas según lo requiera el terreno y la magnitud de los proyectos. En ciertos casos el suelo necesita ser estabilizado, debido a que este no es apropiado (Das, 2001).

11. Subbase

El objetivo de la construcción de esta capa es evitar la mezcla de material de la subrasante con la base, puesto que impide que el agua de la subrasante ascienda por capilaridad hacia la base lo cual puede reducir la resistencia de la base. La construcción de la Subbase también favorece económicamente al proyecto, puesto que permite ahorrar material de la base (Rico, 2005).

La sub base es aquella que consiste en dar abasto, transporte y distribución, sobre la parte subrasante, la cual es elaborada partir de los diseños de piedras partidas, de tipo arenilla y de cualquier otro tipo posible de conformación y compactación que sea aprobado por las entidades que avalen este tipo de material para la construcción de carreteras. El trabajo de ubicación de los materiales se podría extender a las bermas, si fuese necesario y si los planos a utilizarse lo indiquen así, puesto que de esa manera lo indica el ingeniero que solicita los planos de construcción (ARQHYS, 2012).

El material que se utiliza para este tipo de base básicamente es elaborado mediante fragmentos de roca, gravas, arena y entre otros. Las capas que cubrirán la sub base debe ser siempre uniforme, sea cual sea el tipo de suelo; es decir que sean estos naturales o a través de mezclas. Dicha capa de la sub base debe ser compacta y que no tenga ningún tipo de material que pueda contaminar o dañar el proceso de elaboración de la misma, tales como restos de arcilla, elementos orgánicos, residuos o demás

elementos que sean determinados por la persona que está a cargo de la construcción de dichas capas (ARQHYS, 2012).

Los materiales a emplearse para la construcción de las sub bases serán escogidos de depósitos u otros lugares aluviales que hayan sido analizados y aprobados por la constructora solicitante de dichos materiales. Estos materiales deben contar con el control de calidad, el cual debe estar elaborado y presentado de forma escrita, y a la vez debe estar firmado por personas y empresas reconocidas por su competencia, seriedad y cumplimiento en el ámbito de la construcción (ARQHYS, 2012).

En el caso de que la persona encargada de la obra (contratista) desee utilizar otro tipo de materiales que no sean las establecidas al momento de cerrar el contrato, este deberá pedir de forma escrita una autorización, presentando un estudio en el cual diga que los costos adicionales por la utilización de dichos materiales corren por parte del contratista y a la vez que dichos materiales provienen de una fuente segura que valide el uso de los mismos dentro del proceso de construcción (ARQHYS, 2012).

Para la construcción de una sub base se deben realizar las siguientes operaciones: extender y humedecer tanto la compactación como el acabado de la capa las veces que sean necesarias. La persona contratista no podrá dar inicio a los trabajos sin obtener la autorización previamente del interventor, de las entidades de donde vinieron los materiales y la aprobación de la capa subrasante (ARQHYS, 2012).

La sub base será colocada en capas inferiores a los 20 cm de espesor, la cual será medida antes de que se realice la compactación, y se debe mantener la humedad cercana al óptimo para que pueda compactarse a un promedio del 95% de la densidad obtenida en el ensayo ya modificado. La capa superior de la sub base no podrá ser colocada bajo ninguna circunstancia sin tener la aprobación de la capa inferior; es decir hasta que esta

cumpla con todos los requisitos y condiciones de espesor, nivelación y densidad (ARQHYS, 2012).

Base

La base es aquella capa en la que se da la mayor parte de los esfuerzos que son producidos por los vehículos y maquinarias empleadas para la construcción. La capa rasante o de rodadura es aquella que se coloca de forma directa sobre la base, puesto que la capacidad para la carga de esta superficie es muy pequeña, para lo cual es necesario que se emplee una capa extra que provea del confinamiento necesario (Toledo, 2014).

Normalmente la base y la compactación deben ser estabilizadas para que estas puedan soportar las cargas sin que estas se dañen o deformen, además de eso es necesario que estas capas estén estables para que puedan transmitir de la mejor forma las cargas a las demás capas inferiores (Toledo, 2014).

Para la realización de las bases de suelo que son destinadas para poder brindar soporte a los pavimentos, es necesario que se adopten una serie de especificaciones que permitan asegurar la calidad requerida para este tipo de capa (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2015). Entre los principales factores que se deben considerar al momento de construir las bases están los siguientes:

- a) Encontrar el contenido de vinaza adecuado que permita alcanzar la resistencia y durabilidad requerida para la construcción del suelo, especificada en las pruebas de laboratorio. Luego de eso seleccionar los equipos y la metodología apropiada que permitan cumplir las condiciones establecidas.

- b) El mezclado de todos los materiales utilizados para el proceso deben ser precisos y uniformes, dosificados de la mejor manera siguiendo los requerimientos con relación a la granulometría, homogeneidad, espesor y pulverización.
- c) La compactación para el camino debe ser la adecuada y debe ser ejecutada en los sistemas de manejabilidad indicados por las pruebas, lo cual garantice la consecución de las densidades obtenidas en los resultados de las pruebas de laboratorio y la uniformidad de la base.
- d) La capa de la base del suelo debe tener el curado apropiado que permita tener las condiciones de humedad requeridas en el transcurso del tiempo mínimo referido en las pruebas de laboratorio, con el objetivo de poder asegurar la hidratación del cemento correcta y a la vez poder conseguir las resistencias deseadas de las mezclas obtenidas.

12. Rasante o Superficie de rodadura

Para la disposición del tráfico existen una gran variedad de superficies de rodadura, sin embargo, para realizar la superficie indicada, esta se la hace con relación a tipo de carretera a realizar y al costo predestinado para la misma. Existen varias formas de superficies de tipo de rodadura para lo que es el tráfico y su selección se realiza acorde al tipo de carretera y al costo establecido para dicha superficie (Toledo, 2014).

Entre los principales tipos de carreteras se encuentran las pavimentadas y la de terracería. Dentro de las carreteras pavimentadas, se puede observar que la superficie de rodadura para su formación puede ser realizadas a través de capas de estilo hidráulico, asfáltico o bituminoso y de adoquines.

Las carreteras pavimentadas son aquellas que están formadas por un conjunto de capas colocadas de formas horizontales, las cuales son construidas de manera técnica con los materiales establecidos y compactados para dicha construcción. Este tipo de carreteras pueden ser analizadas específicamente en dos tipos que son: las asfálticas y las de concreto (Caicedo, 2009).

Las carreteras de tipos asfálticas son aquellas que se encuentran formadas por una capa de superficie de rodadura bituminosa, la cual normalmente se encuentra situada sobre otro tipo de capas que cuentan con material no ligado. Este tipo de carreteras pertenecen al tipo de vías primarias o de orden nacional (Caicedo, 2009).

Las carreteras de concreto se encuentran apoyadas en las capas sub base o sobre una capa construida con material seleccionado; este tipo de capa es conocida como la sub base de estilo rígido.

La carretera de concreto hidráulico es una de las que mayor absorbe y disuelve la mayor parte de la presión que ejercen los vehículos sobre la base del pavimento, esto se debe a su rigidez y a su elasticidad.

Por lo contrario en el concreto de tipo asfáltico y de adoquines se puede observar que al existir menor rigidez estos trasladan la presión y mayor trabajo hacia capas denominadas como inferiores, lo cual ocasiona que alrededor de las capas cercanas estas reciban mayor presión de lo normal (Toledo, 2014).

Este tipo de carreteras con pavimento a base de concreto son las que mayor rendimiento y duración generan a largo plazo, debido a que el costo de la superficie de concreto es mucho menor que el costo generado por vehículos cuando atraviesan el asfalto (Caicedo, 2009).

Entre otros de los beneficios que se generan por la aplicación de este tipo de material en las carreteras es el de la reducción del combustible utilizado por los vehículos, las distancias para que los automóviles puedan frenar son cada vez más cortas, lo que reduce significativamente el índice de accidentes de tránsito en las carreteras (Caicedo, 2009).

El objetivo principal de estas carreteras es la de generar apoyo a la superficie y a la base para que de esa manera se pueda mejorar la capacidad de carga y el desgaste. Uno de los principales incentivos para que se realicen dichas carreteras es la de poder fomentar y apoyar al crecimiento del Ecuador, para eso se debe revisar las inversiones fuertes que se requieren para que puedan ser cumplidas de acuerdo a lo establecido (Caicedo, 2009; Toledo, 2014).

Normalmente la realización del diseño de las carreteras se debe hacer en tres etapas: primero observar la pre factibilidad, luego de eso la factibilidad y por último establecer el diseño confirmado a realizar para que de esa manera se pueda realizar un análisis económico y técnico sin el menor riesgo posible (Caicedo, 2009).

El siguiente tipo de carretera más importante dentro del tema es el de terracería, las cuales están formadas por varios tipos de cortes y terraplenes. Este tipo de carretera está construida principalmente por la capa subrasante y por el terraplén, y en su composición cuentan con materiales que no han sido seleccionados, lo cual se suele indicar que forman parte de la estructura del pavimento en general (Toledo, 2014).

13. Estabilización de los suelos

El proceso de estabilización de los suelos consiste básicamente en estabilizar el sustrato mediante la fijación del mismo con la finalidad de que su compactación perdure por mucho más tiempo.

En este proceso el suelo es transformado a material de construcción de buena calidad para parcelas de tierra, caminos y también es empleado en los lagos artificiales, de esa manera estabilizar el suelo permite a los constructores poder mantener el control sobre la erosión del mismo (NanoSystems, 2015).

A través de la estabilización de los suelo se busca poder mejorar todas aquellas propiedades físicas y mecánicas que no cumplen con los requerimientos necesarios para poder ser utilizados en los suelos

Este proceso de estabilización tiene como finalidad poder incrementar la resistencia mecánica de todos los tipos de suelos, enlazando ya sea de forma química o física todas las partículas que se encuentran en el suelo incrementando de esa manera la densidad del mismo y consiguiendo una mayor forma de compactación dentro de los suelos (Toledo, 2014).

Cabe recalcar que el proceso de estabilización de los suelos se los realiza con la finalidad de poder disminuir al máximo todos aquellos costos que son empleados al momento de realizar la construcción de carreteras y demás tipos de superficies.

Para ese tipo de casos se debe realizar una evaluación con respecto a la estabilización de los suelos para observar cuales son los principales requerimientos que se deben cumplir (Toledo, 2014). Entre las principales características que se deben cumplir están las siguientes:

1. Existencia de una capa subrasante desfavorable; es decir que esta capa se encuentre muy arenosa o muy arcillosa
2. Que los materiales para la construcción de la base y sub base se encuentren en el límite de las especificaciones

3. Una de las más importantes sin duda alguna es que las condiciones de humedad para realizar la estabilización debe estar en los rangos promedios de humedad establecidos
4. Reutilizar los materiales en una pavimentación ya realizada anteriormente

Los principales elementos utilizados para la estabilización de los suelos han sido la cal y el cemento, pero, sin embargo, al observar los costos de implementación de estos se pueden observar que se han incrementado dentro del rubro de la construcción.

Es por dicha razón que el propósito de este trabajo es analizar la factibilidad que tendrá el proceso de estabilización de suelos para capas subrasantes si se emplea la utilización de vinaza con el objetivo de poder construir suelos que cuenten con las propiedades físicas y mecánicas necesarias para su utilización (Toledo, 2014).

Existen varias formas que se pueden emplear para realizar el proceso de estabilización de los suelos, los cuales dependerán mucho del ingeniero que vaya a realizar dicho proceso y a la vez del tipo de suelo al que se vaya a realizar la mejora. Entre las principales formas de realizar la estabilización de los suelos se encuentran la mecánica y la volumétrica (Toledo, 2014).

14. Estabilización de suelos vía mecánica

Al hacer referencia a la estabilización de suelos tipo mecánica, se trata de agregar al suelo diferentes tipos de materiales con la finalidad de poder conseguir un suelo que cumpla todos los requisitos que se necesitan para la construcción de los suelos. Normalmente, a través de la estabilización mecánica de los suelos, se busca de una u otra manera poder mejorar ciertas características de los mismos, tales como la plasticidad y su granulometría (Toledo, 2014).

En el caso de la plasticidad, esta incide directamente sobre la susceptibilidad de los materiales que son empleados apenas note la presencia del agua; en cambio, la granulometría incide directamente sobre la resistencia y la compactación del suelo.

El ingeniero siempre debe buscar todas las proporciones que se deben mezclar entre los materiales que se puedan utilizar, tomando como referencia estudios anteriores y utilizando flujos que permitan explicar el proceso de estabilización (Toledo, 2014).

Normalmente el proceso de estabilización más utilizado es el que se realiza con el cemento, puesto que esta es muy fácil de realizar y no es necesario que se cuente con todo el equipo utilizado para realizar la construcción. Esta mezcla se la realiza combinando al suelo con el cemento y luego ubicarlo en un lugar en el que se pueda mantener la humedad requerida para este tipo de suelos (Alvarado & Barros, 2011).

La característica principal del cemento es la de endurecer y compactar todo el material empleado para la construcción de dicho suelo utilizando agua como agente de hidratación para el cemento logrando así obtener mayor densidad en las partículas del suelo. Después de realizar la mezcla entre el cemento y el suelo se procede por acción natural a endurecer la mezcla utilizada en el suelo (Alvarado & Barros, 2011)

15. Estabilización de suelos vía volumétrica

A través de la estabilización de suelos volumétrica se pretende disminuir al máximo los índices de expansión del suelo cuando existe humedad. Este tipo de estabilización se suele aplicar normalmente a los suelos de tipo arcilla, puesto que si la humedad no se mantiene bajo control, la presión puede generar daños en la estructura del suelo como deformaciones y quiebres en el pavimento (Toledo, 2014).

Cuando se dificulta el proceso de estabilización de suelos con aquellos materiales que son considerados como primordiales, se suele hacer también empleando productos de tipo asfalto específicamente en la elaboración de la base o sub base.

Este tipo de productos para asfalto suelen estar muy limitados particularmente a suelos de forma granular. La estabilización de suelos por asfalto se suele emplear cuando el suelo es de material de arcilla, debido a que es muy difícil que se realice el proceso normal en este tipo de suelos sin haberse empleado otro tipo de material (Alvarado & Barros, 2011).

Para que se pueda realizar el proceso de estabilización de los suelos en capas como la subrasante, es necesario, además de emplear materiales ya utilizados anteriormente, deben cumplir una serie de requerimientos de tipo técnico, entre los cuales están los siguientes:

- Se debe emplear cal hidratada, siempre y cuando cumpla con los requisitos que se indican en AASHTO M 216, ASTM C 977 y NGO 41018.
- Se debe utilizar Cal viva dentro de la estabilización de los suelos, siempre y cuando vaya de acorde a los requisitos que se indican en AASHTO M 216 Y ASTM C 977. Este tipo de Cal es recomendable que se aplique de forma granular con partículas inferiores a los 9 mm
- Se puede emplear también la Granza de cal siempre y cuando cumpla con los requerimientos que se indican en ASTM 110 y no supere los 19 mm. Este tipo de granza necesariamente debe ser lo más puro posible.

Es decir que no cuente con ningún tipo de suciedad como hojas, desechos de madera, arcilla y demás materiales impuros que puedan afectar en su compactación.

- Tanto como las cenizas de carbón y las puzolanas pueden ser empleadas en el proceso de estabilización del suelo, siempre y cuando cumpla con los requerimientos establecidos en el AASHTO M 295 y ASTM C 618.
Con respecto a las cenizas volantes, no se pueden emplear en aquel proceso aquellas cenizas obtenidas de plantas que empleen sodio, y azufre.
- Por último la escoria de horno de tipo granulada puede utilizarse como un aditivo siempre y cuando cumpla con los requerimientos establecidos en AASHTO M 302 y en ASTM C 989 en rangos de 100 a 125 grados.
- Todos aquellos compuestos que sirvan para dar estabilización a los suelos GP, ya sean estos químicos orgánicos o inorgánicos pueden emplearse en dicho proceso siempre y cuando cumpla con los requerimientos indicados en los planos, caso contrario no tendrá la aprobación por parte del fabricante de dichos compuestos químicos.

16. Antecedentes de la Vinaza

El uso de la vinaza se remonta a las culturas más antiguas de la sociedad, en donde se daba mucha importancia y atención al lugar en donde se ubicaba el terreno a explotar. Las primeras pruebas se pueden observar en los escritos en los que se podía observar cómo la dinastía China daba las especificaciones de cómo se deberían construir los caminos y puentes dentro de la ciudad (Toledo, 2014).

La vinaza tiene como antecedentes en países de Centroamérica como Guatemala, en el cual su uso como un agente de estabilización y mejora de suelo se comenzó a dar en los inicios de los años de 1960 con una mezcla de agua primeramente en los caminos de los ingenios de azúcares con la finalidad de poder darle mayor resistencia al suelo a causa de los desgastes dentro de los caminos de vía interna (Toledo, 2014).

Cabe recalcar que si bien es cierto de que la melaza ha mejorado la compactación de los suelos , se han observado que existen dos desventajas muy peculiares a medida de que ha ido pasando el tiempo; la primera es que la melaza, debido a su estructura a base de potasio y fósforo ocasiona que exista corrosión en aquellas áreas metálicas de los automóviles que circulan en las carreteras; la segunda desventaja es que el valor de esta mezcla en el comercio es un poco elevado, lo que indica que su análisis de costo – beneficio debe ser estructurado de tal forma de que su aplicación en las carreteras puedan ser rentables (Toledo, 2014).

Sin embargo, a finales de los años 90 los ingenios azucareros comenzaron a utilizar la melaza para poder desarrollar nuevos productos dando como resultado de ese proceso a la vinaza, la cual tiene características muy similares para su uso dentro de los procesos de estabilización de los suelos en aquellas carreteras de tipo terracería. En relación a la melaza, la vinaza ahora no les generaba ningún tipo de costo a los ingenieros, ya que este producto se deriva de la misma actividad proveniente de la melaza y a la vez porque genera los mismos resultados que los de la melaza en los suelos (Toledo, 2014).

Uno de los grandes compromisos por cumplir por parte de la industria química es la de la implementación de la vinaza como un material importante en la estabilización de los suelos, es por eso que en los últimos años se han desarrollado un sin número de pruebas en los cuales se han aplicado la vinaza para los abonos, suelos, alimentación de animales y en los caminos internos y externos de ingenios, fincas, entre otros establecimientos en los que se usan suelos para su tránsito (Toledo, 2014). Entre los principales compuestos con los que cuenta la vinaza se encuentran los siguientes.

17. Vinaza

La vinaza es un tipo de residuo que se da en el proceso de destilación del alcohol. En cuanto al volumen, se puede decir que existe una relación de 15 litros de vinaza por cada litro obtenido de alcohol. Cabe recalcar que este residuo es considerado como un componente corrosivo y contaminante del agua, además de eso, presenta dentro de su composición elevados contenidos de material orgánico como el calcio, potasio, fósforo y nitrógeno (Radio Noticias, 2011).

El uso de la vinaza depende mucho de la composición, las condiciones tipo físico y químicas que tienen los suelos, el tipo de cultivo, clima, infraestructura y las fuentes que se empleen para aplicarlas. Los compuestos utilizados en la vinaza son muy variables, ya que estos se ven muy influenciados por la materia prima usada en los procesos de destilación provenientes de las fuentes principales: melaza, jugo de molinos y la mixta (Chaves, 1985).

Tabla 5

Compuestos Orgánicos de la vinaza

Compuesto	Concentración
Glicerol	2,70%
Ácido Aconítico	1,80%
Sorbitol	1,40%
Ácido Láctico	1,30%
Ácido quínico	0,70%
Fructofuranosa	0,50%
Alfa glucopiranososa	0,30%

Fuente: Cenicña. Carta trimestral No. 3, p. 6.

- El glicerol, también conocido como glicerina es un compuesto que proviene de los vegetales. Su composición es muy espesa y principalmente se utiliza en la industria cosmetológica, debido a que se encuentra entre los principales

ingredientes de productos como las cremas, jabones y suavizantes utilizados en la piel para dar mayor humedad (Argan Web, 2015).

- El ácido Aconítico es un compuesto orgánico que se encuentra mayormente en el jugo de las cañas de azúcar. El nivel de concentración en el jugo es seis veces más fuertes que el que se encuentra dentro de los tallos y sus variaciones dependen mucho del clima y del tipo de caña de azúcar y tiene cuatro puntos menos que la melaza (Gil, 2007).
- El sorbitol es un tipo de azúcar que mayormente se encuentra en las frutas como las peras, manzanas, membrillos, algas rojas y el melocotón. El consumo masivo de esta azúcar puede generar con el pasar del tiempo un efecto de tipo laxante, por lo que se recomienda que su uso sea moderado (Cárdenas, 2017).
- El ácido láctico es un compuesto orgánico que proviene de la descomposición de la glucosa cuando existe carencia de oxígeno en un proceso denominado como metabolismo glucolítico. En condiciones constantes, este ácido láctico sino está en malas condiciones puede ser reutilizado sin ningún tipo de problema (Lara, 2010).
- El ácido quínico es un compuesto orgánico de tipo vegetal, el cual se encuentra en grandes cantidades dentro de la naturaleza, específicamente en el café y en las hojas de la mayor parte de las plantas.
- El término alfa glucopiranososa hace referencia a un compuesto orgánico conformado por anillos de átomos de carbono y oxígeno en la mayor parte de su estructura química (Rodríguez, 2010).

Además de esos compuestos, existen otros elementos que también tienen influencia en la vinaza y estos son: Alcohol, aldehídos, ácidos, acetona y los azúcares. La vinaza también cuenta con la presencia de compuestos considerados como volátiles y estos son los siguientes:

- Butanodiol
- Alcohol furfúrico
- Benzaldehído
- Metoxiacetofenona

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Los ensayos realizados en los laboratorios son muy importantes para las investigaciones de tipo práctica, puesto que estos ayudan a alcanzar las condiciones esperadas que sean controladas y que puedan repetirse en otras ocasiones.

Análisis de los suelos

Según su origen, los suelos se clasifican en dos grupos: los orgánicos y los inorgánicos, los cuales serán analizados para realizar las pruebas de laboratorio. Al hablar de los suelos inorgánicos se hace referencia aquellos que se generan de la meteorización de las piedras y rocas por sustancias físicas y químicas, en cambio los suelos de tipo orgánico son rocas que se generan igualmente de la meteorización, sin embargo, estas no se deben por agentes físicos ni químicos sino que en la mayoría de su composición estos cuentan con partículas biológicas (Toledo, 2014).

Debido a que existen variedades de suelos, es muy difícil que se utilice un solo método para poder realizar el estudio de dichos suelos, por lo cual, es necesario que

antes de que se realice un estudio se debe principalmente explorar las zonas en las que se va a realizar las pruebas y realizar una observación previa que sirva para poder determinar el tipo de suelo y ya conociendo eso aplicar la prueba de ensayo que debe aplicarse (Toledo, 2014).

Ensayos de Laboratorio

Los ensayos que se utilizarán para poder establecer las principales propiedades de los suelos dentro de las carreteras son los siguientes: proctor estándar, proctor modificado, soporte california, ensayo granulométrico, límites de Atterberg y los equivalentes de arena y relación de CBR.

Ensayo de Proctor Modificado

Nomenclature: AASHTO T180-01: Standard Method of Test for Moisture – Density Relations of Soils

El ensayo de proctor modificado es una de las pruebas más importantes que se realizan al momento de analizar los suelos y sus componentes. Este ensayo es de ayuda para poder encontrar la relación que existe entre los pesos unitarios secos con respecto al nivel de humedad óptimo que ayuda a que las partículas del suelo tengan un mejor acomodamiento; en otras palabras el grado de compactación que tenga el suelo es mucho más elevado (Universidad Nacional de Colombia, 2011; Toledo, 2014)

Existen dos tipos de ensayos de proctor: el estándar y el proctor modificado. Al hablar del proctor modificado se hace referencia al aumento de energía que tiene la compactación en relación de 1:4 y 5 con respecto al proctor estándar. Es importante establecer la cantidad de agua necesaria, puesto que la fricción entre las partículas es

muy elevada y no permite que los volúmenes vacíos puedan llenarse, sin embargo, si la cantidad de agua es muy excesiva, automáticamente se llenarán los volúmenes vacíos que las partículas del suelo pudiesen ocupar (Universidad Nacional de Colombia, 2011; Toledo, 2014).

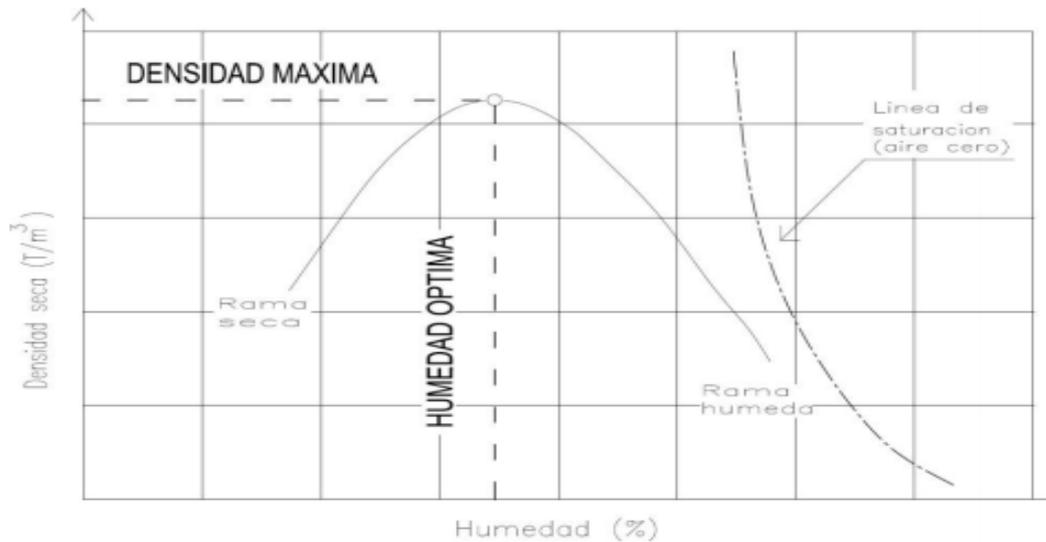
Para realizar la medición de compactación de un material o una mezcla es necesario primeramente que se establezca la densidad seca de dicho material. Para obtener dicha densidad se deben tener en cuenta los niveles de energía utilizados durante la compactación y esta también dependerá en gran manera de los niveles de humedad empleados durante la obtención de dicha densidad (Toledo, 2014).

Para lograr alcanzar una buena compactación será primordial tener un control estricto de la cantidad de agua que se va a emplear, ya que si esta es muy baja, no habrá lubricación, y por ende no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas. Por el otro lado, si existe demasiado exceso de humedad en la compactación, las partículas podrán ser separadas a través del uso del agua (Toledo, 2014).

De la explicación anterior, se puede deducir de que existirá un nivel de humedad óptima en la que se obtendrá un nivel de compactación máximo para un mismo nivel de energía, tal y como lo demuestra la figura siguiente:

Figura 4

Curva de humedad de densidad seca



Fuente: Manual de carreteras: construcción y mantenimiento (Chile). Sección 15, p. 13.

Normalmente es necesario que compacten los suelos para lograr los siguientes objetivos:

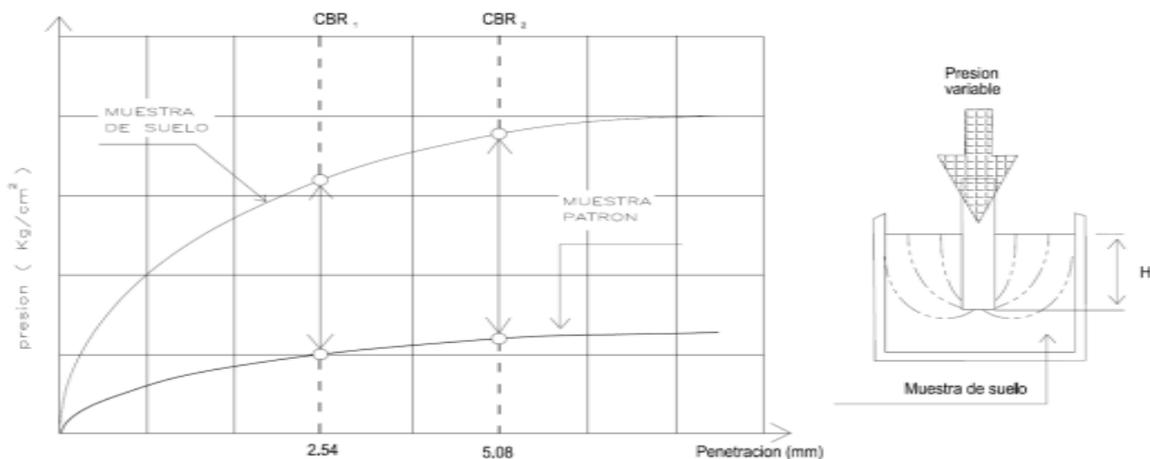
- Incrementar la resistencia al momento de realizar los cortes en la compactación del suelo
- Mejorar la capacidad y la estabilidad de las cargas de los suelos
- Reducir la compresibilidad para que de esa manera puedan disminuir los asentamientos
- Reducir los vacíos con la finalidad de poder disminuir los niveles de permeabilidad
- Reducir la expansión y contracción para que de esa manera puedan disminuir las fisuras en la capa asfáltica

Ensayo de Capacidad Soporte California

Nomenclature: AASHTO T193-99: Standard Method for the California Test

El ensayo de capacidad soporte California es aquel que se encarga de medir la resistencia al esfuerzo constante a los suelos que tienen condiciones bajas de humedad y densidad. Este ensayo permite encontrar la relación que tienen las cargas unitarias a cierta profundidad de penetración con respecto a la carga requerida con la finalidad de obtener la misma profundidad de ingreso en una muestra estándar (Universidad Nacional de Colombia, 2011; Toledo, 2014). A continuación se detalla vía gráfica como se obtiene el índice del ensayo californiano:

Figura 5
Índice de Ensayo California



Fuente: Manual de carreteras: construcción y mantenimiento (Chile). Sección 15, p. 18.

Los valores obtenidos por el índice del ensayo californiano dependerán mucho del nivel de profundidad de penetración que tienen las cargas unitarias con respecto a la muestra de ensayo estándar (Toledo, 2014).

Ensayo Granulométrico

Nomenclature: AASHTO T27: Standard Method for the californiana Test.

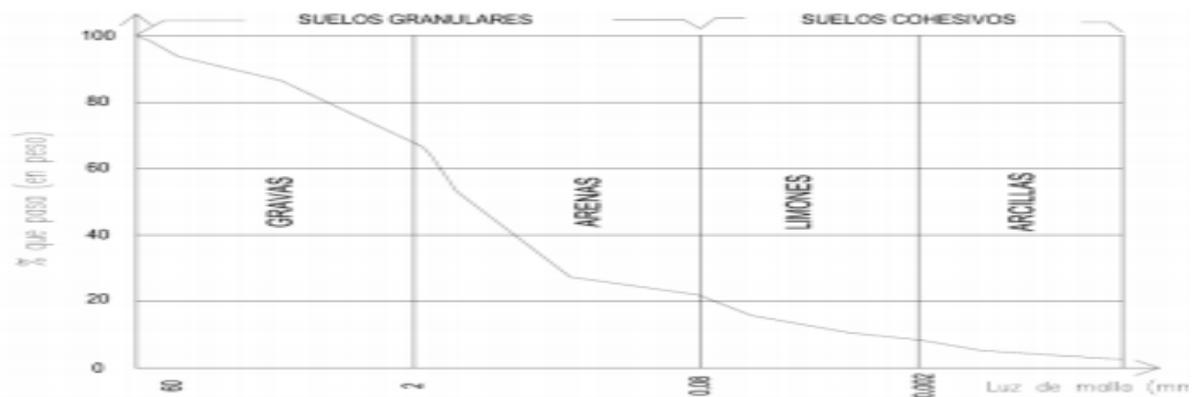
El ensayo granulométrico es aquel que busca encontrar las proporciones de tamaño que tienen los tamaños de los granos de los suelos y se realiza mediante el empleo de una balteria regulada por tamices que se ubican en orden decreciente en

donde el tamiz con la abertura más grande va arriba y el pequeño abajo. En función de la apertura que tienen dicho tamices pasa la cantidad de suelo pesada anteriormente (Universidad Nacional de Colombia, 2011; Toledo, 2014).

Después de haber terminado el proceso de tamización se procede a realizar el peso de los suelos para cada tamiz, para que de esa manera se pueda construir una gráfica de estilo logarítmico en donde se puedan determinar los valores porcentuales que pasan en cada uno de los tamices y el suelo (Toledo, 2014). A continuación se presenta la gráfica del ensayo granulométrico:

Figura 6

Curva granulométrica



Fuente: Manual de carreteras: construcción y mantenimiento (Chile). Sección 15, p. 6.

El grado de apertura de los tamices son los que indican las proporciones de tamaño que tienen los granos en los suelos al momento de realizar los ensayos granulométricos. A continuación se detallará la clasificación granulométrica, puesto que de esta dependen los ensayos que se van a realizar.

Tabla 6**Clasificación granulométrica**

Clasificación granulométrica de los suelos			
Tipo	Denominación		Tamaño
Suelos granulares	Bolos y bloques		> 60
	Grava	Gruesa	60 – 20
		Medio	20 – 6
		Fino	2 – 6
	Arena	Gruesa	0,6 – 2
		Medio	0,2 – 0,6
Fino		0,08 – 0,2	
Suelos cohesivos	Limo	Grueso	0,02 – 0,08
		Medio	0,006 – 0,02
		Fino	0,002 – 0,006
	Arcilla		< 0,002

Fuente: Manual de carreteras: construcción y mantenimiento (Chile). Sección 15, p. 8.

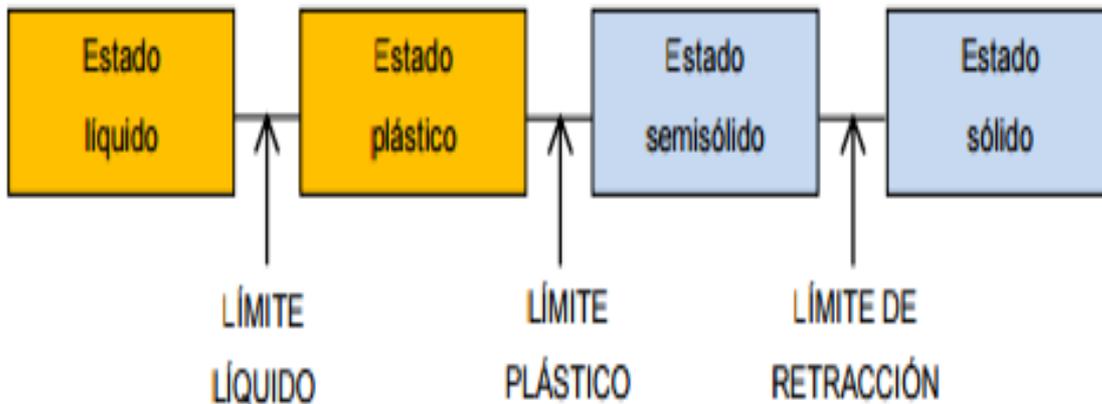
Ensayo de Atterberg

El ensayo de Atterberg está formado por límites que conforman parte de las propiedades índices de los suelos mediante los cuales se pueden definir la plasticidad y a la vez se pueden utilizar para poder identificar y clasificar a los suelos. En este ensayo se dividieron tres límites denominados estados de consistencias los cuales son los siguientes: límite líquido, límite plástico y el límite de retracción. En los tipos de granos que son más gruesos en los suelos, las fuerzas de gravitación son las que están fuertemente predominadas sobre cualquier otro tipo de fuerza, es por eso que la mayoría de las partículas de estilo grueso tienen el mismo comportamiento (Universidad Nacional de Colombia, 2011; Toledo, 2014).

En cambio, en los suelos en los que existen granos finos las fuerzas hidráulicas y las fuerzas electromagnéticas son las que mayor fuerza ejercen a causa de la relación volumen – aérea que hay en estos suelos.

Figura 7

Estado de consistencia de los suelos



Fuente: Manual de carreteras: construcción y mantenimiento (Chile). Sección 15, p. 9.

En la figura anterior se puede observar cómo se encuentran separados e identificados cada uno de los límites de Atterberg y a la vez se puede ver en qué tipo de estados se encuentran cada uno de ellos. Los límites de Atterberg son muy útiles al momento de poder identificar los tipos de suelos, aunque estos normalmente se suelen utilizar de manera directa en especificaciones que se dan para poder controlar los suelos que se van a utilizar en terraplenes y en otros métodos que son semi empíricos (Universidad Nacional de Colombia, 2011; Toledo, 2014).

Límite Líquido

Nomenclature: AASHTO T090-00 Standard Method for determining the liquid limit

El límite líquido es aquel estado del suelo en el que la humedad que tiene dos estados (plástico y líquido), en otras palabras, este límite es muy moldeable, sin embargo, puede llegar a perder su afinidad si se llegase a aumentar los niveles de humedad del suelo (Toledo, 2014).

Límite Plástico

Nomenclature: AASHTO T090-00 Standard Method for determining the plastic limit

El límite plástico es aquel estado del suelo en el que los niveles de humedad que contienen los suelos en la frontera entre el estado plástico y semi sólido; en otras palabras, si pueden ser moldeados pero no con la facilidad con la que se pueden hacer en el límite líquido (Toledo, 2014).

Índice de Plasticidad

Este índice es aquel que permite poder clasificar a los suelos y su cálculo es igual a la resta entre el límite líquido y el límite plástico. A continuación se detallarán los rangos de valores que se dan con mayor frecuencia en los tipos de suelos :

Tabla 7

Valores de consistencia del suelo

Valores típicos de consistencia del suelo	Tipo de suelo		
	Arena	Limo	Arcilla
Parámetro			
Límite Líquido	15-20	30-40	40-150
Límite Plástico	15-20	20-25	25-50
Límite de retracción	12 18	14-25	8 35
Índice de plasticidad	0-3	10 15	10-100

Fuente: Manual de carreteras: construcción y mantenimiento (Chile). Sección 15, p. 9.

La tabla anterior muestra cuales son los parámetros que se utilizan al momento de revisar la consistencia de los suelos, entre los cuales están los parámetros de los tres límites de Atterberg y el índice de plasticidad. Cabe recalcar que el valor de cada parámetro varía dependiendo del tipo del suelo (Toledo, 2014).

Ensayo Triaxial

Nomenclature: AASHTO T296-05: Standard Method for Unconsolidated of Cohesive Soils in Triaxial

El Ensayo Triaxial es aquel que busca encontrar la relación que existe entre el esfuerzo, la deformación, cohesión y el ángulo de fricción que tienen los suelos. A través de este ensayo se realizan las principales pruebas en las carreteras al igual que el ensayo de corte directo (Toledo, 2014).

Cambios de volumen en esfuerzos para los ensayos de corte

Al hablar de la resistencia al corte que tienen los suelos, se hace referencia a la tensión o corte que existe en el plano de corte y el instante en que se da la falla, es importante conocer la naturaleza que tiene la resistencia al corte para poder analizar cuáles son los posibles problemas de carga, estabilidad y presiones laterales sobre todas las estructuras que contienen a los suelos (Toledo, 2014).

En el caso de la arena, su volumen disminuye durante el proceso de corte, debido a que las partículas que se encuentran en el plano de falla empiezan a desplazarse hasta formar un arreglo completamente denso. En las deformaciones de cortes de orden del 20%, la muestra que se utiliza se guillotina a un nivel de volumen constante y también de esfuerzo. Los cambios que se dan en el volumen suelen tener influencia en el valor de la resistencia al corte en los suelos (Universidad Nacional de Colombia, 2011; Toledo, 2014).

Los ensayos de cambios en el volumen de los cortes se suelen realizar en probetas cilíndricas con la presencia de un nivel de densidad seca obtenida como resultado del ensayo de proctor modificado. A estos ensayos se le aplican un tipo de esfuerzo de confinamiento en todas sus vertientes para obtener un mejor análisis (Toledo, 2014).

Forma de aplicar la Vinaza a los Suelos

Se ha podido observar mediante las inspecciones visuales que la aplicación de la vinaza en las áreas más comunes para poder mejorar los suelos que esta mejora las propiedades tanto físicas como mecánicas de todos los suelos usados en las capas subrasantes de las carreteras específicamente de terracería, sin embargo, aún no se conoce con exactitud el alcance que tiene la aplicación de la vinaza a los suelos (Toledo, 2014).

Así como los otros métodos para mejorar el suelo, la aplicación de la vinaza necesita una forma correcta en la que pueda disminuir los daños a la salud de los empleados y a la vez el correcto cuidado de las máquinas empleadas en el proceso de aplicación sin restarle importancia al proporcionamiento del suelo y la vinaza. La forma correcta en la que se debe aplicar la vinaza es mediante forma líquida a través de las cisternas de riego (Toledo, 2014).

Aplicación de la Vinaza en forma Líquida

El proceso de aplicación de la vinaza al suelo en forma líquida consiste en realizar una mezcla homogénea y medir un porcentaje entre la mezcla de la vinaza con el agua dependiendo del nivel de volumen. La aplicación líquida de la vinaza permite que el suelo pueda homogenizarse fácilmente y a la vez permite que los espacios que se encuentran vacíos se llenen con sedimentos provenientes de dicha vinaza al momento que la humedad se evapora.

La principal desventaja que suele presentarse cuando se aplica la vinaza de forma líquida es que la máquina durante el proceso se verá afectada por la vinaza, puesto que esta es muy corrosiva, por lo que las pipas de las maquinarias deberán tener mantenimiento mucho más seguido y a la vez mejor rotación. A continuación se

detallarán los principales pasos que deben seguirse al momento de aplicar la vinaza en líquido dentro de los suelos .

Pasos para aplicar la vinaza líquida dentro de los suelos

1. Se debe realizar un corte de alrededor de 0,20 m de profundidad sobre el material que se utilizará para el proceso de la vinaza.
2. Se aplica una cantidad importante de agua en el suelo para que este pueda ser fácilmente cortado, siempre y cuando se tenga mucho cuidado al momento de aplicar el agua, puesto que al hacerlo en exceso esta puede afectar la mezcla con la vinaza.
3. Aplicar de forma homogénea la mezcla de la vinaza con el agua sobre el área del suelo que se vaya a utilizar.
4. Se desarrolla una caja estándar y se alterna con otra de forma inversa hasta que la mezcla de la vinaza y el agua con el suelo sean homogéneas. Es importante que al momento de aplicar la mezcla no existan rocas salientes, puesto que esto provocaría una erosión inmediata sobre la superficie de rodadura.
5. Después de haber mezclado todo el material de manera uniforme, este se esparce hasta que se compacte en el suelo
6. La vía se puede habilitar para uso de forma inmediata luego de que el suelo esté compactado. Cada vez que la superficie comience a mostrar deterioro se debe aplicar inmediatamente mezcla de vinaza con agua

Dosificación de la Vinaza

Determinar la cantidad exacta de vinaza en las mezclas son las que van a permitir que las propiedades tanto físicas como mecánicas de los suelos empiecen a mejorar, consiguiendo así los valores esperados de soportes. El objetivo principal es que se pueda reemplazar el uso del agua por el de la mezcla de la vinaza para los suelos usados en subrasantes de carreteras, lo que permitiría que estos puedan subsanar las fallas que se suelen dar en el mantenimiento de las carreteras haciendo así un mejor uso de la vinaza en la superficie (Toledo, 2014).

Las cantidades de relación que se deberán manejar en las muestras de los suelos tendrán que tener una variación del 25% para los volúmenes iguales. Las relaciones con las que se manejarán serán entonces las siguientes: cuando no exista ningún porcentaje de vinaza en la mezcla, el total del agua será del 100%; si llegase a ver un 25% de vinaza, el 75% restante será de agua; luego 50% vinaza- 50% agua y así sucesivamente hasta que se puedan lograr los porcentajes adecuados que permitan la mejora de la muestra de los suelos (Toledo, 2014). Algunos de los factores que inciden en la variación de los resultados de la vinaza en el proceso de mejora de los suelos son los siguientes: temperatura, humedad, topografía, la clase de suelo y los límites de Atterberg.

Ensayos a muestras de suelos estabilizados

De acorde a todos los requisitos especificados en el libro de los caminos para la construcción de carreteras, los ensayos a realizar en las capas subrasantes son los siguientes (Toledo, 2014):

- Límite líquido, cuya nomenclatura es AASHTO T89
- Límite Plástico, cuya nomenclatura es AASHTO T 90
- Humedad dentro del campo cuya nomenclatura es AASHTO T 193
- Pruebas de compactación cuya nomenclatura es AASHTO T 180 Y 191

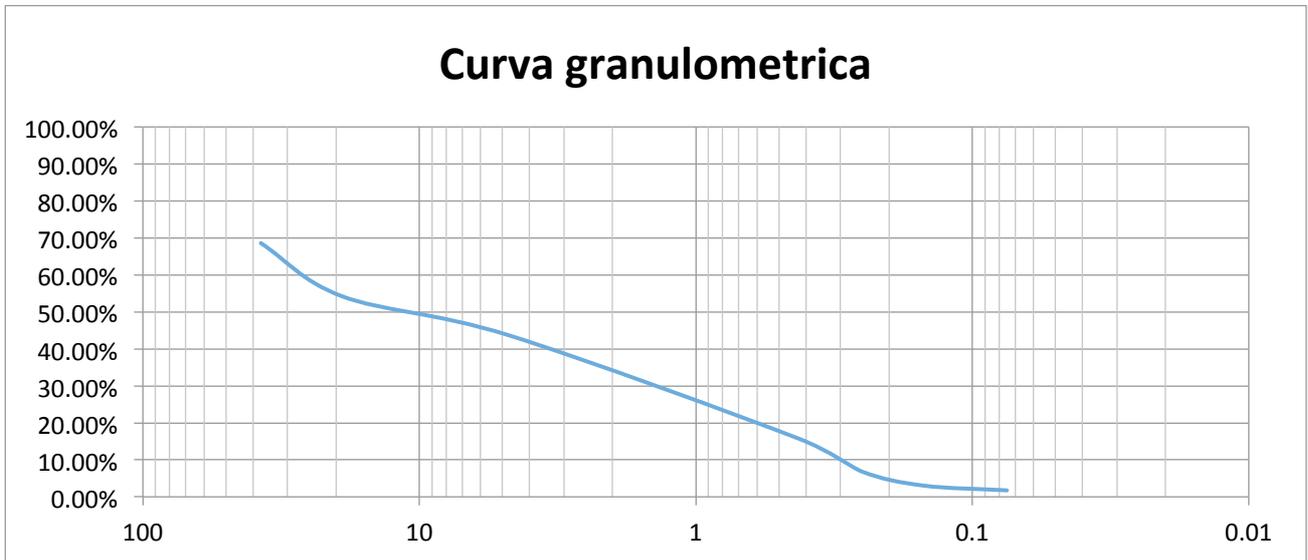
En el caso de que los ensayos se apliquen solo con la finalidad de realizar comparaciones se deben utilizar los siguientes:

- Ensayo soporte california AASHTO T193
- Ensayo granulométrico AASHTO T 27
- Límites de Atterberg
- Ensayo Triaxial
- Control de evaporación

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Ensayo de Granulometría

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
1 1/2 "	37,5	784	31,36%	31,36%	68,64%
3/4 "	19	361	14,44%	45,80%	54,20%
N° 4	4,75	263	10,52%	56,32%	43,68%
N° 40	0,425	698	27,92%	84,24%	15,76%
N° 60	0,25	224	8,96%	93,20%	6,80%
N° 100	0,15	94	3,76%	96,96%	3,04%
N°200	0,075	32	1,28%	98,24%	1,76%
Fondo		44	1,76%	100%	0,00%
		2500	100%		



$$D_{10} = 0,3$$

$$D_{30} = 1,5$$

$$D_{60} = 27$$

$$\frac{D_{60} - D_{10}}{D_{10}} = \frac{27 - 0,3}{0,3} = 90 > 4$$

$$\frac{D_{30} - D_{10}}{D_{10}} = \frac{1,5 - 0,3}{0,3} = 0,28 \text{ No se encuentra entre 1 y 3}$$

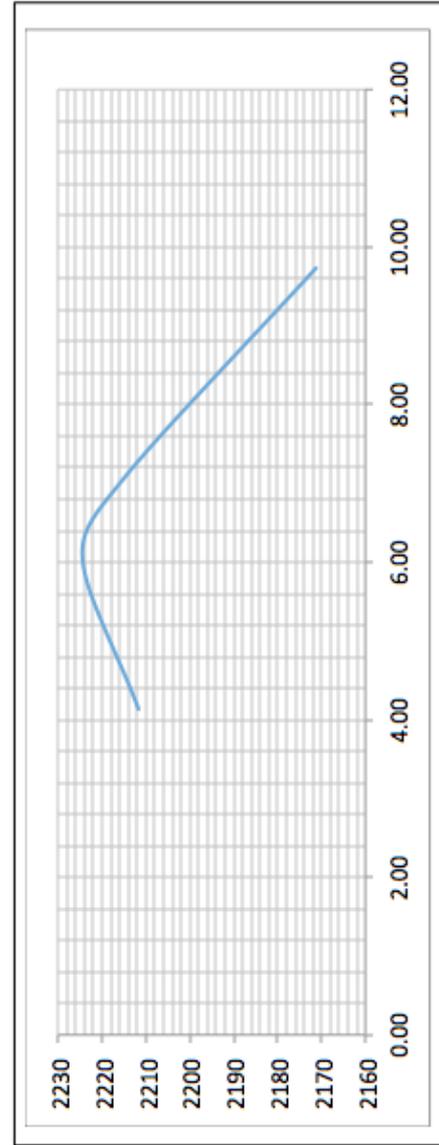
Según la clasificación S.U.C.S es GP (Grava mal graduada)

4.2 Ensayo Proctory

			Vol.cil.			0,000907	m3			MUESTRA 1							
AGUA,cm3	rec.no.	Wh+r	Ws+r	r	Ww	Ws	Ws	w %	W +cil.	W	1 + w/100	Ws	Dens. seca				
60	H1	29,2	28,5	11,6	0,7	16,9	4,14	6,245	2,089	1,041	2,005	2211,59					
120	A6	33,45	32,2	11,6	1,25	20,6	6,0	6,296	2,14	1,060	2,017	2224,448					
180	A3	34,3	32,8	11,6	1,5	21,2	7,07	6,307	2,151	1,070	2,00	2214,84					
240	F3	44,5	41,6	11,8	2,9	29,8	9,73	6,317	2,161	1,097	1,969	2171,28					

DSMAX = 2226 kg/m3

HUMEDAD = 6%

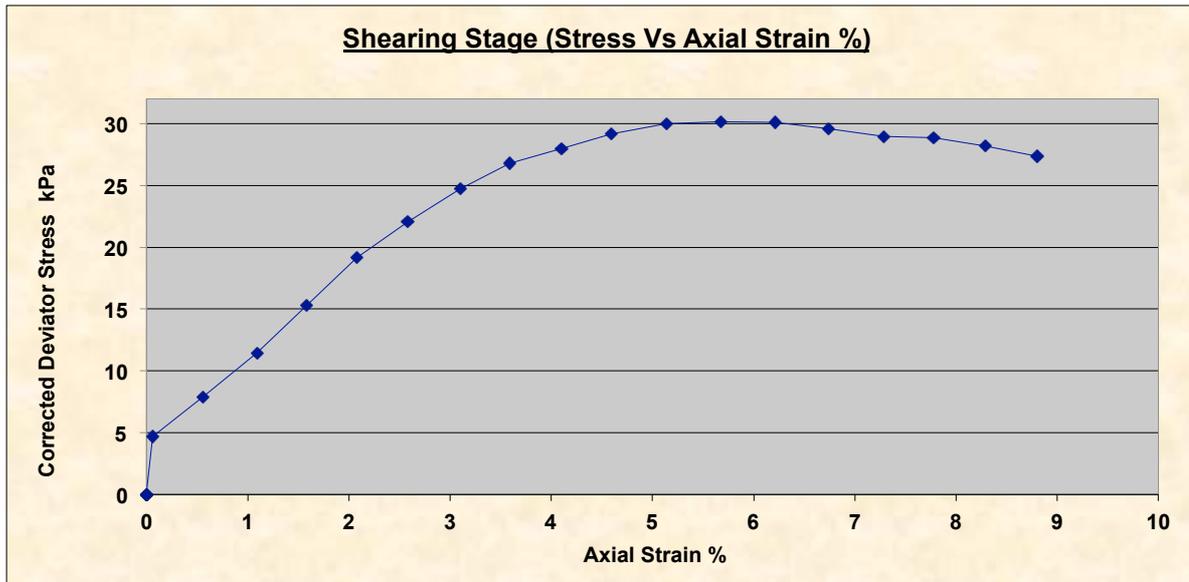


PRUEBA PROCTOR	Vol.cil.	0,000907 m3	MUESTRA 1	W	1 + w/100	Ws	Dens. seca
	Peso cil	4,156 Kg	k.	W +cil.	w %	Ws	k/m3
AGUA - VINAZA	Ws+r	Ww	r	W	w %	Ws	Dens. seca
100 - 0	47,5	2	11,5	6,285	5,88	34	2216,893299
75 - 25	42	1,8	11,4	6,2	6,25	28,8	2121,019521
50 - 50	35,9	1,6	11,2	6,37	6,93	23,1	2282,891947
25 - 75	38,9	1,7	11,6	6,226	6,64	25,6	2140,131093
0 - 100	44,8	1,8	11,5	6,1	5,71	31,5	2027,474001

4.3 Ensayos de compresión simple con muestra de suelo sin vinaza.

Test & Sample Details			
Standard	ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94	Sample Depth	0.00 m
Sample Type	Core sample	Sp. Gravity of Solids	2.65
Sample Description	Suelo sin vinaza	Lab. Temperature	26.0 deg.C
Variations from Procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Stage Reference	1
Initial Height	70.00 mm	Description	
Initial Diameter	35.00 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	14.57 kN/m ³	Orientation within Sample	

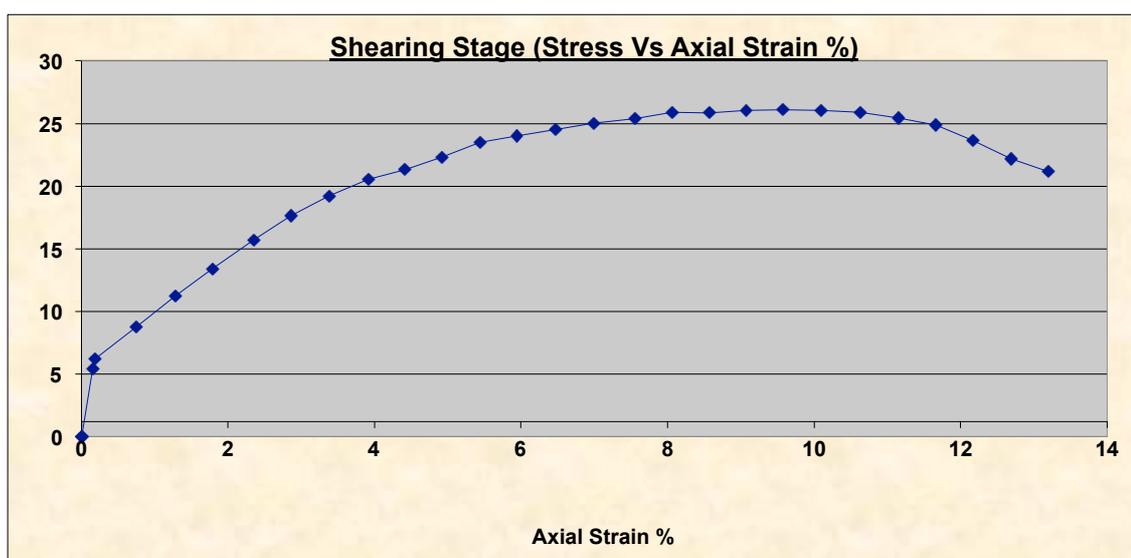


$q_u = 30,05 \text{ Kpa}$

4.3 Ensayo de Compresión Simple para suelo con vinaza

Test & Sample Details			
Standard	ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94	Sample Depth	0.00 m
Sample Type	Core sample	Sp. Gravity of Solids	2.65
Sample Description	Proporcion 25% agua y 75% vinaza	Lab. Temperature	26.0 deg.C
Variations from Procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Stage Reference	1
Initial Height	70.00 mm	Description	
Initial Diameter	35.00 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	23.31 kN/m ³	Orientation within Sample	
Comments			

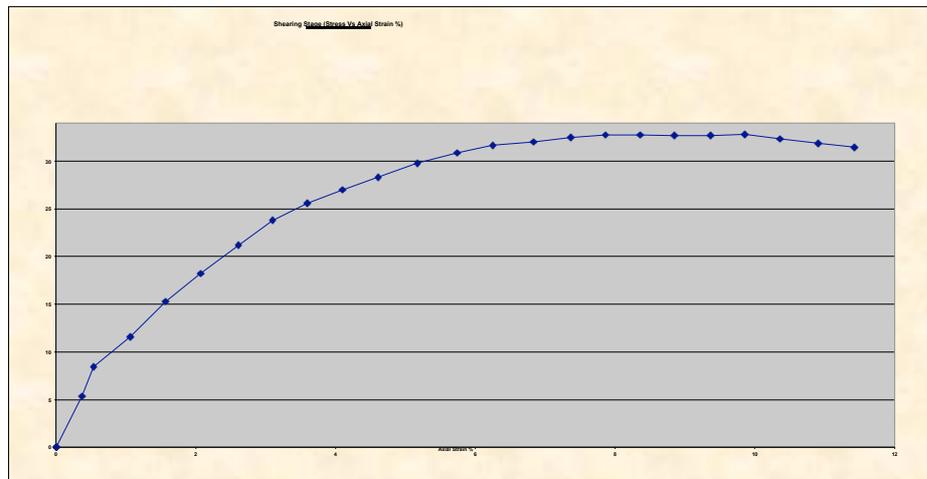


$q_u = 26,8 \text{ Kp}$

4.4. Ensayo de Compresión Simple para Suelo

Test & Sample Details			
Standard	ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94	Sample Depth	0.00 m
Sample Type	Core sample	Sp. Gravity of Solids	2.65
Sample Description	Proporcion 50% agua y 50 % vinaza	Lab. Temperature	26.0 deg.C
Variations from Procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	C	Stage Reference	1
Initial Height	70.00 mm	Description	
Initial Diameter	35.00 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	14.57 kN/m ³	Orientation within Sample	

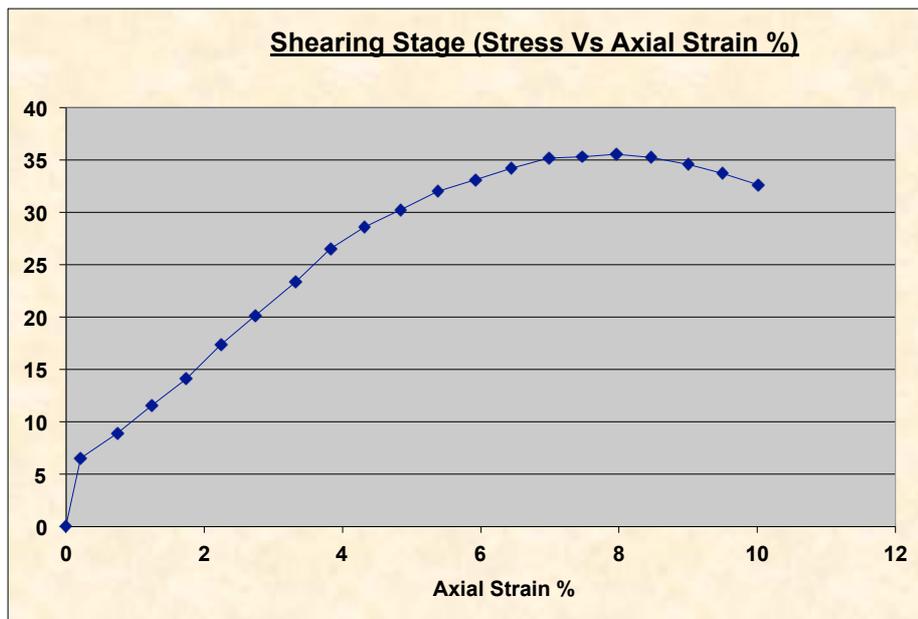


$q_u = 32,77 \text{ Kpa}$

4.5 Ensayo de Compresión Simple

Test & Sample Details			
Standard	ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94	Sample Depth	0.00 m
Sample Type	Core sample	Sp. Gravity of Solids	2.65
Sample Description	Proporcion 25% agua y 75% vinaza	Lab. Temperature	26.0 deg.C
Variations from Procedure	None		

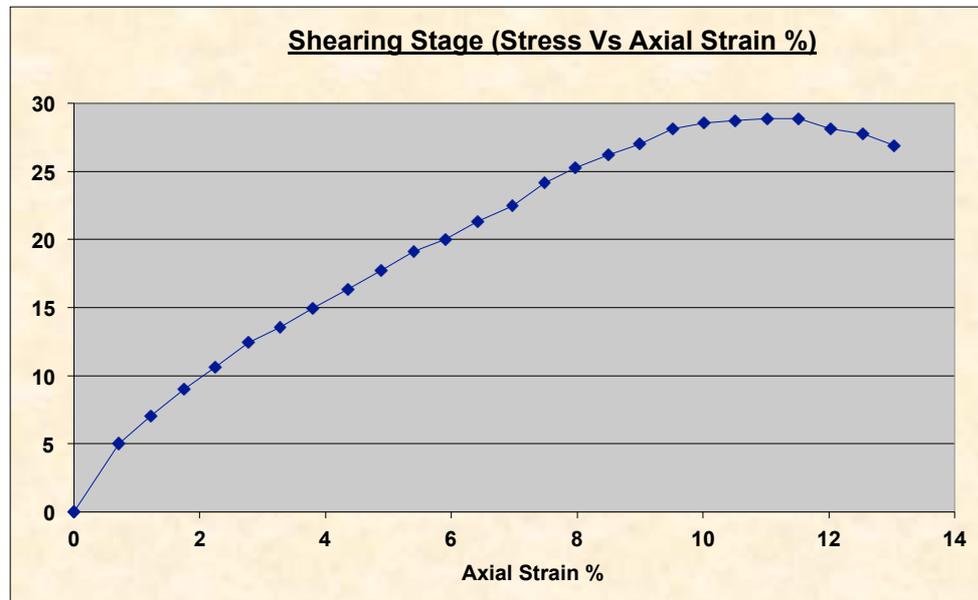
Specimen Details			
Specimen Reference	D	Stage Reference	1
Initial Height	70.00 mm	Description	
Initial Diameter	35.00 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	14.57 kN/m ³	Orientation within Sample	



4.6 Ensayo de Compresión Simple para Suelo

Test & Sample Details			
Standard	ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94	Sample Depth	0.00 m
Sample Type	Core sample	Sp. Gravity of Solids	2.65
Sample Description	0% agua y 100% vinaza	Lab. Temperature	26.0 deg.C
Variations from Procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	E	Stage Reference	1
Initial Height	70.00 mm	Description	
Initial Diameter	35.00 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	17.48 kN/m ³	Orientation within Sample	



4.8 Aplicación de Modelo Matemático

Con los datos obtenidos bajo la acción de diferentes porcentajes de polímeros al suelo Tipo GP se procede a aplicar el Método de los Mínimos Cuadrados para determinar el porcentaje óptimo de Vinaza para obtener la mayor resistencia.

Se aplica el modelo matemático:

$$Y = aX^2 + bX + c \text{ (Expresión 1)}$$

Donde:

Y: Es el valor de las ordenadas representado por la resistencia a compresión simple

X: Es el valor de porcentaje de Vinaza necesario para obtener la resistencia antes mencionada

$$A = \begin{vmatrix} 625 & 25 & 1 \\ 2500 & 50 & 1 \\ 5625 & 75 & 1 \\ 10000 & 100 & 1 \end{vmatrix}$$

La Matriz A representa el valor de los coeficientes de la expresión 1, donde en la variable x se reemplazaron los valores de los diferentes porcentajes a ser utilizados en los respectivos ensayos.

$$A_t = \begin{vmatrix} 625 & 2500 & 5625 & 10000 \\ 25 & 50 & 75 & 100 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

La Matriz A_t , es la Traspuesta de la Matriz A es decir se intercambian los valores de filas por columna

$$C = A_t * A = \begin{vmatrix} 138281250 & 1562500 & 18750 \\ 1562500 & 18750 & 250 \\ 18750 & 250 & 4 \end{vmatrix}$$

La Matriz C es el producto de la Matriz Traspuesta por la Matriz original (A)

$$C^{-1} = \begin{vmatrix} 6,4 \times 10^{-07} & -8 \times 10^{-05} & 0,002 \\ -8 \times 10^{-05} & 0,01032 & -0,27 \\ 0,002 & -0,27 & 7,75 \end{vmatrix}$$

Figura 1 es el cálculo de la inversa de la Matriz C.

$$P = \begin{vmatrix} 0,0004 & -0,0004 & -0,0004 & 0,0004 \\ -0,062 & 0,046 & 0,054 & -0,038 \\ 2,25 & -0,75 & -1,25 & 0,75 \end{vmatrix}$$

La Matriz P, es el Producto de la Inversa de la Matriz C por la Traspuesta de la Matriz A

La Matriz Y representa los valores obtenidos como resistencia según la experiencia en el laboratorio de cada uno de los porcentajes propuestos aplicados al suelo en estudio.

$$Y = \begin{vmatrix} 26,8 \\ 32,77 \\ 35,57 \\ 28,5 \end{vmatrix}$$

Para el cálculo de los valores a, b y c propuestos en la Expresión 1 se procede a multiplicar los valores de la Matriz P con la Matriz Y, para hallar finalmente la ecuación que se ajusta a la curva más probable.

$$X = \begin{matrix} a & -0,005216 \\ b & 0,6836 \\ c & 12,635 \end{matrix}$$

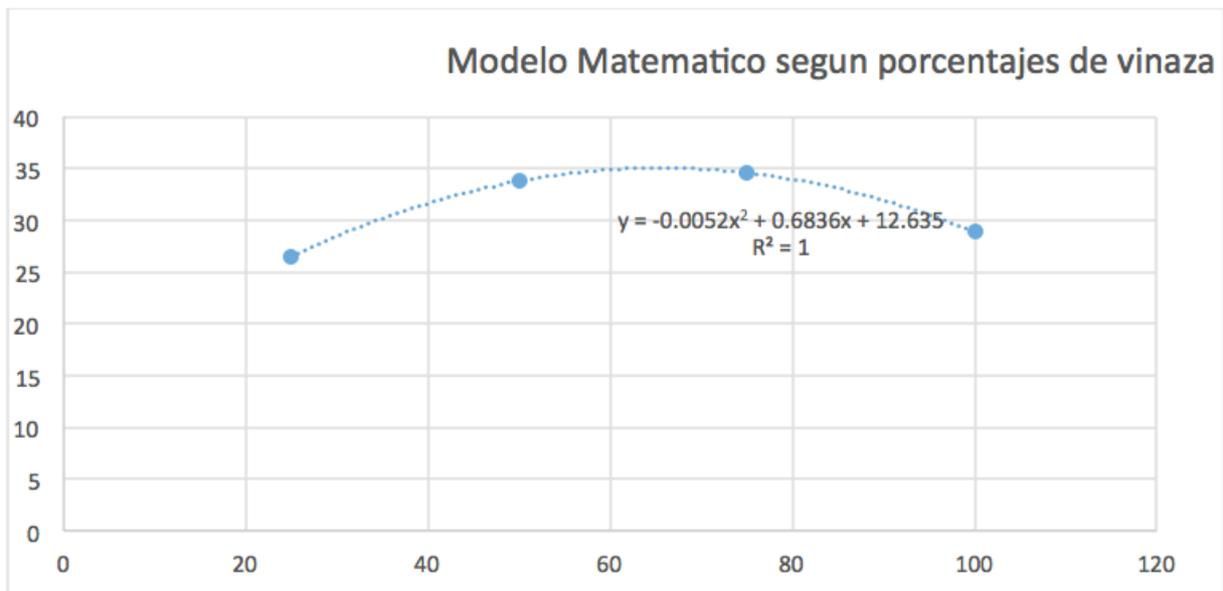
$$y = -0,005216x^2 + 0,6836x + 12,635 \text{ (Expresión 2)}$$

MAX= 65,53% Vinaza

X	Y (Teórico)	Y (Experimental)
25	26,8	26,465
50	32,77	33,775
75	35,57	34,565
100	28,5	28,835

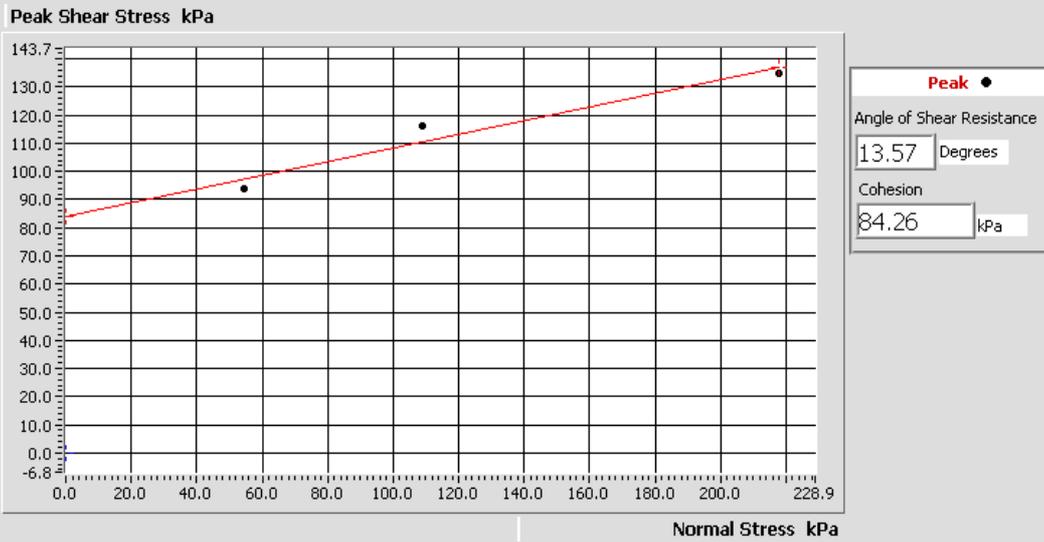
El valor máximo es la derivada de la Expresión 2 igualada a 0, donde se despeja el valor de x.

$$0,68362 - 0,005216x = 0 \Rightarrow x = 65,53\%$$

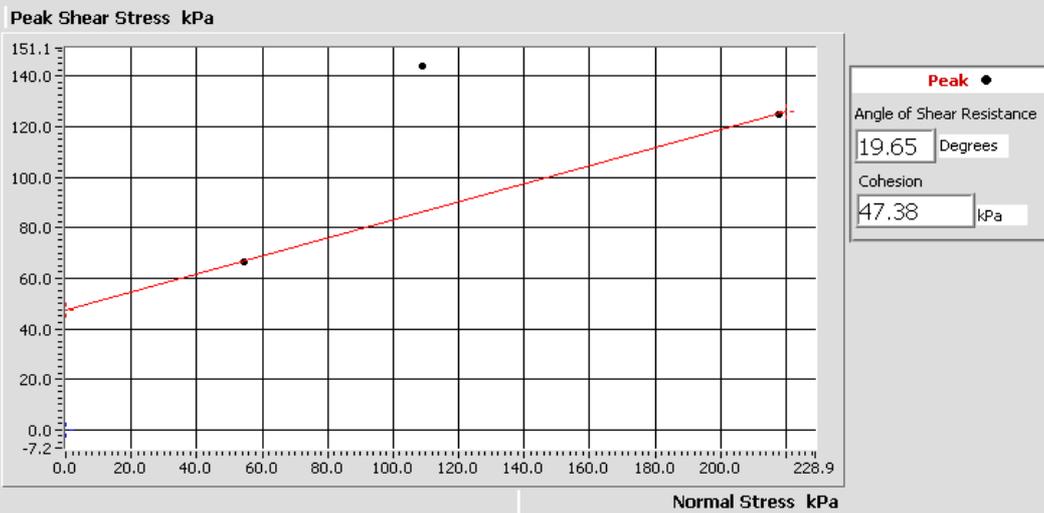


ENSAYO CORTE DIRECTO:

Maximum Shear Stress vs Normal Stress



Maximum Shear Stress vs Normal Stress

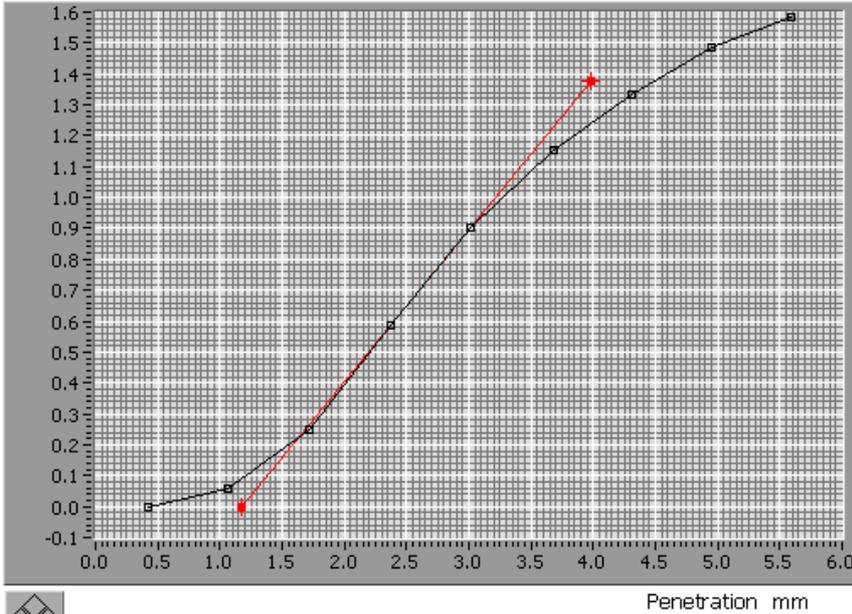


CBR (California Bearing Ratio)

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

Penetration Stage

Stress MPa



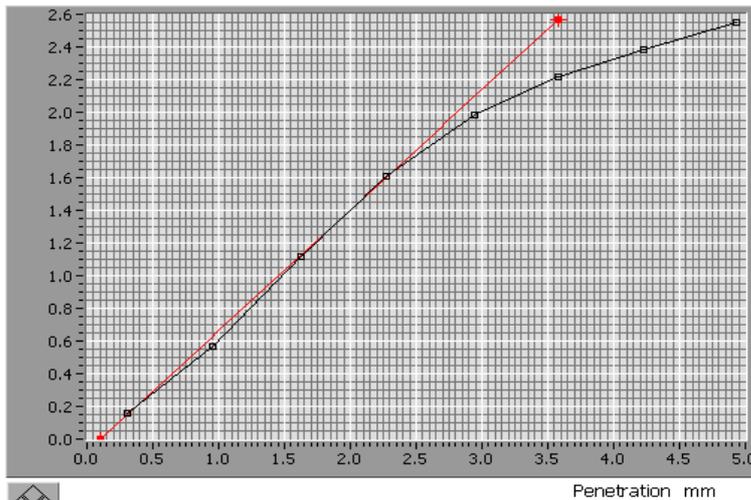
Penetration	<input type="text" value="2.54"/> mm	<input type="text" value="5.08"/> mm
Stress	<input type="text" value="1.2"/> MPa	<input type="text" value="1.6"/> MPa
Standard Stress	<input type="text" value="6.9"/> MPa	<input type="text" value="10.3"/> MPa
CBR	<input type="text" value="16.9"/> %	<input type="text" value="15.4"/> %



ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

Penetration Stage

Stress MPa

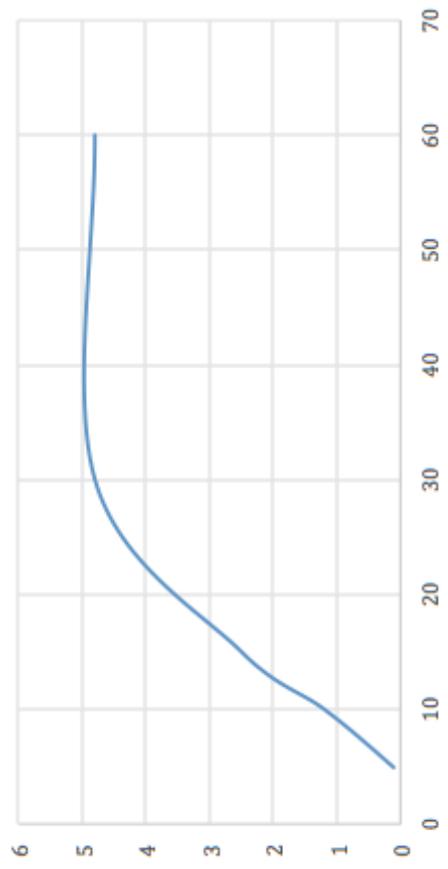


Penetration	<input type="text" value="2.54"/> mm	<input type="text" value="5.08"/> mm
Stress	<input type="text" value="1.8"/> MPa	<input type="text" value="2.6"/> MPa
Standard Stress	<input type="text" value="6.9"/> MPa	<input type="text" value="10.3"/> MPa
CBR	<input type="text" value="26.3"/> %	<input type="text" value="24.8"/> %



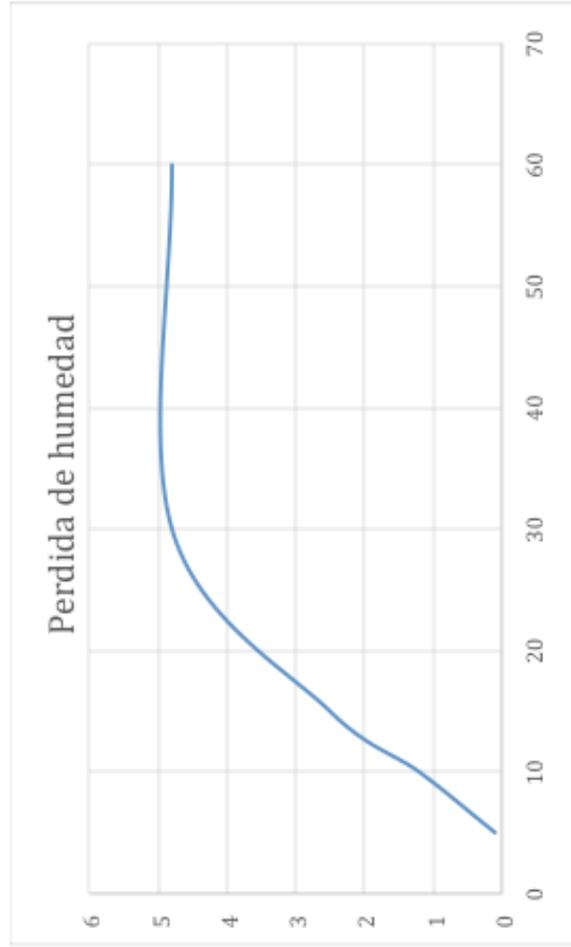
Agua	Vinaza	γ (Kg/m ³)	qu (Kpa)	%	% S	C (Kpa)	ϕ	CBR	%	PROCTOR (Kg/m ³)	w %	%
100%	0%	2000	30	12	84	14	16.9%			2216,89	5,88	
75%	25%	2050	26	13	63	16	18.2%	6	0.18	2121,01	6,25	5,92
50%	50%	2050	33	14	47	20	26.3%	53	2.97	2282,8	6,93	16,8
25%	75%	2034	36	13	45	14	24.3%	41	-3.47	2140,13	6,64	12,16
0%	100%	2025	29	12	40	12	15.1%	-12	-4.05	2027,47	5,71	-2,97

Perdida de humedad



Vinaza	Humedad
0%	5,88
25%	6,25
50%	6,93
75%	6,64
100%	5,71

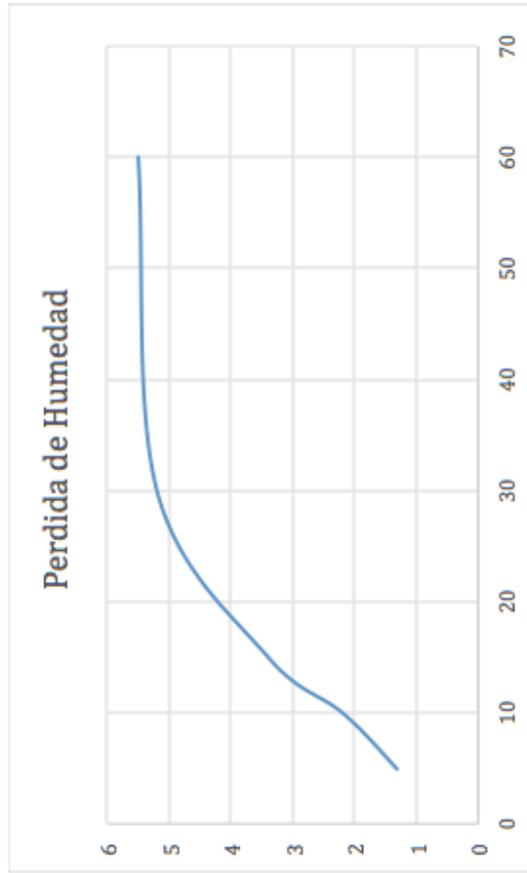
Con Vinaza



min	Humedad
5	0,1
10	1,2
15	2,5
30	4,8
60	4,8

Humedad final = 1,2 %

Sin vinaza



min	Humedad
5	1,3
10	2,2
15	3,4
30	5,2
60	5,5

Humedad final = 0,5 %

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. El material logró un aumento del ángulo de fricción y una disminución de la mitad de su cohesión.
2. La Humedad óptima del material GP con el que se trabajó en el presente trabajo de titulación a través de los ensayos de compresión simple y la aplicación del modelo matemático se determinó que la proporción de vinaza apropiada es de 50% de vinaza y 50% de agua.
3. La vinaza es un material que se diluye fácilmente en agua por lo que se facilitó su mezcla y su colocación sobre el material granular.
4. El CBR se incrementó en un 10% al trabajar con la proporción óptima de vinaza.
5. La vinaza se puede aprovechar en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos GP friccionantes utilizado en subrasantes de carreteras, mediante la dosificación del tipo de suelo.
6. La forma adecuada de colocar la vinaza sobre el suelo es de forma líquida lo que permite su homogenización y alcanzar conjuntamente la humedad óptima.
7. Para el porcentaje óptimo de Vinaza la cohesión disminuye en -40% y continúa reduciéndose con el incremento del contenido de Vinaza.
8. Para el porcentaje óptimo de vinaza, el ángulo de fricción se incrementa en +43%, luego disminuye al incrementar la vinaza.

9. Lo cual conduce a comportarse como suelo granular.
10. El mejoramiento del comportamiento del suelo GP se lograria solo en epoca de verano, cuando se presente las lluvias la vinaza adherida a la particula de suelo y migrara hacia abajo, dejando al suelo GP en condiciones iniciales, conduciendo a deformarse.

5.2. Recomendaciones

1. El intervalo de trabajo para mejores resultados según el tipo de suelo y la cantidad de finos que posea es de aproximadamente el 60% de vinaza.
2. Se recomienda trabajar con suelos GP que posean diferentes porcentajes de finos para observar los porcentajes de vinaza apropiados, para lograr un incremento de su resistencia y las formas de mejorar estos tipos de suelo en el campo de la construcción.
3. Analizar las metodologías constructivas apropiadas para mezclar en obra la vinaza con el agua y desarrollar formas alternas de aplicación.
4. El tratamiento de las subrasantes con vinaza se enfoca en carretas de cuarto orden con un TPDA 500 vehículos.
5. Al trabajar con suelos GP arcillosos es posible aplicar vinaza para determinar la aplicación del Método Triaxial.
6. Cada de vez que finalice la época invernal, deberá retornar las labores de escarificación, inclusión de vinaza y compactación de la superficie de rodadura; es decir será periódico el mejoramiento del suelo GP.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado, J., & Barros, R. (2011). *Universidad de la Costa*. Obtenido de http://www.academia.edu/8640502/estabilizacion_de_suelo
- Argan Web*. (2015). Obtenido de <http://www.aceitedearganweb.com/glicerina/>
- ARQHYS*. (2012). Recuperado el 12 de Enero de 2017, de <http://www.arqhys.com/construccion/subbase-construccion.html>
- Barek, L. (Marzo de 2015). Mejorar la capacidad portante de los suelos GP usando sábila, para la construcción de caminos rurales. Samborondon, Ecuador.
- Berry, P. (1993). *Mecánica de suelos GP*. McGraw-Hill.
- Caicedo, F. (2009). *Construdata*. Obtenido de http://www.construdata.com/Bc/Otros/Newsletter/carreteras_clasificacion_y_componentes.asp
- Cárdenas, E. (23 de Enero de 2017). *Deporte y Salud*. Obtenido de <http://deporteysalud.hola.com/alimentaciondeportiva/20170123/conoces-sorbitol/>
- Chaves, M. (1985). *DIECA*. Obtenido de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi544bEn_bTAhXB5SYKHc9jCHYQFgg6MAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.laica.co.cr%2Fbiblioteca%2Fservlet%2FDownloadServlet%3Fc%3D443%26s%3D1762%26d%3D1489&usq=AFQjCNEdyC6GhumEb
- Crespo, C. (2008). *Mecánica de suelos GP y cimentaciones* (Sexta ed.). México: Limusa.
- Das, B. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. (Quinta ed.). México: International Thompson Editores.
- Fredlund, D. G. (2012). *Unsaturated soil mechanics in engineering practice*. . John Wiley & Sons.
- Gerhardt, K. E. (2009). Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges. *Plant Science*, 176(1), 20-30.
- Gil, N. (2007). *Revista Virtual*. Obtenido de <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/acido-aconitico-obtenido-de-la-cana-de-azucar-produccion-y-aplicacion-industrial>
- Instituto del Cemento Portland Argentino*. (2015). Obtenido de <http://www.icpa.org.ar/publico/files/articulos-tecnicos/2015-07-Construccion-Suelo-Cemento.pdf>

- Juárez, E. (2004). *Mecánica de suelos GP*. (G. Noriega, Ed.) México: Limusa.
- Lara, J. (21 de Enero de 2010). *Vitonico*. Obtenido de <https://www.vitonica.com/entrenamiento/que-es-el-acido-lactico-y-por-que-nos-produce-fatiga>
- NanoSystems*. (1 de Julio de 2015). Obtenido de <http://nanosystems.com.es/2015/07/01/definicion-de-estabilizacion-de-suelos-GP-con-compact-to/>
- Radio Noticias*. (20 de Septiembre de 2011). Obtenido de <http://www.fmradiopoticias.com.ar/2011/09/la-vinaza-es-un-residuo-altamente.html>
- Rico, A. (2005). *La ingeniería de suelos GP en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas* (Vol. 1). México: Limusa.
- Rodríguez, J. (2010). *Bioquímica*. Obtenido de http://www.joaquinrodriguezpiaya.es/2_Bachillerato_Biologia/Bioquimica/Glucidos/index_glucidos.html
- Santamarina, C. &. (2008). Clasificación de suelos GP: fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones. *Georgia Institute of Technology*, 790.
- Terzaghi, K. P. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. . John Wiley & Sons.
- Toledo, A. (Enero de 2014). *PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA VINAZA EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS GP FRICCIONANTES UTILIZADOS EN SUBRASANTES EN CARRETERAS*. Guatemala.
- Universidad Nacional de Colombia*. (2011). Obtenido de <http://www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-17.pdf>