

INTRODUCCIÓN

El crecimiento del tráfico y peso de los vehículos que transitan por las vías principales de las ciudades y carreteras, hace necesario de un amplio enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de caminos , acorde con las necesidades creadas por el aumento de las repeticiones de carga, todo esto indica que es necesario adoptar estudios completos de las condiciones reales en las que se encuentra el suelo de la **sub-rasante** en el período de proyecto, para planificar una programación de trabajos en el período de construcción que permitan obtener una estructura que soporte las condiciones previstas durante su vida útil.

Contar con una buena infraestructura vial es de gran importancia; ya que del buen estado que éstas posean dependerá el desarrollo de: el comercio, el turismo, la industria, la educación y la salud.

El desarrollo de emulsiones asfálticas catiónicas trajo ventajas, para los servicios de conservación, sus características gracias a la versatilidad, facilidad de uso, la conveniencia del medio ambiente, y la compatibilidad con diferentes condiciones climáticas, es uno de los ligantes capaces de proporcionar, sin comprometer los principios de buena técnica.

Las Emulsiones asfálticas se empezaron a usar desde el año 1,920. Primero fueron las de tipo aniónico, que permitían un resultado satisfactorio con áridos calizos, y desde hace más de medio siglo, las de tipo catiónico, que amplían el campo de aplicación a todo tipo de áridos. Actualmente las emulsiones se diseñan, es decir, se produce una emulsión adecuada para un árido determinado, unas condiciones climatológicas y un sistema de puesta en obra. Esto ha hecho posible, que en la actualidad el Ingeniero disponga de un ligante perfeccionado a tal punto, que no requerirá de mejoradores de adherencia y tendrá una emulsión de características siempre diferentes y específicamente diseñadas para su obra

En América es notable el incremento de interés y consumo a partir de la crisis de 1974. En los EE.UU. se ha creado la asociación AEMA (Asphalt Emulsión

Manufacturers Association) que realiza una importante labor de coordinación y divulgación. En Latinoamérica hay que destacar el desarrollo de México, Brasil, Colombia, y Argentina, entre otros países, con unas industrias dinámicas en el desarrollo de las emulsiones.

En la actualidad con la amplia gama disponibles de emulsiones catiónicas, puede trabajarse de forma análoga con todo tipo de áridos. Esta ventaja es esencial en las operaciones de conservación, que forzosamente son más perentorias en invierno y en las zonas con climas húmedos.

La misma versatilidad de formulación permite adaptar la emulsión a características específicas o marginales de áridos diseñándola, quiere decir, que las emulsiones asfálticas usadas en Tarija, no pueden ser las mismas que utilizan en La Paz, Santa Cruz, porque sus áridos no son los mismos.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Situación problemática

En la práctica dentro de la construcción y mantenimiento de vías de comunicación, la utilización de materiales es fundamental, sin embargo en contraposición no siempre es posible que los materiales necesarios se los encuentre en los lugares aledaños al proyecto vial, ante esas circunstancias que generan un problema de incumplimiento a especificaciones técnicas de los materiales para diferentes etapas de la carretera, se busca soluciones alternativas aprovechando los suelos naturales que existen en el lugar del proyecto, de manera que usando otros materiales artificiales que las nuevas tecnologías han permitido fabricarlas y estas mezcladas con los materiales naturales puedan adquirir propiedades mecánicas mucho mejores, ese es caso de investigación del suelo arcilla-emulsión asfáltica.

Problema

¿Se puede establecer la combinación de arcilla con emulsión asfáltica, como material de construcción en obras civiles que tengan buenas condiciones en toda época del año?

3. HIPÓTESIS

Si se combina el suelo arcilloso con emulsiones asfálticas a diferentes proporciones, se podrá establecer de manera más precisa cuando esta estabilización tiene mejores condiciones físico-mecánicas que puedan ser utilizadas en las obras civiles.

4. CAMPO DE ACCIÓN

El campo de acción de la estabilización suelo arcilloso- emulsión es para todas las vías cuyo tráfico sea de baja intensidad, normalmente caminos de tierra que están en nuestro país dentro de las redes departamental y municipal.

5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizará porque es de gran importancia realizar un estudio de las características mecánicas de los suelos arcillosos mezclados con emulsiones asfálticas ya que en gran parte de nuestro departamento contamos con este tipo de suelo por eso esta investigación viene destinada a la estabilización suelo-emulsión y así poder sacar una conclusión observando si es factible o no realizar este tipo de estabilización para suelos arcillosos.

Lo primero que se observa es la escasez de materiales que existe in situ. El uso tradicional de agregados en la construcción de vías ha producido una escasez y se busca no dañar el medio ambiente ya que se extrae de ríos el material granular haciendo que el río pierda su rugosidad natural ocasionando un desequilibrio al medio ambiente; llegando a ocasionar desborde de los ríos.

Se busca contar con otra técnica u opción para el mantenimiento de las rutas, para así tener una mayor duración y un mejor comportamiento mecánico del suelo para así llegar a un óptimo desenvolvimiento de nuestras caminos extendiendo los tiempos de mantenimiento.

También es importante que este tipo de solución, no serían exclusivos de caminos de tierra, también llegarían a ser utilizados en el mejoramiento de sub-rasantes dentro de una estructura de pavimento para volúmenes medios y altos de tránsito, tratando de mejorar la capacidad estructural de estos materiales, impermeabilizando el resto de

capas de la estructura y evitando la migración de finos o contaminación del paquete estructural con la consecuente desmejora en su desempeño.

Será de gran ayuda económicamente para la construcción de caminos de nuestro departamento porque se bajan los costos en obra puesto que ya contaríamos con otro tipo de estabilización y no sólo con suelos granulares que se tenía que trasladar de canteras y eso tiene un gasto adicional.

Se realizará esta investigación para poder hacer una comparación de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso; ver si mejoran o no estas propiedades con la mezcla de emulsiones asfálticas realizando varios ensayos en laboratorios.

Si llegara a buen resultado esta investigación, se resolvería grandes problemas con la estabilización de las arcillas con emulsiones asfálticas porque mejoraría sus propiedades mecánicas y se acortarían los tiempos de construcción en caminos de tierra.

Sería de gran ayuda para nuestra facultad y en específico la carrera de Ingeniería Civil, así se enseñaría a futuros estudiantes el método de estudio del comportamiento mecánico suelo arcilla-emulsiones aplicándose a los laboratorios de asfaltos y suelos de nuestra carrera.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio del comportamiento físico-mecánico que tienen las arcillas cuando se combinan con emulsión asfáltica a diferentes proporciones, de tal manera, se pueda establecer como material de construcción en alguna área de la ingeniería civil.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener información sobre la utilización de las Emulsiones Asfálticas para la estabilización con suelos arcillosos.
- Determinar las principales características y propiedades físico-mecánicas del material arcilloso a ser utilizado.
- Realizar un análisis comparativo de las principales características y propiedades físico-mecánicas de los suelos en estudio, con y sin la adición de las Emulsiones Asfálticas.
- Determinar el porcentaje óptimo de adición de la emulsión asfáltica para el buen funcionamiento del suelo.
- Realizar briquetas de suelo con el porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica para determinar el desgaste del suelo simulando el frenado de un automóvil.
- Realizar el trabajo de gabinete necesario para realizar los cálculos correspondientes a cada ensayo y obtener los resultados de cada uno de ellos para así realizar el análisis respectivo.
- Realizar una comparación económica con otro tipo de estabilización para ver las ventajas y desventajas de la estabilización con material bituminoso.
- Interpretar y evaluar las conclusiones y recomendaciones de la investigación, en base a todos los resultados obtenidos, la conveniencia o no de la aplicación de las Emulsiones Asfálticas para la estabilización de caminos de tierra en la sub-rasante.

7. ALCANCE

En el presente trabajo se realizará un estudio del comportamiento mecánico del suelo-emulsión asfáltica mediante una estabilización con material bituminoso, su alcance estará limitado a los siguientes puntos considerados necesarios y suficientes, para el cumplimiento a cabalidad de su objetivo:

El alcance principal del trabajo estará dirigido hacia el estudio del comportamiento mecánico del suelo arcilla-emulsión asfáltica como estabilizador para sub-rasantes en obras civiles, esto con el fin de demostrar que la sub-rasante mejorada presenta mejores características físico mecánicas.

Adicionalmente se realizará un análisis económico del tipo de estabilización a desarrollar y compararlo económicamente con una estabilización suelo-suelo mejorado para poder determinar las ventajas y desventajas de este tipo de estabilización.

Este estudio se realizará en suelos arcillosos. Los cuales tienen una clasificación: A-6, A-7-6, y A-7-5 sobre los cuales el sistema AASHTO no se recomienda su uso como sub-rasantes, y lo que se busca en este estudio es evaluar las características mecánicas de los suelos arcillosos.

Se podrá determinar propiedades físicas y mecánicas, a través de los ensayos de: contenido de humedad del suelo, peso específico, granulometría, límites de atterberg, ensayos de compactación T-180, ensayo de CBR y Compresión simple confinada del suelo arcilla.

Se realizará una caracterización de mezclas de Suelo- Emulsión percibiendo la: dosificación, pruebas de suelo emulsión, variación de porcentajes de la emulsión asfáltica y poder encontrar un % óptimo de emulsión asfáltica.

Se realizarán briquetas de suelo mezclado con el % óptimo de emulsión asfáltica para poder determinar el desgaste del suelo arcilloso simulando el frenado de los automóviles.

Por último se realizará el análisis de resultados respectivo referente a todo el trabajo de investigación realizado, determinando las conclusiones de todo el trabajo, viendo finalmente la aplicabilidad o no de las Emulsiones Asfálticas para la estabilización de suelos arcillosos.

8. DISEÑO METODOLÓGICO

8.1 POBLACIÓN

Una Población, es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones por lo cual podemos mencionar que dentro de este trabajo de investigación nuestra población son las dos variables que se buscan estudiar:

El suelo denominado “Arcilla” y las emulsiones asfálticas catiónicas.

8.2 MUESTRA

- Se llama Muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla". Murria R. Spiegel (1991).

Con estos conceptos bien definidos podemos mencionar que la muestra de este trabajo de investigación viene determinada de la siguiente manera:

El suelo arcilla mezclado con diferentes porcentajes de Emulsión Asfáltica realizando los ensayos de prueba de rotura y desgaste.

8.3 MUESTREO

El tipo de muestreo que se realizará es un muestreo aleatorio o de probabilidad.

En este todos los elementos de la población tienen la oportunidad de ser escogidos en la muestra.

Este estudio se realizará en suelos finos. Los cuales tienen una clasificación: A-6, A-7-6, y A-7-5 sobre los cuales el sistema AASHTO nos recomienda su uso como subrasantes, y lo que se busca en este estudio es evaluar las características mecánicas de los suelos arcillosos.

8.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES.

Dentro de mi proyecto de grado podemos definir como variable independiente a los porcentajes de arcilla y emulsión asfáltica como combinación, como variable dependiente los ensayos físico-mecánicos del suelo en estudio.

9. MEDIOS

Este trabajo de investigación constara de dos partes:

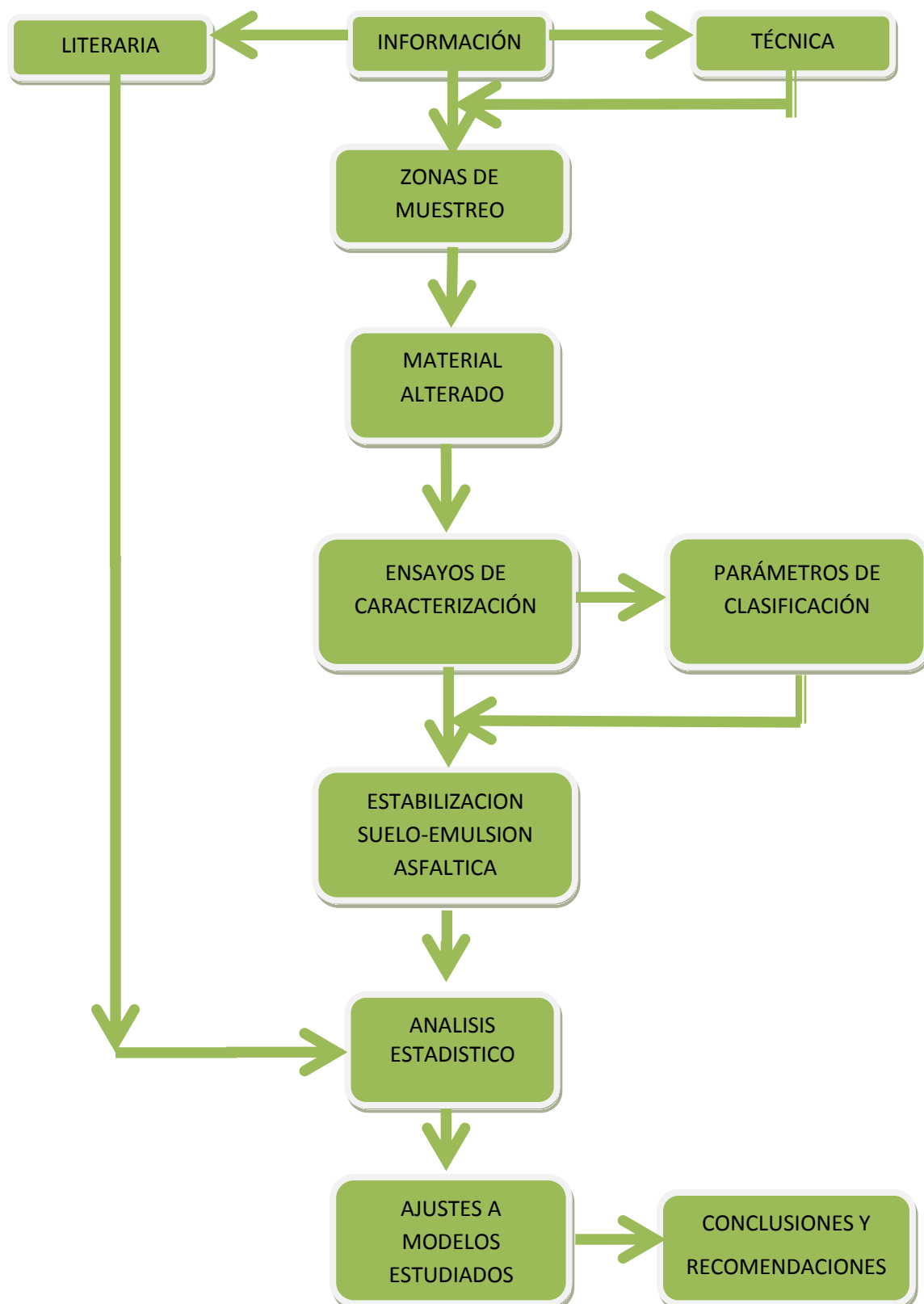
- Primero la parte teórica, donde se recolectara la información necesaria de diferentes bibliografías para realizar la investigación.
- Segundo la parte práctica, en la cual se realizará los ensayos de laboratorio de suelos y asfaltos: Determinación de la humedad del suelo, peso específico del suelo, límites de Atterberg, clasificación de suelos, ensayos de compactación, CBR, Compresión simple.

Se recolectarán las muestras de la provincia Cercado.

Para esta investigación se trabajará con suelos finos.

El equipo que se utilizará será suministrado por el laboratorio de suelos y hormigones de la carrera de Ing. Civil de la facultad de Ciencias y Tecnología en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, y el laboratorio de asfaltos de la carrera de Ing. Civil de la facultad de Ciencias y Tecnología en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

10. MAPA CONCEPTUAL DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN



CAPÍTULO II COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELO ARCILLA-EMULSIONES ASFÁLTICAS.

2.1 INTRODUCCIÓN

El estudio es el desarrollo de aptitudes y habilidades mediante la incorporación de conocimientos nuevos.

Es por ello que se han desarrollado una serie de estrategias con el fin de que la tarea de estudiar sea más simple y que se logren alcanzar mejores resultados. Si bien estos métodos son variados, es posible destacar una serie de pautas recurrentes.

El estudio de mecánica de suelos, sirve para determinar el conjunto de características que nos permitan obtener una concepción razonable del comportamiento mecánico del suelo en estudio.

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo. La arcilla es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata, endureciéndose mucho. Desde el punto de vista químico está compuesta de silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) e hidrógeno (H). Las partículas que conforman la arcilla son de menos de 0,002 mm.

Las arcillas tienen capacidad de intercambio catiónico, es decir son capaces de cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes.

La capacidad de absorción es otra de las propiedades de las arcillas ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar o en los canales estructurales.

En general, una emulsión es una dispersión de dos elementos insolubles uno en el otro, considerando esto, podemos definir una emulsión desde el punto de vista físico-químico, como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, no miscibles entre sí. La emulsión asfáltica es un producto conseguido por la dispersión de una fase asfáltica en una base acuosa, donde las partículas quedan electrizadas, por lo tanto los líquidos que la forman constituyen dos partes que se denominan:

Fase dispersa o discontinua y Fase dispersante o continua.

Una emulsión tiene tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. En algunas ocasiones el agente emulsificante puede contener un estabilizador. En aplicaciones especiales como es el caso del Micropavimento se agrega un ingrediente más, el polímero.

En consecuencia lo que se busca en este Proyecto de Grado es desarrollar aptitudes y habilidades para la determinación de las propiedades mecánicas del suelo como ser: Plasticidad, Estabilidad Volumétrica, Resistencia, Permeabilidad, Compresibilidad y Durabilidad de la arcilla existente en nuestro departamento, mezclándolo con un elemento asfáltico denominado emulsión asfáltica catiónica; para así determinar una estabilización con material bituminoso y observar si mejora o no sus propiedades mecánicas de nuestro suelo en estudio.

2.2 ARCILLAS ¹

MINERALES DE ARCILLA

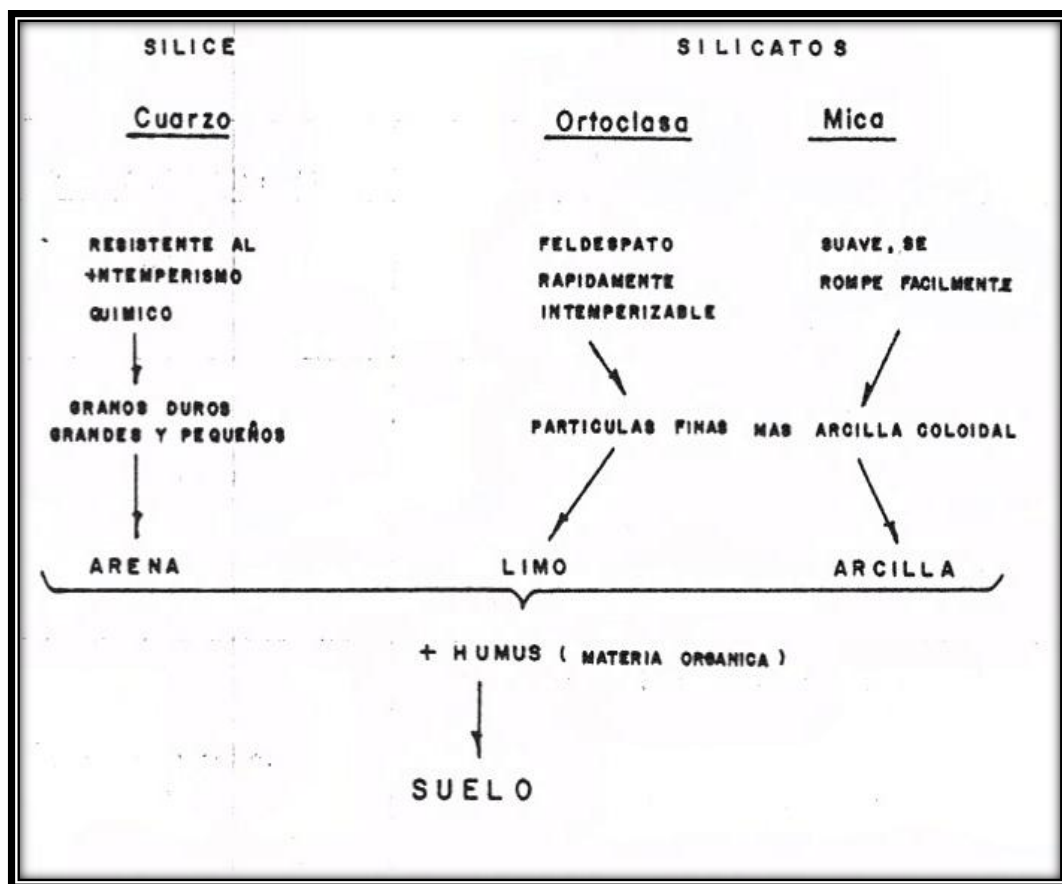
Los minerales de la arcilla tales como la kaolinita ($H_4Al_2Si_2O_9$) son altamente coloidales. Son formados en primer término, por el intemperismo químico de los minerales primarios. Los minerales de la arcilla no suministran nutrientes directamente para las plantas pero tienen la capacidad de adsorber o retener iones nutrientes en sus superficies. Son una parte de los materiales física y químicamente activos en los suelos.

Los silicatos al ser sometidos a hidratación convergen como producto terminal (participan formando) a las arcillas (partículas con diámetros menores a $2\ \mu$ “micras”). Las rocas ígneas derivan en Basalto y el Granito. El Basalto está formado por silicatos principalmente sin cuarzo, de tal manera que los suelos derivados de este tendrán arcillas y limos. El granito por su parte contiene: cuarzo y feldespato ortoclasa, junto con micas (esto es Sílice y silicatos), que producirán arenas, limos y arcillas.

Brade-Birks (1962) hizo una representación diagramática que resume lo expuesto y se presenta en la FIGURA 2.1

¹ Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

FIGURA 2.1 Relación Suelo- Partículas- Minerales (Brade, 1962)



Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

Los procesos químicos del intemperismo son mucho más importantes en la formación de las arcillas. Por su tamaño, las arcillas (diámetro menor a $2\ \mu\text{m}$) son consideradas como coloides y como tales nos interesan dos de sus propiedades, específicamente su carga eléctrica (la cual es principalmente negativa) y su gran superficie específica.

Todos los coloides se cargan eléctricamente, las arcillas y en general los coloides del suelo están cargados en forma negativa. De tal forma que atraen cationes y si recordamos a los nutrientes esenciales para las plantas, la mayoría son elementos de carga positiva (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+}) o tienden a formar radicales positivos (NH_4^+). Esto da por resultado que muchos de los nutrientes estén retenidos por arcillas o coloides

del suelo y dada su cercanía y/o contacto directo con las raíces de la planta es posible que se provoque un intercambio de nutrimentos con las raíces, es por esto que estos minerales son de gran importancia.

Por otra parte la otra propiedad fundamental de la arcillas es que poseen por su menor tamaño una mayor superficie específica, dando por resultado que las arcillas expongan mucha superficie donde pueden realizarse, entre otras, reacciones de intercambio catiónico. De manera general, son reconocidos dos grupos de arcillas: las silicatadas características de regiones templadas y las arcillas de óxido e hidróxidos de hierro y aluminio, encontradas en las zonas tropicales y semitropicales.

A través de los estudios de Rayos X pudo diferenciarse a varios grupos de arcillas y sus propiedades características. La clasificación de arcillas que adoptaremos se presenta a continuación:

FIGURA 2.2 La clasificación de arcillas



Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

2.2.1 ORIGEN DE LAS ARCILLAS SILICATADAS.

Con base en las propiedades cristalinas de las arcillas se han definido en forma más precisa tres grandes grupos de materiales silicatados: Kaolinita, montmorillonita y micas hidratadas.

Además de estas arcillas, en otro grupo importante, que no tiene denominación se tiene a la clorita y a la vermiculita.

Entre las arcillas no silicatadas, se han clasificado a las de óxidos e hidróxidos de: hierro (goethita y limonita) y aluminio (gibbsita).

Las arcillas silicatadas se forman con más frecuencia a partir de ciertos minerales como, feldespatos, micas, anfíbolos y piroxenas. La transformación de estos minerales en arcillas considera dos procesos distintos.

1. Por una alteración (intemperismo) y degradación físico-química de los minerales primarios. Este intemperismo en el caso de las arcillas principalmente se da por ataque químico que provoca una renovación de constituyentes solubles y sustitución de otros en su estructura (en su red cristalina). Ejemplo: alteración de la muscovita y su transformación a mica hidratada. La muscovita, mineral primario de tipo 2:1 es de estructura rígida. Al iniciarse el proceso de hidratación algunos átomos de K se pierden de la estructura cristalina y otras moléculas de H_2O entran en la red produciéndole un cristal menos rígido. También se incrementa relativamente al contenido de sílice en comparación con el aluminio en lo que se llama estrato silíceo.

2. Por una descomposición de los minerales originarios y la posterior recristalización de algunos de sus productos de descomposición. Este proceso es también llamado neo formación en la literatura francesa.

La Recristalización.- La cristalización de las arcillas silíceas se da a partir de los productos de intemperización solubles y provenientes de otros minerales es aún más importante en la génesis de la arcilla que su propia alteración. Un

ejemplo es la formación de kaolinita a partir de soluciones que contienen alúmina y sílice soluble.

Este proceso de recristalización inserta un cambio completo de la forma estructural de los minerales originarios y es el resultado de una intemperización mayor a la requerida en el proceso de alteración.

Además, esta cristalización hace posible la formación de varias arcillas a partir de un sólo mineral dado. El coloide silícico verdadero que se forma depende de las condiciones de intemperización y de los iones presentes en la solución meteorizada cuando ocurre la cristalización.

Hay diferencias entre los estados de intemperización de los silicatos mientras que la kaolinita representa el más avanzado, la montmorillonita corresponde a un lugar intermedio de la intemperización.

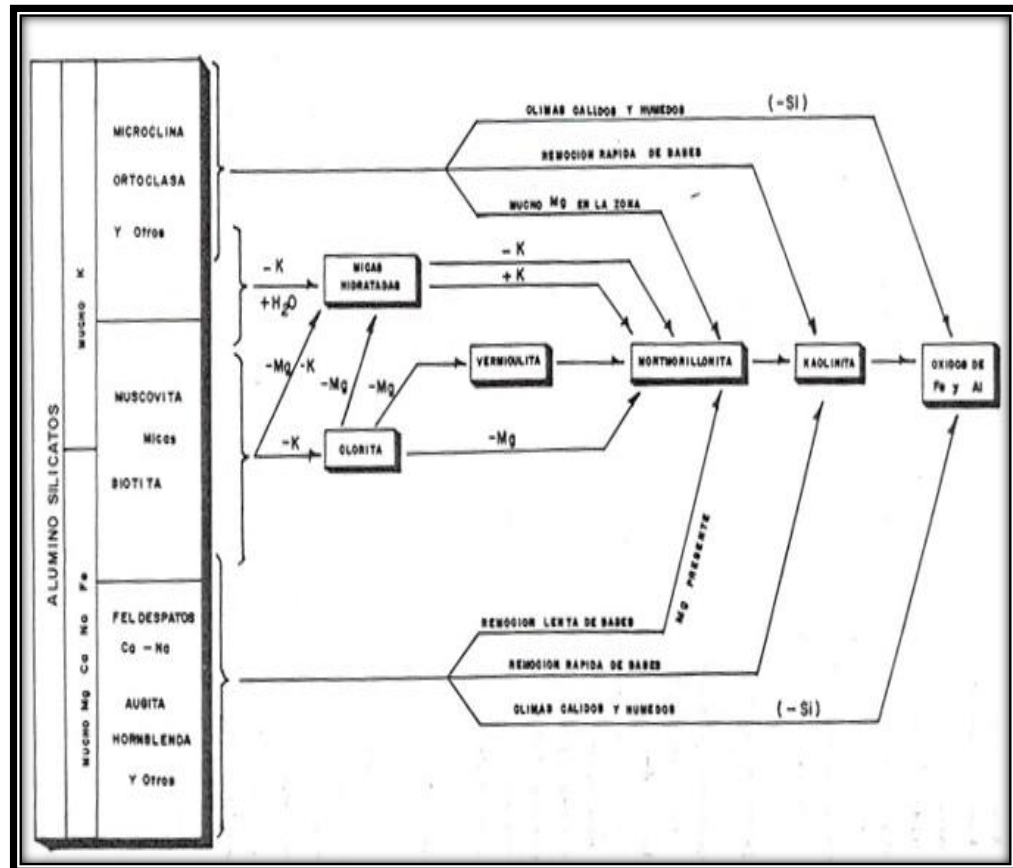
Respecto al origen de las arcillas individuales.- Las micas hidratadas, representadas por la illita, provienen en condiciones favorables de la alteración de las micas. La illita a la moscovita tanto en su estructura como en características, aparentemente sólo una leve alteración es necesaria para generar a la illita.

En otros casos la illita aparentemente se forma de minerales originales como los feldespatos potásicos por recristalización en presencia de abundante potasio. Aun la illita puede ser formada de la montmorillonita cuando ésta está en presencia de abundante potasio. Más común sin embargo, es la reacción inversa cuando la illita se intemperiza pasando a montmorillonita por pérdida de la mayor parte de su potasio (FIGURA. 2.3).

La clorita se forma en apariencia por alteración de la biotita, una mica magnésica rica en Fe. En este cambio se pierde Mg, K y Fe. Una alteración posterior a la intemperización puede producir la illita o la vermiculita, que a su vez pueden ser alteradas pasando a montmorillonita.

La montmorillonita puede formarse por recristalización de varios minerales si las condiciones son las apropiadas como: condiciones de intemperización moderadas (comúnmente el paso de condiciones ácidas a alcalinas), una relativa abundancia de Mg y lixiviación moderada.

FIGURA 2.3 Condiciones generales para la formación de la Arcilla



Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

Por alteración de otras arcillas silicatadas como la clorita, illita y vermiculita puede formarse también la montmorillonita.

La kaolinita representa el estado más avanzado de intemperización que las otras arcillas silicatadas. Se forma por la descomposición de silicatos bajo condiciones de intemperización desde una moderada a fuerte acidez que produce la remoción de elementos alcalinos y alcalinotérreos. Los productos solubles de Al y Si pueden recristalizarse bajo determinadas condiciones y

formar a la kaolinita. La kaolinita a su vez está sujeta a descomposición sobre todo en los trópicos formándose los óxidos aluminicos y sílice hidratado soluble. Esta arcilla predomina en suelos tropicales o semitropicales.

2.2.2. CARACTERISTICAS DE LAS ARCILLAS CON ÓXIDOS HIDRATADOS DE HIERRO “Fe” Y ALUMINIO “Al”

Las arcillas con hidróxidos son importantes por dos razones.

1. En regiones templadas se encuentran mezcladas con las arcillas silicatadas
2. Este tipo de coloides frecuentemente predomina en los trópicos.

Los suelos rojos y amarillos de estas regiones, están constituidos en gran parte por hidróxidos de Fe (goethita y limonita) y Al (gibbsite) de varios tipos.

Frecuentemente se representan como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3$ pero las fórmulas más correctas probablemente serían $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. X indica que el agua de hidratación asociada es diferente para diversos minerales. En los suelos, la gibbsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) es sin duda el óxido de Al dominante mientras que la goethita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y la limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) son los hidróxidos más importantes del Fe. El número de cargas negativas por micela es muy pequeño y tienen menor poder de adsorción que la kaolinita.

Muchos óxidos hidratados no son tan viscosos, plásticos y cohesivos como son los silicatos, por eso sus condiciones físicas son mejores.

2.2.3 ESTRUCTURA DE LOS MINERALES SILICATADOS DE LA ARCILLA.²

Generalmente las arcillas son de forma laminar. Esto indica que exponen una gran extensión de superficie por peso unitario.

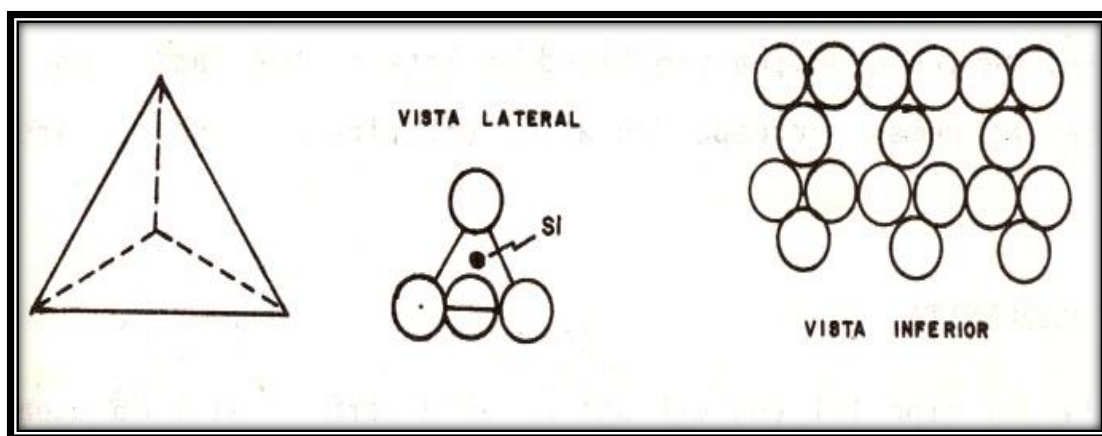
Los minerales silicatados de la arcilla son de naturaleza cristalina.

² Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

La estructura del cristal se llama látice o retículo que está constituido de dos clases de estructuras fundamentales: los tetraedros de sílice y los octaedros de alúmina.

Los tetraedros de sílice contienen un átomo de Si rodeado de 4 átomos de oxígeno que forman las 4 esquinas del tetraedro. El Si ocupa el intersticio del centro. La carga de tal unidad es -4. La capa tiene una carga negativa neta y su fórmula es $n(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$.

FIGURA 2.4 Tetraedro con un átomo de Si en el centro

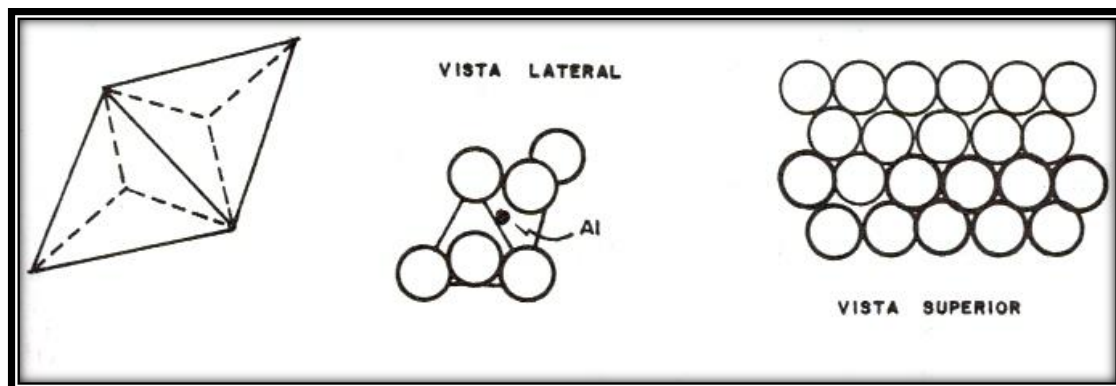


Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

El octaedro está constituido por 6 hidróxilos alrededor de un átomo de Al. Este acomodamiento puede visualizarse en la forma siguiente: 4 hidróxilos formando un cuadrado. Un octaedro individual tiene la fórmula $\text{Al}(\text{OH})_6^{3-}$.

Los octaedros de Al adyacentes comparten hidróxilos comunes para formar una capa de octaedros en forma similar al comportamiento del oxígeno en la capa tetraédrica del Si.

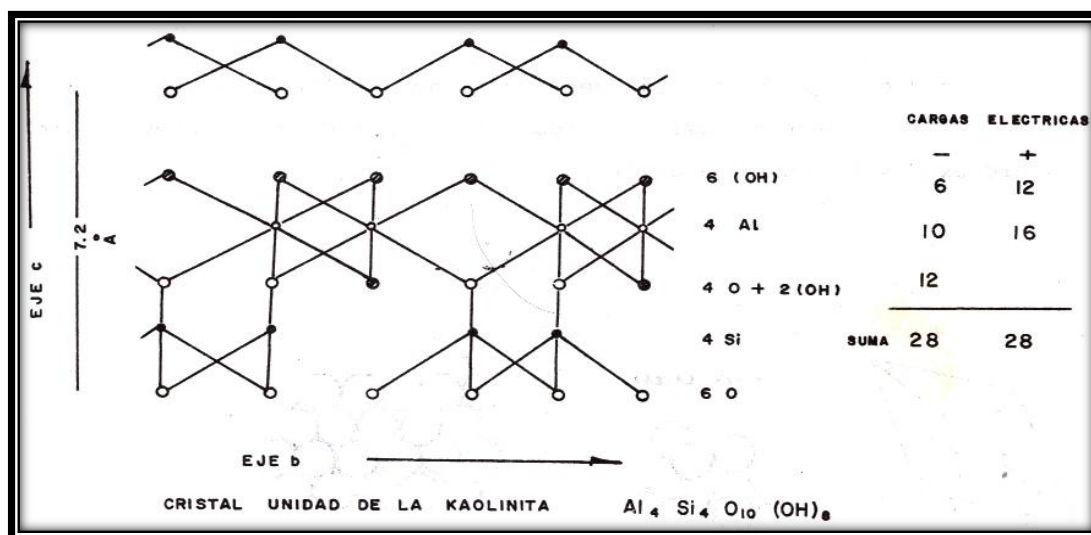
Como ha sido indicado las arcillas tienen cargas negativas, las cuales atraen cationes y el número total de cationes retenidos en la superficie de la arcilla, se expresan como meq/100 g de suelo, a esta propiedad química se le denomina Capacidad de Intercambio Catiónico.

FIGURA 2.5 Octaedro con un átomo de Al en el centro

Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

2.2.4 GRUPO DE LA ARCILLA KAOLINITA.

Es la arcilla del tipo 1:1 (contiene un estrato de Si y otro de Al). Su capacidad de intercambio es reducida, de unos 10 meq/100 g de suelo.

FIGURA 2.6 Estructura de la Kaolinita (Arcilla del tipo 1:1)³

Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

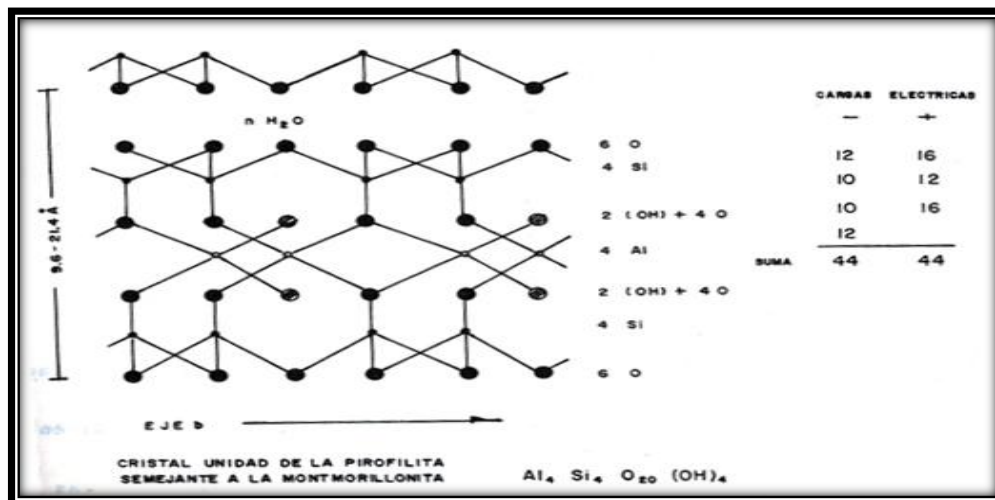
³ Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

2.2.5 GRUPO DE LA ARCILLA MONTMORILLONITA

Este grupo incluye otros minerales silicatados como son la beidellita, nontronita, hectorita y saponita. Son arcillas de tipo 2:1, el estrato de Al está entre dos estratos tetraédricos de Si. Los O y radicales OH se comparten en más de una unidad tetraédrica y octaédrica respectivamente, para formar la sucesión de unidades estructurales.

Este tipo de arcilla se expande y contrae fácilmente al humedecerse y secarse para dar un efecto de "acordeón". Las partículas tienden a ser más pequeñas que las de la kaolinita y los suelos con alto contenido de este tipo de arcilla se fisuran (agrietan) al secarse y tienden a ser impermeables a humedecerse. El suelo exhibe características de plasticidad muy acentuada. Esto también indica que en la superficie interior y en el exterior de las partículas hay posibilidades de adsorción del agua y de nutrientes.

FIGURA 2.7 Estructura de la Montmotillonita (Arcilla del tipo 2:1)



Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

La sustitución del Al octaédrico por Mg en el retículo cristalino produce la estructura de la montmorillonita. Cuando el silicio tetraédrico es substituido por el Al se genera la beidellita. En cambio cuando el Al octaédrico es substituido por el hierro se tiene la nontronita.

La capacidad de intercambio de cationes de esta arcilla es de unos 100 meq/100 g de material. La montmorillonita y minerales de este grupo también se encuentran en clima semi-árido de escasa lixiviación y material rico en cationes básicos principalmente Ca y Mg, en donde el pH es alcalino.

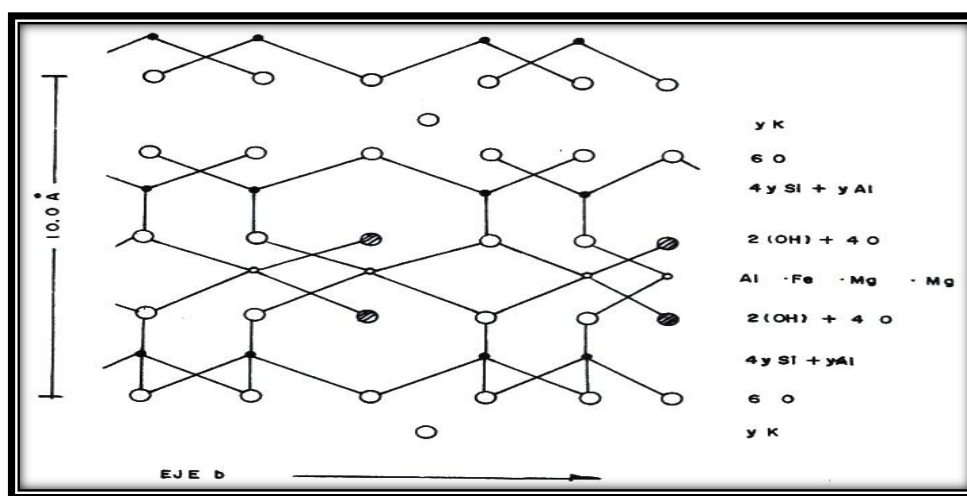
2.2.6 GRUPO DE LA ILLITA

A este mineral también se le denomina mica hidratada e hidrómica.

Otros minerales de este grupo son la Muscovita, Seladonita, Biotita y Claucionita.

Se indica que el origen de las illitas probablemente procede de las micas por un proceso químico con pérdida de K. Estos minerales también son de retículo 2:1 donde los iones de K son alojados en los huecos que dejan los oxígenos de las superficies internas entre unidades con un retículo cristalino 2:1 parcialmente expandible, tiene una magnitud de eje c de 14 a 15 Armstrong por lo que se considera en posición intermedia entre la illita y la Montmorillonita, aunque en sus propiedades de intercambio son diferentes ya que supera a la montmorillonita (150 meq/100 g). Es un mineral no abundante en los suelos. Ver cuadro siguiente.

FIGURA 2.8 Estructura de la Illita.



Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

Barshad ha indicado que la vermiculita tiene alrededor de 50% más de CIC que la Montmorillonita. Investigaciones sobre las propiedades del humus muestran que sus propiedades de intercambio pueden variar de 100 a 300 meq/100 g de material. Las siguientes capacidades de intercambio son sugeridas para el humus y los minerales arcillosos más importantes.

2.2.7. ORIGEN DE LAS CARGAS NEGATIVAS DE LOS COLOIDES (MINERALES ARCILLOSOS).

El origen de las cargas negativas de los coloides minerales (arcillas) puede explicarse a partir de tres mecanismos:

1. Sustitución isomórfica. Durante la formación de la montmorillonita algunos de los átomos de Al del estrato octaédrico son reemplazados por el Mg. Esto puede ocurrir porque los dos átomos son similares en tamaño así que el reemplazamiento de 1/6 de los átomos de Al no causan distorsión excesiva en el retículo.

Como la valencia del retículo original del Al es 3^+ y la valencia del Mg es 2^+ cada sustitución deja el retículo con una carga negativa insatisfecha. Este es una carga negativa permanente en el estrato octaédrico y es satisfecha por cationes que permanecen en el exterior de la partícula o en estrecha proximidad de la superficie como el agua adsorbida. Así pues una de las funciones más importantes de la arcilla es retener centenares de kg de iones nutrientes en la capa arable. Estos iones son retenidos con suficiente fuerza para retardar su movilización en el suelo por efecto de los lavados pero pueden ser aún fácilmente utilizados por las plantas. Ya se han indicado substituciones isomórficas en algunos minerales de la arcilla. En el cuadro 3.9 se muestran algunas propiedades de los minerales arcillosos.

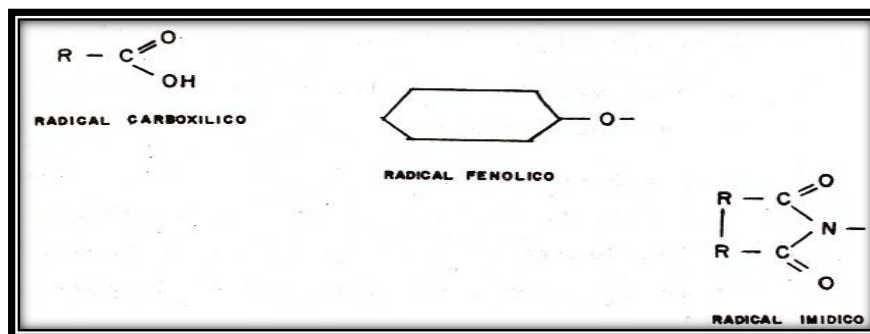
FIGURA 2.9 Propiedades generales de los minerales arcillosos.⁴

Arcilla	Relación	Tamaño relativo de partículas	CIC meq/100g	Substit. isomórfica
Kaolinita	1:1	Grande	8	Poco o nada
Montmorillonita	2:1	Pequeño	100	Mg x Al (Σ)
Illita	2:1	Intermedio	30	Al x Si (Δ)

Fuente: Mecánica de Suelos; Whitlow, 1993

La disociación de los iones H de radicales OH expuestos en las aristas de las partículas de arcilla, se consideran como una fuente adicional de sitios de adsorción de carga negativa. La ruptura de ligamentos en las aristas de las partículas dan origen tanto a la adsorción de iones positivos y negativos en todos los minerales arcillosos e inclusive a la orientación y retención de las moléculas de agua.

Los coloides orgánicos usualmente contienen mayores cantidades de cargas negativas que parecen aumentar con la descomposición de la Materia Orgánica (**M.O.**) Estas cargas electroquímicas pueden originarse de iones H de los Grupos carboxilo, fenólico e imídico, según las expresiones, que se muestran a continuación:

FIGURA 2.10 Ionización radicales.

⁴ Fuente: Mecánica de Suelos; Whitlow, 1993

La ionización de estos radicales es mayor en el grupo carboxilo (54% de las cargas negativas de la **M.O.**), sigue el grupo fenólico (36%) y al final se tiene el radical ímida (10%).

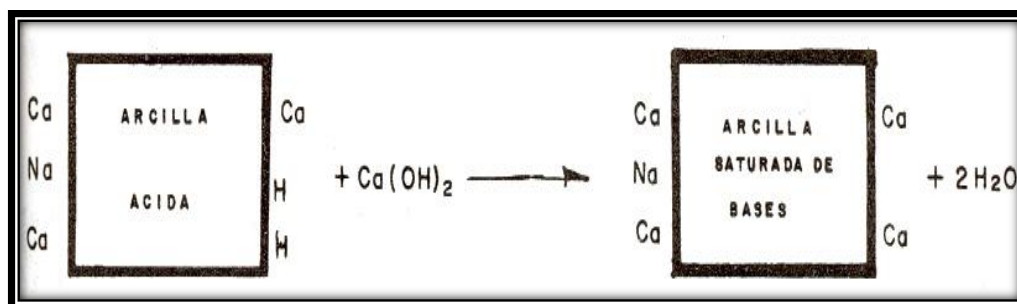
Muchos minerales de la arcilla químicamente son similares al radical negativo de un ácido como PO_4 o SO_4 . En otras palabras, son núcleos complejos negativamente cargados los cuales se moverán hacia el electrodo positivo cuando están sometidos a la acción de una corriente eléctrica.

2.2.8. INTERCAMBIO CATIONICO.

La arcilla y los coloides orgánicos exponen de 40 a 800 m^2 de área superficial por gramo y por consiguiente son las porciones más activas, tanto física como químicamente del suelo. Las propiedades del suelo tales como adherencia, plasticidad, hinchamiento, absorción de agua y carga eléctrica están estrechamente relacionadas con el área superficial y la estructura de la arcilla. Las arcillas que presentan una superficie específica grande son por lo general de mayor carga eléctrica y de mayor capacidad de intercambio de cationes.

Los cationes son adsorbidos por la arcilla y coloides orgánicos porque los coloides negativos atraen cationes positivos. En forma similar los iones Cl^- negativos atraen iones Na^+ positivos. Cuando el NaCl se disuelve, otro catión como el K^+ puede reemplazar el Na^+ para formar posteriormente al KCl . De igual manera, los cationes en la solución del suelo pueden reemplazar los cationes adsorbidos en las superficies del suelo.

Una reacción de intercambio de cationes se ilustra como sigue:

FIGURA 2.11 Intercambio Catiónico.⁵

Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

El Ca del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reemplaza a los iones del H intercambiables en una reacción de encalado (aplicación de cal, material empleado como mejorador de suelos ácidos). La reacción es reversible y químicamente equivalente por ejemplo una molécula de Ca^{2+} reemplaza a 2 de H^+ .

Las características del suelo cambian con la clase y proporción de iones intercambiables presentes. Por ejemplo, los suelos ácidos contienen apreciables cantidades de H^+ intercambiable y soluble; los suelos calcáreos suelen estar 100% saturados de bases y contienen altas proporciones de Ca^{2+} intercambiable y cal libre; los suelos "alcali" contienen más del 15 % de Na^+ intercambiable.

Los cationes intercambiables están en equilibrio con los cationes en solución. Si los cationes de la solución del suelo son absorbidos por las plantas, la reacción anterior cambia a la derecha para renovar el abastecimiento. De este modo los cationes intercambiables son una fuente importante de nutrientes para las plantas. En suelos normales los cationes intercambiables grandemente exceden a los cationes solubles. Por ejemplo por cada ion H^+ en la solución del suelo habrá de 50 a 100,000 iones de H^+ intercambiables.

⁵ Fuente: Mecánica de Suelos; Whitlow, 1993

2.2.9. INTERCAMBIO DE ANIONES.

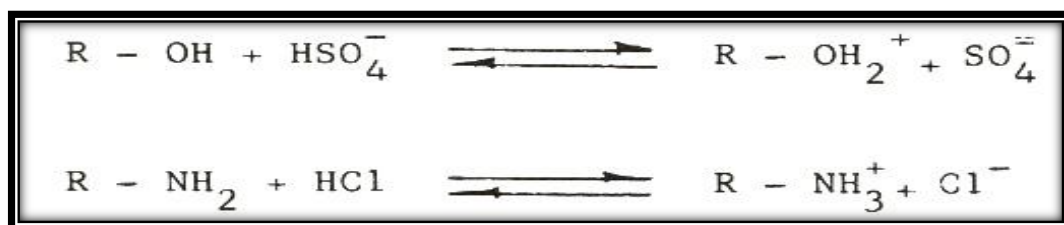
Numerosas investigaciones han demostrado la existencia del intercambio aniónico en los minerales arcillosos.

Los suelos poseen propiedades de intercambio de aniones y los estudios subsecuentes han mostrado que aniones tales como los cloruros y nitratos pueden ser adsorbidos aunque no en el grado de los fosfatos y sulfatos.

A diferencia del intercambio de cationes, la capacidad de adsorción de aniones aumenta al bajar el pH. Además, el intercambio de aniones es mayor en los suelos con alto contenido de arcillas del tipo 1:1 y óxidos hidratados de Fe y Al.

El mecanismo del intercambio de aniones se explica como sigue: un descenso en el pH del suelo incrementa la activación de los grupos básicos por aumentar la aceptación de protones. Por ejemplo:

FIGURA 2.12 Intercambio Aniónico.⁶



Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

En esta posición el anión se intercambiará por otros aniones presentes en la solución del suelo.

El intercambio de aniones es una función que depende grandemente del pH, entre más ácido el suelo, mayor es la proporción de adsorción de aniones. Debido a que la mayoría de los suelos agrícolas tiene valores de pH al cual la

⁶ Fuente: Mecánica de Suelos; Whitlow, 1993

adsorción de aniones se manifiesta al mínimo, este fenómeno no es acentuado en condiciones de campo y con la excepción de los fosfatos y de los sulfatos en menor grado, los aniones en su mayor parte son perdidos por lixiviación.

Al considerar los factores que afectan los elementos del suelo se indica que el complejo de intercambio de aniones, grandemente asociado con el cristal de la arcilla. En arcillas como la halloysita y bentonita (es importante la capacidad de intercambio aniónica), representan la misma función para los aniones, como el complejo de intercambio de bases lo representa para los cationes.

El complejo de intercambio de aniones, sin embargo, es mucho menor que el complejo de intercambio de bases y por esto es que los aniones tienden a lixivarse del suelo más fácilmente que los cationes.

2.2.10. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO.

En las arcillas del tipo 2:1 la capacidad de intercambio se debe principalmente a las sustituciones isomórficas en las unidades octaédricas como ocurre en la montmorillonita y vermiculita donde se tiene el 75% de estas cargas.

En las montmorillonitas, cuyo peso molecular es de 700 y su capacidad de intercambio de 90 a 110 meq/100 g, bastan sustituciones de 1/13 de Si por Al y de 1/7 del Al por Mg, para alterar el equilibrio de cargas.

Las sustituciones isomórficas hacen que la mayoría de los cationes adsorbidos se concentren en las superficies basales apreciándose en la montmorillonita y vermiculita que el 75% de aquéllos se encuentran en dichas superficies.

La capacidad de intercambio puede ser alterada por muchos factores, aunque los más importantes son: el tamaño de las partículas, la temperatura, el medio externo y la alteración de las posiciones de cambio.

1. Tamaño de las partículas. La montmorillonita afecta poco su capacidad de intercambio por el tamaño de la partícula. No así en el caso de la illita y

especialmente de la kaolinita. Partículas de la illita menores de 0.06 micras presentan doble capacidad de intercambio, que las partículas comprendidas entre 1.1 y 0.3 micras. En el caso de la kaolinita este cambio es de casi 4 veces, mientras que la atapulgita y saponita experimentan incrementos del 33 y 10% respectivamente. Tales diferencias se deben a que tanto en la kaolinita e illita la mayor parte de las cargas negativas provienen de la disociación de los OH marginales y naturalmente serán tanto más numerosos cuanto más partículas quepan en el mismo volumen.

2. Temperatura. En condiciones naturales la influencia de este factor en la capacidad de intercambio es pequeña. A temperaturas elevadas se observan cambios significativos.

Ejemplo en la montmorillonita - Ca, la CIC a 100°C es de unos 90 meq/100 g; a 300°C es de 45 meq/100 g; y a 400°C es de 14 meq/100 g.

3. Medio externo. En la mayoría de casos el intercambio de cationes se produce cuando los iones están en solución, pero también puede ocurrir la adsorción de las arcillas de los cationes en suspensión. Además, los cationes en contacto con los pelos radiculares pueden penetrar en ellos sin previa disolución, intercambiándose con los existentes en la planta.

4. Alteración de las posiciones de cambio. Las distorsiones producidas en la red a causa de las sustituciones isomórficas pueden reducir la capacidad de intercambio, especialmente cuando el Al es sustituido por el Mg, ya que el radio de éste supera netamente al del hueco de los oxígenos octaédricos en el que se aloja.

2.2.11. FACTORES QUE REGULAN EL PODER DE INTERCAMBIO DE CATIONES.

El poder de intercambio entre cationes depende principalmente de los factores siguientes:

1. Naturaleza del ión. Los cationes de la misma valencia tienen un poder de sustitución que depende directamente de su tamaño, algunos investigadores indican que en el poder de sustitución influye la hidratación del ión, por lo que los cationes de igual valencia son retenidos con mayor fuerza cuando menor es su hidratación.
2. Concentración. A mayor concentración de un catión mayor es su poder de sustitución. Tal fenómeno es más bien de naturaleza compleja. Se ha informado también que la concentración tiene poco efecto en el intercambio cuando actúan pares de cationes de la misma valencia (K - NH_4), (Ca - Ba), pero lo contrario es evidente cuando la valencia y poder de sustitución son diferentes (Na - Ca), (NH_4 - Ca).
4. Porcentaje de posiciones iónicas ocupadas. La liberación de un ión depende de la naturaleza de los otros iones adsorbidos y del porcentaje de posiciones ocupadas por los cationes. Se ha comprobado que a medida que disminuye el Ca intercambiable, el que permanece adsorbido en la arcilla se hace más difícil de sustituir ocurriendo lo contrario con el Na, mientras que el Mg y K ocupan un lugar intermedio.
5. Calor. Se ha indicado que el calor reduce la capacidad de intercambio pero sus efectos son mucho más complejos ya que también disminuye el poder de sustitución de cada catión en relación con el que ha de reemplazar. La montmorillonita a 130°C fija el Li en forma no intercambiable, sin afectar el poder de sustitución del Na, mientras que a la temperatura ordinaria el Li es reemplazado más fácilmente que el Na.

6. Naturaleza del mineral. El amonio es más débilmente retenido por la kaolinita que por la montmorillonita. La kaolinita cede más Ca que la illita y ésta mayor cantidad que la montmorillonita. La liberación del Ca es tanto mayor cuanto más grande es el porcentaje de saturación con Ca.

2.2.12. COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS EN PRESENCIA DE AGUA⁷

Cuando una partícula cristalina de arcilla queda rodeada de agua, los átomos de oxígeno del cristal quedan en la superficie de estos como consecuencia de su constitución interna. Si el cristal se considera como un ente ideal sería eléctricamente neutro, con todas sus cargas eléctricas positivas y negativas balanceadas. Aunque la realidad es otra y en los vértices y aristas de los cristales se rompe de hecho la continuidad de la estructura, por lo que verdaderamente se tiene, por lo menos en estas zonas, cargas desbalanceadas, es una hipótesis razonable y muy simplificada en un análisis elemental el considerar que el cristal en conjunto es neutro. Las cargas negativas de los átomos de oxígeno en consecuencia, crean en la superficie del cristal real, un campo eléctrico hacia el exterior con lo cual las moléculas del agua vecina se ionizan, de manera que los iones de hidrógeno positivos resultan captados por el cristal, así como también lo hacen los cationes que pudiera haber en disolución en el agua.

La atracción eléctrica del cristal disminuye rápidamente con la distancia, de manera que la concentración de cationes en la atmósfera del cristal disminuye también. Puesto que el agua rodea al cristal es por lo menos en principio, eléctricamente neutra, la concentración de iones positivos cerca del cristal debe estar balanceada por un número igual de iones negativos moviéndose libremente en el fluido. La distribución de cationes cerca de la superficie del cristal se muestra en la FIGURA 2.13 a).

⁷ Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

Se supone una distribución uniforme de la carga eléctrica en la superficie del cristal lo cual no es del todo correcto; la atmosfera de cationes muy cercanos fuertemente unidos al cristal por vínculos eléctricos, así como el grupo de cationes ya ligeramente más desvinculados por su mayoría lejanía a la superficie de la partícula, suelen considerarse como dos estratos diferentes, de manera que al sistema en conjunto se le suele llamar de la “doble capa difusa”. En la parte b) de la FIGURA 2.13 se muestra esquemáticamente la forma de la doble capa difusa cuando al agua se le añadiese un electrolito; el aumento de iones libres reduce la tendencia de tales iones a difundirse en el fluido y tiene el efecto al final de reducir el espesor de la atmosfera de adsorción; el espesor de dicha atmosfera se ha estimado en 0.1 a 1 micrones en soluciones muy diluidas y se considera mucho más pequeña en soluciones concentradas. Se admite inversamente proporcional a la valencia de dichos cationes.

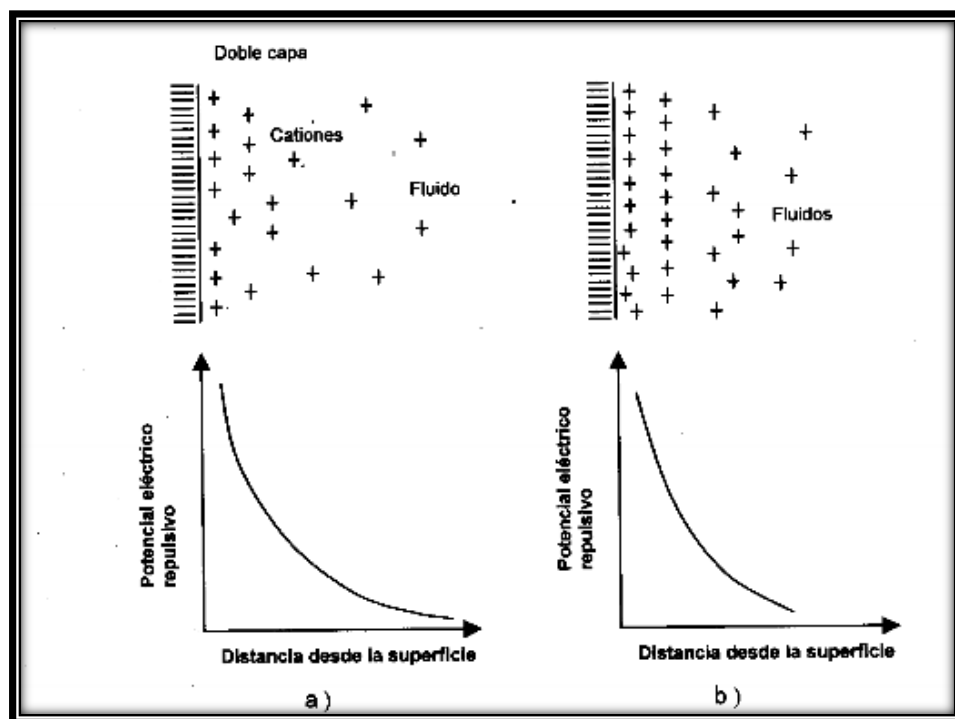
La fuerza repulsiva existente entre dos cristales próximos no es, sin embargo, la única que actúa, pues entre las moléculas de ambos cristales y las moléculas de agua entre ellos se ejercen también fuerzas atractivas, como consecuencia del efecto Van der Waals⁸. La fuerza neta actuante entre dos partículas de arcilla será, por lo tanto, la suma algebraica de las dos fuerzas opuestas mencionadas.

Las fuerzas de Van der Waals son independientes de la naturaleza del medio que existe entre las partículas, por lo que para un tipo dado de arcilla la fuerza neta entre partículas vecinas puede hacerse variar añadiendo cantidades convenientes de electrolitos en una suspensión, naturalmente que en este caso cambia únicamente el potencial repulsivo de las partículas. Cuando en una suspensión de arcilla de fuerza neta es de repulsión, las partículas permanecen separadas y se depositan en forma de sedimento relativamente denso, en el que sin embargo, las partículas continúan separadas unas de otras por el efecto

⁸ Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

repulsivo de sus atmósferas catiónicas. Esto da a lugar a una estructura dispersa al aumentar la concentración de cationes en la suspensión hace disminuir el potencial repulsivo entre las partículas de arcilla, con lo que aumenta la preponderancia relativa de la fuerza de atracción, de modo que la probabilidad de que dos partículas al acercarse dentro de su movimiento browniano se atraigan en lugar de repelerse aumenta; de hecho en este caso, la fuerza de atracción entre dos partículas aumenta al disminuir su distancia. Si se llega a esta situación, se dice que el suelo se flocula, fenómeno que produce, cuando la sedimentación tiene lugar, un depósito de agrupaciones de partículas muy sueltas, ya que cada unidad depositada posee una alta proporción de vacíos.

FIGURA 2.13 Formación de la doble capa en torno a un cristal de arcilla sumergida en agua a) Solución Diluida b) Solución Concentrada.⁹



Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

⁹ Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

FIGURA 2.14 Contenido aproximado de agua absorbida y superficie

Mineral	Superficie Específica ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	Contenido aproximado de agua adsorbida (%)
Arena de cuarzo	0.02	0.001
Caolinita	20	1
Ilita	80	4
Montmorillonita	800	40

Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

2.2.13. FLOCULACION Y DISPERSION

Las interacciones que se desarrollan entre dos partículas próximas entre sí en una solución acuosa, serán afectadas por dos tipos de fuerzas; a) Atracción entre partículas debida a las fuerzas de enlaces secundarios o de Van der Waals y b) Fuerzas de repulsión debidas a la naturaleza de cargas negativas de superficie de la partícula y de la capa absorbida.

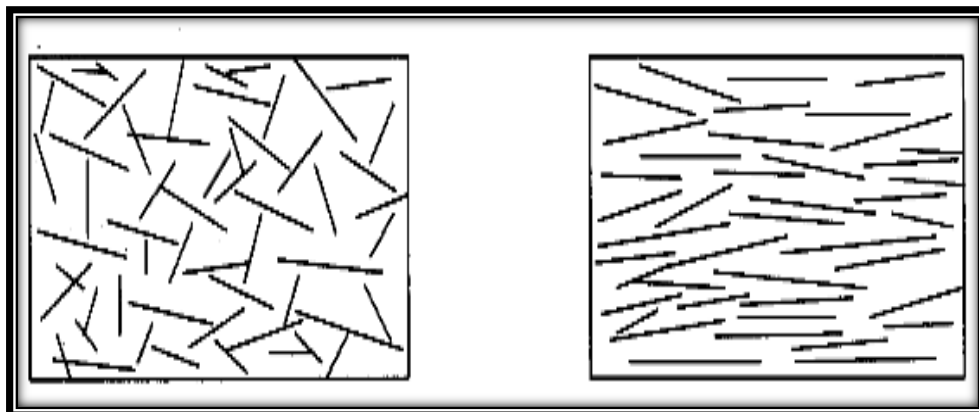
Las fuerzas de atracción de Van der Waals se incrementan si las partículas se acercan, por ejemplo, esto sucede cuando el espesor de la capa absorbida disminuye por el proceso de intercambio básico. En los suelos cuya capa absorbida es gruesa, la repulsión será de mayor magnitud y las partículas permanecerán libres y dispersas.

Cuando la capa absorbida es lo suficientemente delgada para que dominen las fuerzas de atracción, se forman grupos de partículas, en los que se presentan contactos de superficie con aristas (positivo-negativo); en una suspensión, estos grupos se sedimentan en conjunto. A este proceso se le llama floculación, y a los suelos que presentan este fenómeno se los denomina suelos floculados. En las arcillas marinas que contienen altas concentraciones de cationes, las capas absorbidas son delgadas, por lo que resultan estructuras floculadas en tanto que las arcillas lacustres (agua Dulce) tienden a presentar estructuras dispersas.¹⁰

¹⁰ Fuente: Mecánica de Suelos; Whitlow, 1993

FIGURA 2.15 Esquema representativo de la estructura de un suelo

a) Estructura Floculada b) Estructura dispersa



2.2.14 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECANICAS DE LA ARCILLA

Expansión y contracción.- Las fuerzas entre partículas y de las capas absorbidas pueden alcanzar equilibrio en condiciones de presión y temperaturas ambientales constantes, debido al movimiento de las moléculas de agua que salen o entran de la capa absorbida. Al contenido de agua del suelo correspondiente a este estado de equilibrio se le llama contenido de agua de equilibrio.

Cualquier alteración de las condiciones ambientales producirá cambios en el contenido de agua. Si el agua se integra a la estructura laminar y el suelo está confinado, se desarrollará una presión de expansión. Cuando la capa de agua absorbida se comprime, se produce una contracción del suelo, lo mismo sucede cuando un efecto de succión reduce el contenido de agua (Por ejemplo, por medio de una evaporación climática). La magnitud de la expansión y contracción depende de la humedad inicial; si la humedad del suelo en su estado natural es menor que la humedad correspondiente al límite de contracción un secado posterior no producirá una contracción apreciable; si esta es más húmeda, la contracción máxima posible será equivalente a la diferencia entre la humedad real y el límite de contracción.

Plasticidad de la arcilla¹¹.- Existen suelos que al ser remoldeados cambian su contenido de agua, adoptando una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado “plástico”. Estos suelos han sido llamados arcillas. Al tratar de definir la plasticidad de un suelo no solo hay-que decir que es aquel que puede deformarse y remodelarse sin agrietamiento. En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por medio de la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

El tamaño y la forma de las partículas, en combinación con la naturaleza de la capa de agua absorbida son los factores que controlan la plasticidad de los suelos. Además los suelos con valores de superficie específica altos son los más plásticos y los más compresibles. Se han desarrollado varios criterios para poder medir la plasticidad de las arcillas. Aquí solo se hará mención a los límites de consistencia los cuales fueron definidos por A. Atterberg, el cual hizo ver que la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con alto contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o inclusive las de una suspensión. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente. Atterberg encontró que según el contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia: a) estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión; b) estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso; c) estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente; d) estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado y e) estado

¹¹ Fuente: Comportamiento de suelos Arcillosos; Juárez & Rico 1992

sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

Cohesión.-Puede definirse un suelo cohesivo como una agregación o colección de partículas minerales que se desarrollan fuerzas de atracción mutua; esta fuerza de atracción recibe el nombre de cohesión, la cual depende del contenido de agua, a medida que se incrementa el contenido de agua, la fuerza de atracción disminuye y la cohesión se reduce. El grado de cohesión depende de los tamaños relativos y de las cantidades de diversos granos de suelos y materiales arcillosos presentes; generalmente, cuando más del 50% del depósito está formado por partículas de 0,002 mm y menores, el depósito se comporta como arcilla. Con este porcentaje relativo, las partículas mayores del suelo están suspendidas en una matriz de suelo fino. Cuando del 80 al 90 % del material del depósito es menor que la malla n°200 (0,074mm), una pequeña cantidad de arcilla, del 5 al 10% puede dar al suelo el comportamiento cohesivo.(Bowles, 1996).

2.2.15. IDENTIFICACION DE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS¹²

Con un reconocimiento visual y manual o bien mediante clasificaciones sencillas se puede determinar las propiedades esperadas de un suelo en el campo. Algunos indicadores de la presencia de los suelos expansivos son: a) Grietas por secado;

b) Plasticidad; c) Espejos de fricción; d) Textura y e) Daños estructurales.

Grietas por secado.- Las grietas en los suelos expansivos aparecen en la superficie del terreno durante periodos de sequia, con un arreglo geométrico del tipo poligonal, frecuentemente de gran dimensión. La resistencia del suelo seco es alta.

Plasticidad.- En los suelos expansivos, es relativamente fácil hacer un rollito de suelo sin desmoronarlo.

Espejos de Fricción.- La superficie de suelos recientemente expuestas al aire muestran abundantes fisuras y espejos de fricción.

Textura.- Los suelos expansivos son resbalosos y tienden a pegarse a zapatos o llantas de vehículos cuando están húmedos.

Daños estructurales.- La presencia de grietas y distorsiones en las estructuras vecinas indican el potencial de expansión.

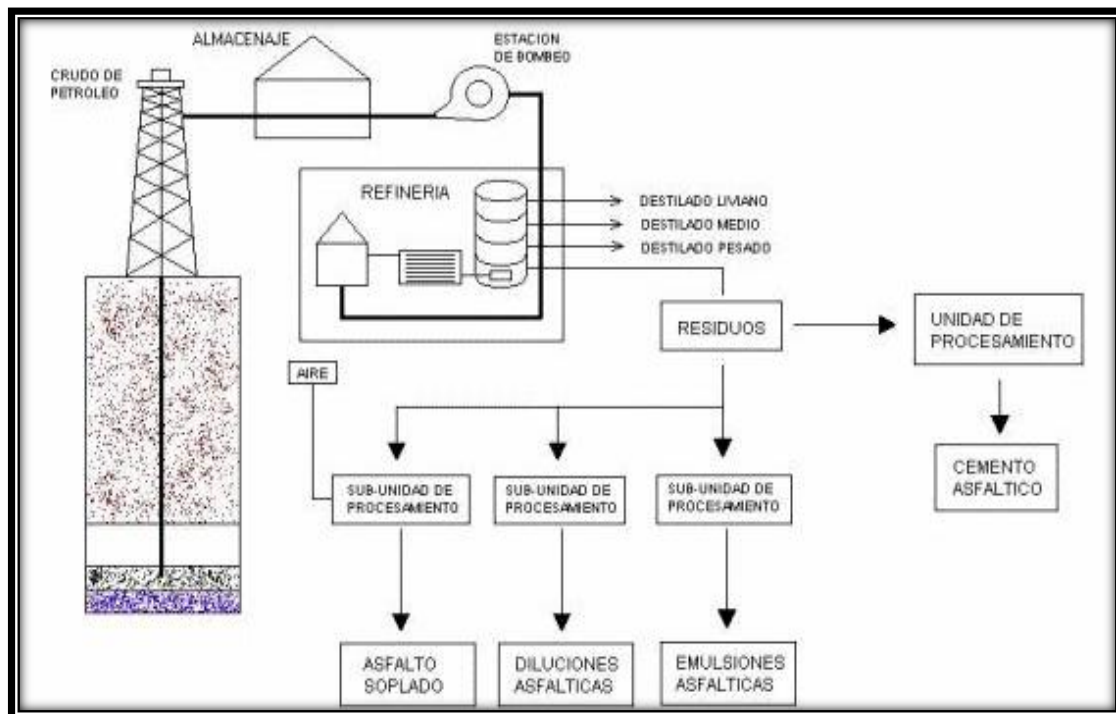
¹² Fuente: Mecánica de Suelos; Whitlow, 1993

2.3. LAS EMULSIONES ASFALTICAS¹³

Se denomina emulsión a un sistema compuesto de dos líquidos inmiscibles de los que uno se dispersa en el otro en forma de gotas diminutas, denominando al primero como FASE DISPERSA y al segundo como FASE CONTINUA.

Las emulsiones o betún asfáltico es el procedente de la destilación del petróleo; del crudo de donde principalmente se obtiene el betún o emulsión. Del crudo en las refinerías se obtiene diversos productos después de pasar por varios procesos o procedimientos, entre los diversos productos que se obtienen se encuentran varios tipos de gases, gasolinas y kerosene, diesel, combustibles y PITCH ASFÁLTICOS. El producto obtenido desde el fondo de la torre de destilación, posterior a la extracción de los componentes livianos, se denominan pitch asfáltico, con el cual se prepara el cemento asfáltico que a temperatura ambiente es un compuesto semisólido.

FIGURA.2.16 esquema del proceso de destilación



¹³ Fuente: Innovaciones en Emulsiones Asfálticas”. Julián Sanz Liébana.

El cemento asfáltico se obtiene para diferentes consistencias, que se miden a través del ensayo de penetración o ensayos de viscosidad.

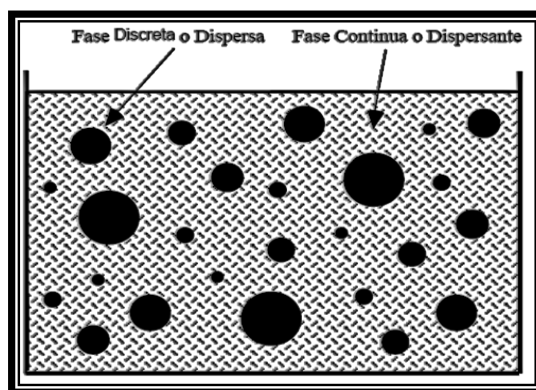
En las emulsiones asfálticas, las dos fases en presencia son agua y asfalto. Si se agitan asfalto fundido y agua caliente se obtiene una emulsión inestable que solo dura el momento de la agitación, tan pronto como cesa esta las partículas de asfalto se unen unas a otra, formando una masa continua separada del agua.

Las emulsiones como ya hemos mencionado están compuestas por cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante en las proporciones aproximadas de:

- Cemento Asfáltico: 50% a 63%
- Agua: 35% a 50%
- Agente Emulsificante: 0,5% a 2 %

Una emulsión es una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre si y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la FIGURA.2.17, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.

FIGURA. 2.17 Diagrama esquemático de una emulsión



Fuente: Innovaciones en Emulsiones Asfálticas”. Julián Sanz Liébana

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre 1 nanómetro y 1 micra. Son estos tamaños tan pequeños los que les dan a las emulsiones sus importantes e interesantes propiedades, hace incrementar la superficie específica del cemento asfáltico, favoreciendo el mojado, distribución y cohesión con las partículas de agregado.

En la emulsión que se utiliza en la tecnología en frío se pueden distinguir dos fases: una discontinua formada por las gotitas esféricas de cemento asfáltico y una continua formada por el medio en el cual se dispersan.

El cemento asfáltico es por naturaleza hidrófobo, lo cual provoca la unión entre glóbulos dando lugar a otros de tamaño mayor, provocando la separación del cemento asfáltico y del agua. Para evitar la coalescencia de los glóbulos de cemento asfáltico se adiciona un agente estabilizador denominado emulgente o emulsificante.

2.3.1. TIPOS DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Dentro de las emulsiones asfálticas podemos distinguir dos grandes grupos que se determinan de acuerdo a la carga eléctrica que poseen, esto principalmente depende del tipo de emulsificador:

- ✓ Emulsiones Aniónicas que son las de carga negativa.
- ✓ Emulsiones Catiónicas que son las de carga positiva.

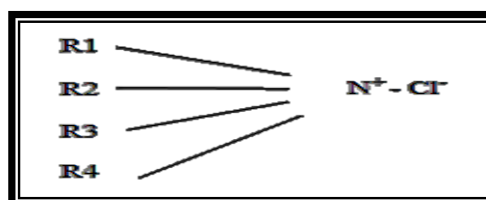
Esta última será la que nos adentraremos más a fondo.

2.3.2 EMULSIONES CATIÓNICAS

Estas son aquellas en que las partículas de asfalto están cargadas positivamente, por lo que representan afinidad por los grupos cargados negativamente y por ende contrariamente a las emulsiones aniónicas que tratamos anteriormente.

Los emulgentes ocupados para la obtención de estas emulsiones Catiónicas son normalmente sales de amonio cuaternario de tipo:

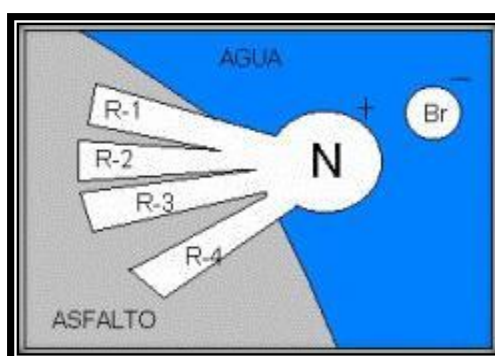
FIGURA 2.18 Amina grasa (diamina, amido-amina, imidazolina).



Fuente: Innovaciones en Emulsiones Asfálticas”. Julián Sanz Liébana

Los radicales R1, R2, R3, R4 se sumergen en los glóbulos de asfaltos y el nitrógeno queda en la fase acuosa donde se disocian los aniones Cl^- que es uno de los muchos que se pueden emplear en la práctica para la elaboración de los diversos tipos de emulsiones.

**FIGURA.2.19 Esquema Sumersión De Los Radicales
En El Glóbulo De Asfalto**



Fuente: Innovaciones en Emulsiones Asfálticas”. Julián Sanz Liébana

En las emulsiones catiónicas se clasifican al igual que las emulsiones aniónicas de acuerdo a su velocidad de quiebre o sea a una clasificación de emulsiones de quiebre rápido, medio y lento. Las siglas o comúnmente llamadas son:

- Catiónicas de quiebre rápido (Cationic rapid setting): CRS – 1, CRS – 2
- Catiónicas de quiebre medio (Cationic médium setting): CMS – 1, CMS – 2, CMS – 2h
- Catiónicas de quiebre lento (Cationic slow setting): CSS – 1, CSS – 1h.

En general las emulsiones producen en las mezclas asfálticas un recubrimiento más delgado en material pétreo. Su uso se ha estado ampliando por las mismas razones que los asfaltos cortados han ido disminuyendo, debido a que no se produce tanta contaminación debido a que el vehículo solvente para la elaboración de los asfaltos con estas emulsiones es agua por lo que se evapora no produciendo polución.

TABLA 2.1 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas ¹⁴

Clasificación	Contenido de Asfalto (% en masa)	Tipo de Rompimiento	Polaridad
EAR-55	55	Rápido	Aniónica
EAR-60	60	Rápido	Aniónica
EAM-60	60	Medio	Aniónica
EAM-65	65	Medio	Aniónica
EAL-55	55	Lento	Aniónica
EAL-60	60	Lento	Aniónica
EAI-60	60	Para Impregnación	Aniónica
ECR-60	60	Rápido	Catiónica
ECR-65	65	Rápido	Catiónica
ECR-70	70	Rápido	Catiónica
ECM-65	65	Medio	Catiónica
ECL-65	65	Lento	Catiónica
ECI-60	60	Para Impregnación	Catiónica
ECS-60	60	Sobre-Estabilizada	Catiónica

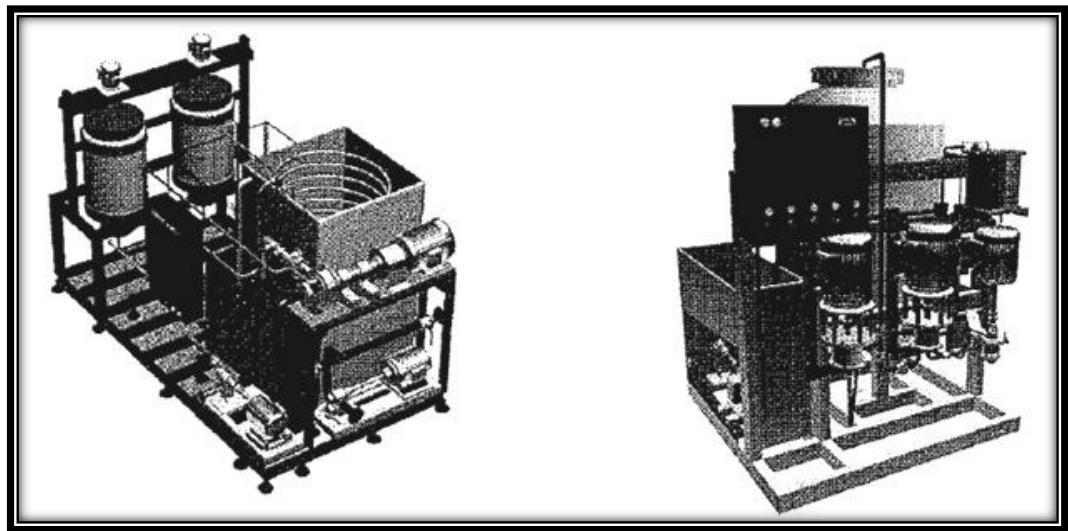
Fuente: Emulsiones Asfálticas 4ta Edición Gustavo Rivera E

¹⁴ Fuente: Emulsiones Asfálticas 4ta Edición Gustavo Rivera E.

2.3.3. ELABORACION DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas son usualmente producidas a través de un molino coloidal, sin embargo otros equipos de dispersión son posibles. En el molino coloidal la energía es aplicada al sistema pasando la mezcla del asfalto caliente y la fase acuosa entre un disco giratorio, conocido como rotor y un estator fijo. El rotor así como el estator pueden estar ranurados o dentados con la finalidad de crear flujo con turbulencia.

FIGURA.2.20 Planta para producir emulsión asfáltica



Fuente: Emulsiones Asfálticas 4ta Edición Gustavo Rivera E

2.3.4. EQUIPO DE EMULSIFICACIÓN

El equipo básico para preparar emulsiones incluye un dispositivo mecánico de alta velocidad, de altas tensiones de corte (usualmente un molino coloidal), para dividir el asfalto en pequeñísimas gotas. Un diagrama esquemático de una típica planta de elaboración de emulsiones asfálticas se muestra en la FIGURA 2.1. También se necesitan un tanque para la solución de emulsión, un tanque para el asfalto caliente, bombas, y medidores de caudal.

El molino coloidal posee un rotor de alta velocidad (17-100 HZ ó 1000-6000 RPM) con gálidos de paso en el orden de 0.25 a 0.50 mm (0.01-0.02

pulgadas). Típicamente, las gotitas de las emulsiones asfálticas tienen tamaños inferiores al diámetro de un cabello humano, esto es, alrededor de 0.001 a 0.010 mm (0.00004 a 0.0004 pulgadas). Comúnmente se emplean analizadores de tamaños de partículas para caracterizar la calidad de emulsión. El tamaño de las gotitas de asfalto depende de la energía mecánica unitaria aplicada por el molino.

Para medir las cantidades de asfalto y de solución emulsiva puede ser altamente corrosiva, puede ser necesario emplear equipos construidos con materiales resistentes a la corrosión.

2.3.5. PROCESO DE EMULSIFICACIÓN

Durante el proceso de emulsificación, se alimenta el molino coloidal con asfalto caliente, el cual es dividido en pequeñísimas gotitas. Al mismo tiempo, ingresa en el molino coloidal en agua conteniendo el agente emulsivo. El asfalto que ingresa en el molino coloidal se calienta para alcanzar una baja viscosidad; la temperatura del agua se ajusta para optimizar el proceso de emulsificación. Estas temperaturas varían, dependiendo de las características de emulsificación. Estas temperaturas varían dependiendo de las características de emulsificación del cemento asfáltico y de la compatibilidad entre el asfalto y el agente emulsivo.

Debido a que la temperatura de la emulsión al abandonar el molino debe ser inferior al punto de ebullición del agua, el asfalto no se lleva a temperaturas extremadamente altas, a menos que se emplee un enfriador. Luego, la emulsión es usualmente bombeada a tanques de almacenamiento a granel. Estos tanques pueden estar equipados con agitadores mecánicos para mantener la uniformidad de la emulsión.

El método de incorporación del emulsivo al agua varía de acuerdo con el procedimiento empleado por el fabricante. Para ser solubles en agua, algunos emulsivos, como las aminas, deben mezclarse y reaccionar con un ácido;

otros, como los ácidos grasos, deben mezclarse y reaccionar con un álcali. La mezcla del emulsivo se hace comúnmente en un tanque de mezclado por patones. El emulsivo es incorporado al agua caliente que contiene ácido o álcali, y es agitado hasta su completa disolución.

Las proporciones de asfalto u de solución emulsificante deben medirse con exactitud. Esto se hace normalmente con medidores de caudal; pero también pueden controlarse las proporciones verificando la temperatura de cada fase y la descarga del molino. Si se utiliza el método de regulación de la temperatura, a partir de los componentes se calcula la temperatura deseada de salida de la emulsión a elaborada; así se controla el porcentaje del contenido del asfalto.

El tamaño de las partículas de asfalto es un factor vital en la elaboración de una emulsión estable.

Menor de 0.001mm (1 μ m).....	28%
0.001-0.005 mm (1-5 μ m).....	57%
0.005-0.020 mm (5-10 μ m).....	15%

Estas gotitas de asfalto de tamaño microscópico se dispersan en el agua en presencia del emulsivo tensio-activo (surfactante). El surfactante produce un cambio en la tensión superficial en el área de contacto entre las gotitas de asfalto y el agua, permitiendo así que el asfalto permanezca en suspensión. Las partículas de asfalto, todas con similares cargas eléctricas, se repelen entre sí, lo que ayuda a mantenerlas suspendidas.

2.3.6. PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS EMULSIONES

Entre las propiedades más importantes de las emulsiones asfálticas se tienen:

- La estabilidad al almacenamiento
- La estabilidad ante los agregados pétreos
- El grado de adhesividad la viscosidad
- Características reológicas del residuo

2.3.7. ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO

Todas las emulsiones asfálticas modifican en mayor o menor grado sus propiedades durante el manejo y almacenamiento. Los problemas más frecuentes que se pueden producir son los siguientes:

LA FORMACIÓN DE ESPUMA.- Los emulsionantes, por su naturaleza química, forman espuma, por lo que se debe tener cuidado de no incluir aire en el momento de mezclado o agitación. Es recomendable transportarlas por medio de carrotanques provistos de sistemas rompeolas o tabiques que compartimenten el interior. El llenado de estos tanques debe hacerse prolongando la tubería con una manguera flexible hasta unos 10 ó 20 cm del fondo.

FORMACIÓN DE NATAS Y SEDIMENTOS.- Durante el almacenamiento en la obra, se pueden producir dos fenómenos que se acentúan con el tiempo. En la zona de contacto con el aire, se forma una película endurecida que protege al resto de la emulsión; para que se mantenga, es necesario su almacenamiento en depósitos cilíndricos de eje vertical alimentados desde el fondo.

De igual manera, se produce una decantación, con el aumento de la viscosidad en las zonas inferiores del depósito, cuanto mayor sea la diferencia de densidades entre las fases dispersante y dispersa, y el tamaño de los glóbulos de asfalto. Para disminuir esta decantación, se pueden utilizar agentes

estabilizantes, aumentar la concentración de la emulsión o lograr una mayor finura de la dispersión. Mientras no se produzca la rotura de la emulsión, este fenómeno es reversible, mediante la agitación y trasvase.

MEZCLAS.-Las emulsiones asfálticas son estables mientras están en su medio. Si una emulsión básica se mezcla con un medio ácido o se pone en contacto con cargas positivas, la emulsión romperá por reacción electroquímica. Por lo tanto, no se deben mezclar una emulsión catiónica con una aniónica. De igual manera, al diluir la emulsión, se debe tener en cuenta que el agua de dilución sea de la misma característica y que no tenga carga opuesta a la de la emulsión.

LOS ADITIVOS.- Muchas veces en obra se adiciona un determinado aditivo con el fin de mejorar la adhesividad de una emulsión con el agregado. La gran mayoría de las veces puede llevar a la rotura de la emulsión, pues no se realiza un estudio de la afinidad entre el activante y el emulsificante.

LA TEMPERATURA.-Las emulsiones asfálticas son estables y conservan sus propiedades a temperaturas comprendidas entre 5°C y 80°C. Por debajo de la temperatura mínima, los glóbulos de asfalto se rigidizan, aumentando la viscosidad de la emulsión y disminuyendo su adhesividad. De igual manera, se acelera el proceso de sedimentación por el aumento de densidad debido al incremento del volumen de los glóbulos.

Cuando se aumenta la temperatura, por una parte hay un incremento de la energía cinética de las moléculas del emulsificante, por lo que abandonan a los glóbulos de asfalto, disminuyendo la estabilidad de la emulsión. Por otra parte, el agua puede iniciar su proceso de evaporación con la formación de natas de asfalto en la superficie del líquido, obstruyendo las bombas y difusores de riego.

2.3.8. ESTABILIDAD DE LA EMULSIÓN ANTE LOS AGREGADOS PETREOS

Representa un problema bastante complejo, que tiene que ver con la forma de rotura de la emulsión al entrar en contacto con el agregado.

Cuanto más fino sea el agregado, más rápida será la rotura de la emulsión, al aumentar la superficie específica y, por tanto, la absorción de agua por parte de las partículas de agregado. La velocidad de la rotura dependerá también de la humedad del agregado, el clima en el lugar de la obra, el tipo de emulgente, naturaleza química del cemento asfáltico y de la granulometría de la emulsión.

ADHESIVIDAD.- Es una propiedad difícil de evaluar y en donde es necesario involucrar de manera directa al agregado. La adhesividad depende del tipo y cantidad de emulgente, de la naturaleza del ligante bituminoso (cemento asfáltico o asfalto líquido), de los aditivos incorporados al cemento asfáltico, el pH de la emulsión (valores cercanos a 7 proveen una buena adherencia, pero menores estabilidades), de la mineralogía del agregado y de manera directa de la granulometría de la emulsión y de su velocidad de rotura.

VISCOSIDAD.- Esta propiedad depende directamente de la concentración de la emulsión: contenido de asfalto residual. Valores por encima del 65% de asfalto residual hacen crecer rápidamente este parámetro. Varía también con el tipo y cantidad del emulgente y de la granulometría de la emulsión. Emulsiones asfálticas con glóbulos de tamaño uniforme son más viscosas que con tamaños bien graduados. La granulometría depende del tipo de ligante (cemento asfáltico o cut-back) y de los fluidificantes del mismo.

CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO

La consistencia del cemento asfáltico residual influye en las propiedades de la emulsión asfáltica. En tiempo frío, cuando se utilizan fluidificantes, se facilita la envuelta de las partículas de agregado, pero puede generar problemas ante la acción directa del tránsito por causa de un mal curado (evaporación de

solventes), produciéndose ahuellamientos y deformaciones prematuras. Los fluidificantes pueden llegar a perjudicar la adherencia, dependiendo de su naturaleza, por una disminución de la viscosidad del ligante residual.

La viscosidad del cemento residual debe ser función del tipo de aplicación, del clima de la zona del proyecto y del tránsito.

2.3.9. ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES

Las emulsiones liofílicas, como forman una verdadera solución, son estables indefinidamente. Mientras que las emulsiones liofóbicas, como a ellos les disgusta el solvente, tratan de separarse en dos fases con el fin de reducir la energía libre superficial de Gibbs, volviéndose inestables. Para una emulsión, mientras mayor área superficial tenga la dispersión (i.e. mientras más pequeñas sean las partículas), mayor será la energía libre superficial de Gibbs. Por lo tanto, las emulsiones liofílicas son termodinámicamente estables, mientras que las emulsiones liofóbicas son termodinámicamente inestables.

Debido a que existen diferentes tipos de estabilidad, aquí nos concentraremos en la estabilidad respecto a la separación de fases. Esta inestabilidad significa que las partículas se comienzan a unir formando partículas más grandes llamados agregados. Podemos definir un sistema estable como aquel en que las pequeñas partículas en la emulsión están uniformemente distribuidas en el medio continuo y así permanecen conforme transcurre el tiempo.

Floculación o Coagulación: Proceso mediante el cual 2 partículas se unen para formar partículas más grandes. En este proceso no se pierde la identidad de las partículas originales. En este caso no hay reducción en el área superficial total, sólo se imposibilitan algunos sitios activos.

Coalescencia: Proceso mediante el cual 2 o más partículas se funden para formar una partícula más grande. En este caso, el área superficial total es reducida. En este proceso si se pierde la identidad de las partículas originales.

Estabilización por Carga Eléctrica: Esta se obtiene colocando una carga eléctrica neta en la superficie de las partículas y por pura repulsión electrostática se estabiliza la dispersión.

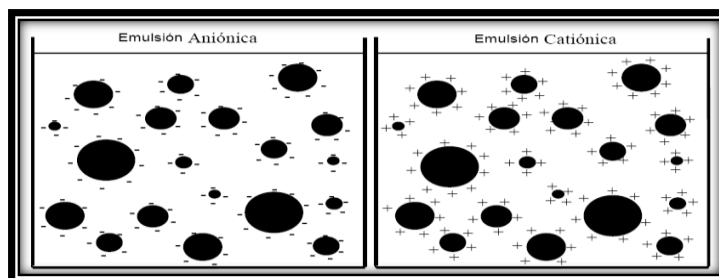
Estabilización Estérica: Esta se obtiene absorbiendo moléculas de polímero en la superficie de las partículas, ya que cuando dos partículas con polímero colocadas en su superficie se aproximan una a otra, éstas se repelen mutuamente debido a un aumento en la concentración de monómero en la región de traslape; este aumento en la concentración produce una presión osmótica que hace que se separen las cadenas poliméricas.

2.3.10. LOS EMULSIFICANTES

Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso.

Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alkilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante. En la FIGURA.2.21 se muestra una representación pictórica de la emulsión aniónica y la catiónica.

FIGURA. 2.21 Representación Esquemática De Las Emulsiones Aniónica Y Catiónica



Fuente: Emulsiones Asfálticas 4ta Edición Gustavo Rivera E

Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida en los agentes químicos utilizados como emulsivos. Aunque cuantitativamente es menor que el cemento asfáltico, se considera como el elemento esencial para su producción. Tienen como su función principal estabilizar y evitar la coalescencia de la emulsión (unión de los glóbulos de cemento asfáltico).

El emulsificante permite rompimiento oportuno o cambia la tensión superficial en el área de contacto con el agregado. Pueden ser del tipo aniónico, catiónico según su carga eléctrica se desplace al ánodo o al cátodo. Su molécula consta de una parte muy afín con el cemento asfáltico que queda firmemente anclada en él, y de otra parte cargada iónicamente, dando lugar a la formación de la micela de asfalto con sus cargas eléctricas alrededor, generando fuerzas repulsivas, responsables de la estabilidad de la emulsión. Para la formulación de la emulsión es necesario tener un amplio conocimiento sobre las características físico-químicas del emulgente. Pequeñas variaciones en su constitución pueden influir de manera negativa en la calidad final de la emulsión.

Teniendo en cuenta la definición de los emulsificantes, se pueden clasificar y hacer referencia según su carácter iónico en:

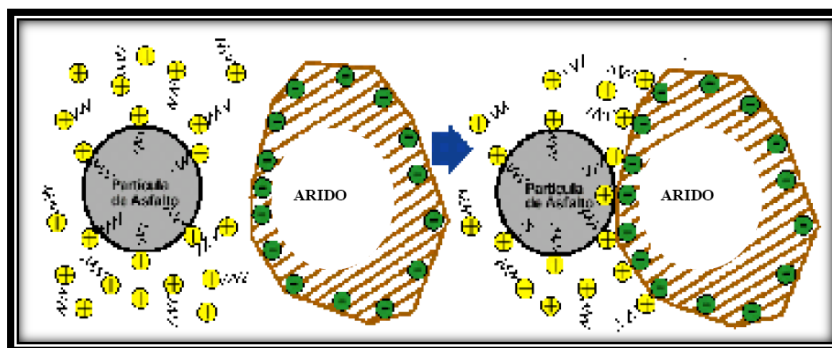
- Emulsionantes aniónicos
- Emulsionantes catiónicos
- Emulsionantes anfólitos
- Emulsionantes no iónicos

2.3.11 ROTURA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto es, actuar como ligante, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina “rotura” (breaking). En forma simplificada y sencilla se puede definir que una emulsión rompe, cuando ésta se pone en contacto con un agregado pétreo, iniciándose la separación del asfalto del agua y el recubrimiento del agregado pétreo con una película del mismo. El agua debe entonces, liberarse y finalmente evaporarse. En la FIGURA. 2.24 se esquematiza el proceso. En el momento del contacto entre la emulsión y la superficie mineral se establece una competencia sobre la superficie mineral, entre la capacidad de adsorción del emulsificante libre de la emulsión y la capacidad de adsorción del emulsificante en la interfase agua / cemento asfáltico de las partículas de cemento asfáltico.

La adsorción de estas partículas de cemento asfáltico conduce a una reacción de heterofloculación sobre la superficie mineral que suele conducir a la rotura. El ligante asfáltico depositado tendrá, prácticamente, las mismas propiedades que si hubiera sido aplicado en caliente o por medio de un solvente de petróleo, resultando el espesor de la película menor que en los otros casos.

FIGURA. 2.22 Proceso Inicial De Rompimiento De Una Emulsión



Fuente: Emulsiones Asfálticas 4ta Edición Gustavo Rivera E.

La velocidad de rotura está controlada básicamente por el tipo específico y la concentración del agente emulsivo. Sin embargo, hay otros factores, enumerados más adelante, que juegan también un importante rol en la rotura de la emulsión.

EMULSIONES DE ROTURA RÁPIDA (RAPID-SETTING)

Los grados de rotura rápida se han diseñado para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto. Se usan principalmente para aplicaciones de riego (spray applications), como tratamientos superficiales, sellados con arena (sand seals) y tratamientos de superficies. Los grados RS-2, HRFS-2 y CRS-2 (de rotura rápida) son de alta viscosidad para evitar el escurrimiento.

EMULSIONES DE ROTURA MEDIA (MÉDIUM-SETTING)

Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezcladas con agregados graduados. Debido a que estos grados de emulsiones se formulan para no romper inmediatamente después del contacto con el agregado, ellos pueden utilizarse para recubrir una amplia variedad de agregados graduados. Las mezclas con emulsiones de rotura media pueden mantenerse trabajables por lapsos que van de algunos minutos a varios meses según la formulación. Las mezclas se elaboran en mezcladoras y planta ambulante o, en el camino. En años recientes, han sido utilizadas en aplicaciones de reciclado en frío.

EMULSIONES DE ROTURA LENTA

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometría cerradas con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponde prolongados periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados con granulometría cerrada. Estas mezclas no se diseñan para ser acopiadas.

2.3.12. CURADO DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

El curado involucra el desarrollo de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico. El resultado final es una película cohesiva continua que mantiene a los agregados con una fuerte unión de carácter adhesivo. Para que esto suceda, el agua debe evaporarse completamente, y las partículas de la emulsión asfáltica tienen que coalescer y unirse al agregado. El agua se elimina por evaporación, por la aplicación de presión (rodillado), y por absorción por el agregado.

La evaporación del agua puede ser bastante rápidamente bajo condiciones climáticas favorables, pero excesiva humedad, bajas temperaturas, o lluvias inmediatamente después de la aplicación pueden demorar un curado apropiado.

Cuando se usan emulsiones de rotura lenta y media en mezclas de pavimentación, el empleo de agregados ligeramente húmedos facilita el proceso de mezclado y recubrimiento. En las emulsiones de rotura lenta, el desarrollo de la resistencia depende principalmente de la evaporación y la absorción.

Las emulsiones para mezclas usualmente contienen algún solvente de petróleo para facilitar el proceso de mezclado y recubrimiento. Durante el curado, parte de este solvente se evapora. Recientemente, se ha puesto énfasis en el desarrollo de emulsiones para mezclado sin solventes.

2.3.13. FACTORES QUE AFECTAN LA ROTURA Y EL CURADO

Algunos de los factores que afectan las velocidades de rotura y curado de las emulsiones asfálticas son:

- Absorción de agua.- Un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.
- Contenido de humedad de los agregados-si bien los agregados húmedos pueden facilitar el recubrimiento, tienden a hacer más lento el proceso de curado al incrementar el tiempo necesario para la evaporación.
- Condiciones climáticas-la temperatura, la humedad, y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Usualmente, pero no siempre, la rotura ocurre de manera más rápida en tiempos cálidos. Las altas temperaturas pueden originar la información de “piel” en tratamientos superficiales (chip-seals), atrapando el agua y retardando el curado. Recientemente se han desarrollado formulaciones químicas para romper rápidamente a bajas temperaturas.
- Fuerzas mecánicas- la presión de los rodillos y, hasta cierto punto, el tráfico a baja velocidad, desalojan al agua de la mezcla y ayudan a lograr la cohesión, el curado y la estabilidad de mezcla.
- Química de superficies- la intensidad de la carga de la superficie del agregado, en combinación con la intensidad de la carga del agente emulsivo, puede influir marcadamente en la velocidad de rotura, en particular en el caso de emulsiones catiónicas, iones de calcio y de magnesio presentes en la superficie del agregado pueden reaccionar con y desestabilizar a ciertos emulsivos aniónicos, acelerando la rotura.

Estos factores deben ser considerados en la determinación del tiempo de trabajo luego de que la emulsión ha sido distribuida o ha sido mezclada con el agregado en la obra. La mejor fuente información es el proveedor de la emulsión.

2.3.14. ALMACENAMIENTO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Almacenamiento de emulsiones asfálticas. Las emulsiones asfálticas son una dispersión de finas gotitas de cemento asfáltico en agua, tiene las ventajas y desventajas propias del medio de dispersión, el agua. Cuando se almacenan emulsiones asfálticas:

- Si** almacene la emulsión como almacenaría agua líquida- entre 10°C (50°F) y 85°C (185°F), dependiendo del uso buscado y del producto en cuestión.
- Si** almacene la emulsión a la temperatura especificada para él y aplicación particulares. La TABLA 3.1 muestra los rangos de temperaturas normales para almacenamiento.
- No** permita que la emulsión asfáltica sea calentada por encima de los 85°C (185°F). Las temperaturas elevadas evaporan el agua, modificando las características de la emulsión asfáltica.
- No** permita que la emulsión asfáltica se congele. Esto produce la rotura de la emulsión separando el asfalto del agua. El resultado será dos capas una de asfalto, otra de agua-en el tanque, ninguna de las cuales será adecuada para el consumo deseado además será difícil vaciar el tanque.
- No** permita que la temperatura de la superficie de calentamiento exceda los 100°C (212°F). De suceder esto no se producirá la rotura prematura de la emulsión sobre aquella.
- No** use aire a presión para agitar la emulsión. Puede causar la rotura de la emulsión

Los tanques de almacenamiento deberían estar aislados térmicamente, para proteger la emulsión contra el congelamiento y para un mejor aprovechamiento del calor. En la superficie de las emulsiones expuestas al aire se puede formar una piel (skin) de asfalto. Consecuentemente es mejor utilizar tanques verticales de gran altura en los que se expone al aire la menor

superficie de emulsión asfáltica. Los tanques fijos de almacenamiento en su mayoría son verticales pero para almacenamiento de corto plazo en el campo a menudo se emplean tanques horizontales. La formación de piel (“skinning”) puede reducirse manteniendo los tanques horizontales llenos, minimizando así el área expuesta al aire.

Hélices laterales ubicadas a una distancia de alrededor de un metro (tres pies) del fondo del tanque pueden usarse para impedir la formación de la piel. Las mejores son las de gran diámetro, de baja velocidad y debieran emplearse para revolver el material. El exceso de mezclado debe evitarse. También pueden utilizarse bombas para circulación vertical. El exceso de bombeo debe ser evitado.

TABLA 2.2 Temperaturas de almacenamiento para emulsiones asfálticas

GRADO	TEMPERATURA °C (°F)	
	Mínimo	Máximo
RS-1	20°(70°)	60°(140°)
RS-2, CRS-1, CRS-2, HFRS-2	50°(125°)	85°(185°)
SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h, MS-1, HFMS-1	10°(50°)	60°(140°)
CMS-2, CMS-2h, MS-2, MS-2h, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s	50°(125°)	85°(185°)

Fuente Manual Básico de Emulsiones Asfálticas ABEDA 2da Edición

2.3.15. MANIPULACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Si agite suavemente durante el calentamiento la emulsión para eliminar o reducir la formación de piel.

Si proteja las válvulas, bombas y tuberías del congelamiento en los meses invernales. Vacíe las bombas y haga el mantenimiento de los equipos según las recomendaciones del fabricante.

Si vacíe las cañerías y deje abierto las salidas de drenaje cuando no están en servicio.

Si emplee bombas con apropiados pasos entre piezas para el manejo de emulsiones. Las bombas con mecanismos muy ajustados pueden atascarse y dejar de funcionar.

Si caliente la bomba hasta una temperatura del alrededor de 65°C (150°F) para facilitar el arranque.

Si verifique al diluir la emulsión asfáltica, la compatibilidad del agua con la emulsión, haciendo una prueba sobre una pequeña cantidad.

Si emplee de ser posible agua caliente para dilución y siempre agregue al agua lentamente a la emulsión (y no la emulsión al agua).

Si evite el bombeo y la re circulación repetidos, ya que la viscosidad puede bajar y el aire puede quedar atrapado, causando la inestabilidad de la emulsión.

Si ubique las cañerías de ingreso y de retorno en el fondo de los tanques para evitar la formación de espuma.

Si bombee desde el fondo del tanque para minimizar la contaminación por eventual forma de piel.

Si recuerde que emulsiones designadas con el mismo grado pueden ser muy diferentes en lo que respecta a la química y al comportamiento.

Si para el transporte utilice camiones con placas deflectoras para evitar una excesiva agitación de la emulsión.

Si agite aquellas emulsiones que han estado almacenadas en forma prolongada. Ello puede hacerse por recirculación.

No mezcle diferentes clases de, tipos y grados de asfaltos emulsificados en tanques de almacenamiento, transporte y distribuidores.

No aplique demasiada temperatura a los collarines o recubrimientos de la bomba. Esta puede dañarse.

No diluya emulsiones asfálticas de rotura rápida en agua. Las emulsiones de rotura mediana y lenta pueden ser diluidas pero siempre agregando agua a la emulsión asfáltica. Nunca agregue la emulsión asfáltica al tanque de agua cuando se está diluyendo.

No cargue emulsiones asfálticas en tanques de almacenamiento o de transporte, auto tanques o distribuidores con residuos de materiales incompatibles.

No exponga la emulsión asfáltica o el aire en contacto con su superficie a llamas, calor o potentes oxidantes se requiere adecuada ventilación.

Si evite respirar gases, vapores, etc.

Si obtenga de parte del proveedor una copia de la planilla de datos de seguridad del material.

2. 3.16. VENTAJAS DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS¹⁵

En esta sección veremos qué ventajas tienen las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos rebajados y las mezclas asfálticas en fundido (en caliente).

- 1) Es un ligante asfáltico no contaminante ni peligroso, ya que contiene del 35 al 40% de agua como solvente.
- 2) Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- 3) Tiene un límite de almacenamiento y es muy amplio, ya que puede ser almacenado por semanas o meses, debido entre otras cosas a la igualdad de las densidades de sus componentes.
- 4) Tiene una gran adhesión con cualquier agregado pétreo, a pesar de condiciones de humedad adversas debido a la enorme dispersión de las partículas de asfalto de tamaño muy pequeño y al uso de agentes emulsificantes de tipo catiónico.
- 5) Se aplica en un lapso muy corto de tiempo, lo que permite la pronta funcionalidad de la obra en que se esté usando.
- 6) Presenta un bajo costo de la fase dispersante, que es el agua.
- 7) Se emplean materiales pétreos locales, lo que elimina la transportación de este tipo de materiales por grandes distancias.
- 8) El equipo de aplicación es mucho más sencillo debido a que todos sus componentes se aplican a temperatura ambiente.
- 9) Por su aplicación en frío, ayuda a no alterar el medio ambiente y queda suprimida la emisión de humos o gases.
- 10) El empleo del agua como solvente no crea problema de su desperdicio, ya que es recuperable.

¹⁵ Fuente Manual Básico de Emulsiones Asfálticas ABEDA 2da Edición Asociación Brasileira de Empresas Distribuidoras de Asfaltos Ultraset Ltda.

2.3.17. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las recomendaciones más generales para el uso de las emulsiones asfálticas son las que se describen a continuación:

- 1) Si el depósito se usó para almacenar emulsiones aniónicas y se van a almacenar emulsiones catiónicas, es necesario neutralizar la acción de aquella lavando el tanque, primero con agua y posteriormente con ácido clorhídrico diluido al uno por ciento.
- 2) Por el contrario, si el depósito se usó para almacenar emulsiones catiónicas y se quiere almacenar emulsiones aniónicas, se tendrá que lavar con agua y neutralizarlo con sosa cáustica al 0.3 por ciento.
- 3) Para descargar más emulsión sobre la ya almacenada, es necesario que el tubo de descarga llegue al fondo para no romper la nata de la superficie, de otra forma, se corre el riesgo de obstruir las bombas.
- 4) Cuando una fábrica o compañía está establecida permanentemente en una región donde se registran temperaturas muy bajas, los tanques deben tener un sistema de calentamiento adecuado o estar cubiertos con algún sistema aislante, para evitar la congelación.
- 5) Cuando los tanques de almacenamiento sean los que usa una compañía constructora, los depósitos se protegerán con mechones alrededor, lo que será suficiente para que no baje la temperatura. Si los tanques están enterrados, no hay necesidad de tomar otra medida para evitar la congelación.
- 6) Antes de recibir una emulsión en obra, se recomienda comprobar su calidad y el tipo de emulsión de que se trate, haciendo las pruebas de identificación que se recomiendan en cada caso.
- 7) Una emulsión que cumple con las especificaciones de calidad, puede estar almacenada durante más de un año, si se recircula sistemáticamente para mantenerla homogénea.

2.4 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ¹⁶

Cuando hablamos de estabilización de suelos, nos referimos a procedimientos que alteran significativamente las propiedades esenciales del suelo, con el único fin de mejorarlos y hacerlos apropiados hacia algún uso específico en el campo de la ingeniería. Cuando este objetivo es alcanzado, con seguridad el suelo estabilizado exhibe buena durabilidad, insensibilidad al agua y, una marcada y sostenida resistencia a la deformación frente a repetidas o continuas cargas aplicadas y a la acción perjudicial del clima.

Los suelos para la construcción de carreteras, en general, son variables y complejos. Existen muchos que en su estado natural no reúnen las características para materiales de fundación y construcción, por lo cual, se presentan tres decisiones para su utilización:

- Aceptar el material como está y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por su calidad.
- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por uno de características apropiadas.
- Mejorar sus propiedades, de tal manera que se obtenga uno que reúna en mejor forma los requisitos necesarios o cuando menos que la calidad obtenida sea adecuada. Lo referente a la tercera decisión es lo que se conoce como Estabilización de suelos.

La estabilización de un suelo es un proceso orientado hacia el mejoramiento integral de sus propiedades geomecánicas: el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante y la disminución de su compresibilidad y su permeabilidad.

La estabilidad de un suelo está asociada a su capacidad portante y es una función drenables y no drenables contenidas en él.

¹⁶ Fuente: "Mejoramiento y estabilización de suelos" Ing. Carlos Fernández.

De esta manera la estabilización de suelos, abre la posibilidad de utilizar en caminos los suelos tolerables e incluso inadecuados para la construcción terraplenes, pero también los suelos granulares de buenas características pero de estabilidad insuficiente como base y sub-base de un pavimento.

FIGURA 2.23 Estabilización de Suelos



¹⁷2.4.1. TIPOS DE ESTABILIZACION DE SUELOS

Existen diferentes sistemas que pueden emplearse para lograr estabilizar un suelo, los cuales exigen frecuentemente ciertos requisitos básicos para ser considerados como convenientes hacia cualquier aplicación en el campo de la ingeniería. Algunos de estos requisitos que deben cumplir los sistemas de estabilización son los siguientes:

- a) El material básico a emplear es el suelo, ya sea en estado natural en que se encuentra a lo largo del camino, adicionándole otros materiales o, acarreándolo de los depósitos o bancos cercanos.
- b) El material estabilizado debe resistir satisfactoriamente el tránsito de vehículos, para ello debe desarrollarse suficiente cohesión y fricción interna en el suelo.

¹⁷ Fuente: "Mejoramiento y estabilización de suelos" Ing. Carlos Fernández.

c) El suelo estabilizado debe resistir la acción de los agentes atmosféricos, para que pueda conservar sus buenas propiedades durante un largo periodo de tiempo.

d) El sistema debe ser económico, para ello los materiales y los métodos de construcción deben ser convenientes en el costo.

De las diferentes técnicas de estabilización que existen en la actualidad, generalmente no todas cumplen con el último requisito, esto ocurre especialmente en los países sub-desarrollados como el nuestro, donde se limita su uso en la mayoría de los casos debido al alto costo de los sistemas de estabilización.

Los tipos de estabilización son los siguientes:

- * Estabilización por medios mecánicos.
- * Estabilización por alteración térmica
- * Estabilización por medios eléctricos
- * Estabilización por medios químicos
- * Estabilización de suelos con material bituminoso

Este último es el que más nos interesa para la realización de nuestro trabajo y lo desarrollaremos a detalle a continuación.

2.4.2. ESTABILIZACION DE SUELOS CON MATERIAL BITUMINOSO¹⁸

Esta técnica se utiliza principalmente en los suelos granulares con muy pocos finos, pero especialmente es conveniente en arenas de granulometría uniforme o suelos muy arenosos que en algunas regiones son los únicos materiales existentes. Sin embargo, también se ha utilizado con relativo éxito en suelos granulares arcillosos; pero hablando en términos generales, entre mayor sea la cantidad de material fino que se agregue a la mezcla, mayor será la cantidad

¹⁸ Fuente: "Mejoramiento y estabilización de suelos" Ing. Carlos Fernández.

de bitúmen requerida por la misma y mayor la dificultad en la pulverización y mezcla en campo de los materiales componentes. Por lo tanto, la estabilización de suelos plásticos muy finos generalmente no puede estabilizarse en forma óptima con los materiales bituminosos.

En una estabilización de suelos con material bituminoso, el objetivo principal del bitumen es suministrar suficiente cohesión e impermeabilización a la mezcla de suelo estabilizado, esto con el único fin de reducir los efectos dañinos del agua que pueda afectar al material durante su vida de servicio.

En nuestro país la estabilización de suelos con materiales bituminosos no se utiliza masivamente, esto se debe a la dificultad del procedimiento de construcción y principalmente al costo del material bituminoso, lo cual ocurre generalmente en los países que no son grandes productores de petróleo.

FIGURA 2.24 Estabilización con asfalto



En líneas generales, los efectos se dividen en tres grupos principales:

- a)- Suministrar resistencia cohesiva a suelos sin cohesión propia, tales como arenas limpias, donde el asfalto actúa como agente ligante de las partículas. Este tipo de estabilización es generalmente llamada "**arena-asfalto**"¹⁹.
- b)- Estabilizar el contenido de humedad de los suelos finos cohesivos. Este tipo de estabilización se denomina "**suelo-asfalto**".

¹⁹ Fuente: Ingeniería de Carreteras. P:Wright – R. J. Paquette (1993)

c)- Suministrar resistencia cohesiva e impermeabilizar suelos granulares que poseen altos valores de resistencia friccional. Cuando en este tipo de estabilización se utilizan gravas de yacimiento, se la conoce con el nombre de **"grava-arena-asfalto"**.

Los asfaltos son también usados en caminos de tierra o grava a los efectos de lograr una superficie libre de polvo, impermeable al agua y resistente a la abrasión del tránsito. Este tratamiento se utiliza para suelos gruesos o finos con plasticidad donde sólo se desea un tipo inferior de camino.

Sobre estas bases el HIGHWAY RESEARCH BOARD (HRB)²⁰ establece cuatro tipos de estabilización bituminosa de uso común, y de acuerdo con la composición física del suelo disponible en cada caso y la función del asfalto incorporado, las designa de la siguiente forma:

- a)- **Suelo-asfalto:** es un sistema de suelo cohesivo a prueba de agua (impermeabilizado).
- b)- **Arena-asfalto:** es un sistema en el cual las arenas de playa, médanos, yacimientos o de ríos, que cumplen determinadas condiciones mínimas de estabilidad, son cementadas con material bituminoso.
- c)- **Estabilización granular impermeabilizada:** es un sistema en el cual suelo grueso natural o mezcla granular, que posee buena graduación de partículas de gruesas a finas, es cementado e impermeabilizado mediante la distribución uniforme de pequeñas cantidades de asfalto.
- d)- **Suelo-aceitado (o emulsionado):** es una superficie de camino de tierra o grava resistente al agua y a la abrasión del tránsito mediante la aplicación de "road-oils", asfaltos diluidos de curado lento y medio, o emulsiones asfálticas de rotura lenta.

²⁰ Fuente: Ingeniería de Transito y Carreteras. N. J GARber – L.A.Hoel (2005)

2.4.3 PRINCIPIOS DE LA ESTABILIZACIÓN BITUMINOSA²¹

Cuando se tratan los suelos con o sin cohesión propia con ligantes bituminosos con un único propósito, lograr su estabilización, se debe destacar que existe una marcada diferencia en la conformación y comportamiento de la estructura inerte-betún según se utilice uno u otro material como árido. Por lo tanto, para comprender el papel que desempeña en dicha estructura cada uno de sus componentes, debe efectuarse el análisis teórico considerando las dos estructuras separadamente.

a)- Sistema suelo-betún.

En el primer sistema la estabilidad de la estructura depende esencialmente de la fricción interna del árido y de la cohesión del ligante arcilla-agua del mismo. El betún actúa como agente impermeabilizante impidiendo así el acceso de agua al suelo y su acción perjudicial sobre el ligante arcilla-agua.

Como concepto fundamental se debe destacar que en este sistema la función primordial del betún no es producir cohesión sino proteger la cohesión del ligante arcilla-agua.

Con respecto a la forma cómo actúa el asfalto para producir el efecto impermeabilizante en los suelos se admite que el ligante bituminoso obtura los conductos capilares del suelo impidiendo el acceso de agua una vez que la humedad de la mezcla se vaya parcialmente evaporando, permitiendo así adquirir a la misma, la estabilidad necesaria para soportar las sollicitaciones a que estará sometida.

En apoyo a estas hipótesis puede citarse el hecho de que aumentando el tiempo de mezclado del suelo con el material bituminoso, más allá de ciertos límites, se verificaría una sensible disminución de la estabilidad de la mezcla a causa de una mayor distribución del betún que va recubriendo paulatinamente las partículas del suelo perturbando así el efecto cohesivo del ligante arcilla-

²¹ Fuente: "Mejoramiento y estabilización de suelos" Ing. Carlos Fernández.

agua. Por otra parte, es fácil verificar mediante observaciones con lupa de gran aumento que el betún se fija en los conductos capilares del suelo.

Asimismo, si a un suelo con plasticidad se le adiciona una cantidad excesiva de asfalto como para recubrir sus partículas, se observaría una sensible pérdida de estabilidad como consecuencia del mismo fenómeno.

b)- Sistema arena-betún.

En el segundo sistema donde el árido, de fricción interna adecuada, carece de cohesión propia, ésta debe ser aportada por el betún y por ello se observa que la cantidad de asfalto que interviene en estas estabilizaciones es superior a la del sistema anteriormente mencionado. En consecuencia la estabilización de estas arenas con materiales asfálticos implica la incorporación, hasta cierto límite, de mayores porcentajes de betún hasta recubrir las partículas y producir así el efecto ligante entre ellas. Un exceso de asfalto puede afectar la estabilidad del sistema por una disminución de la resistencia friccional de la arena.-

c) Sistema granular-betún (grava-arena-asfalto o suelo arena-asfalto)

Por último, debe destacarse que pueden existir estabilizaciones bituminosas donde el betún cumpla, con ambas funciones, es decir, aportando cohesión faltante e impermeabilizando el sistema (por ejemplo: materiales granulares de poca plasticidad).

Generalmente los suelos que tienen un $LL < 30$ y un $IP < 12$, pueden ser pulverizados adecuadamente y por lo tanto, mezclarse uniformemente con el asfalto.

Si la plasticidad excediera del valor indicado la misma puede ser reducida mediante la incorporación al suelo plástico de arenas o suelos arenosos no plásticos.

2.4.4. PROPIEDADES DEL SUELO QUE SE MEJORAN CON LAS TECNICAS DE ESTABILIZACION

Comúnmente las técnicas de estabilización revisadas anteriormente, pueden mejorar varias de las propiedades esenciales de los suelos; pero también puede aparecer el caso de que algunas de estas propiedades lleguen a deteriorarse inmediatamente o con el paso del tiempo, obteniendo resultados contradictorios a los objetivos que puede tener la estabilización de suelos. Para evitar esta situación, es importante elegir o especificar un sistema de estabilización que sea el correcto, además es necesario determinar la cantidad y tipo de estabilizante químico adecuado para cada caso particular. Pero lo más importante y necesario que debe realizarse para no caer en el error de obtener resultados desfavorables con un sistema de estabilización, es realizar la investigación del comportamiento de los materiales estabilizados, analizando a corto y a largo plazo las propiedades que se mejoran y el grado de perjuicio de otras, así como también el trabajo y dinero que implicaría la aplicación del sistema de estabilización.

De las diversas propiedades que presentan los suelos, las que más frecuentemente se busca mejorar con las técnicas de estabilización, son: la plasticidad, la estabilidad volumétrica, la resistencia, la permeabilidad, la compresibilidad y la durabilidad.

Por la importancia de tales propiedades para los fines que persigue el estudio, estas se explican brevemente en la siguiente sección.

Plasticidad.- La plasticidad del suelo está relacionada con el concepto de límites de Atterberg, el cual es muy conocido en la mecánica de suelos. Estos parámetros relacionan la capacidad que tiene el suelo cohesivo para adsorber agua sobre la superficie de sus partículas, ya que cuanto mayor es la cantidad de agua que contiene un suelo, menor es la interacción entre sus partículas adyacentes y más se aproxima el suelo en su comportamiento al de un

material líquido; por lo tanto, una alteración en los valores de estos límites indicara una modificación del agua adsorbida por el suelo.

Diversos autores han demostrado que puede lograrse un cambio de los límites de Atterberg, modificando químicamente la capacidad del mineral de arcilla para captar las moléculas de agua. En ese sentido, la estabilización química se ha usado con gran eficacia para modificar esta propiedad.

Estabilidad volumétrica.- Esta propiedad se refiere al apreciable cambio de volumen que sufren los suelos, debido a los cambios de humedad y los esfuerzos internos afectados por el agua.

Cuando un suelo saturado se seca, este disminuye de volumen visiblemente, fenómeno al cual se denomina comúnmente como retracción. Esta pérdida de volumen se debe a la desecación ocurrida en el suelo, que provoca una modificación en la tensión capilar del menisco formado en cada poro de la superficie. Consecuentemente, se produce una tracción en el agua del suelo y la correspondiente compresión en la estructura del mismo. Este esfuerzo de compresión en el suelo es bastante considerable, pues llega a ser tan efectivo como una carga externa aplicada al mismo.

Por otro lado, cuando un suelo en estado seco aumenta de humedad, consecuentemente aumenta también de volumen. Este fenómeno se conoce como expansión o hinchamiento; y especialmente en los suelos cohesivos se debe a diversos factores, como la atracción del agua por los minerales arcillosos, la repulsión eléctrica de las partículas de arcilla y de sus cationes absorbidos.

La estabilidad volumétrica está íntimamente relacionada con la composición mineralógica del suelo y también con los cambios climatológicos de la región, siendo muy peculiar esta propiedad en los suelos que contienen un alto porcentaje de minerales arcillosos.

La experiencia de muchos autores indica que la estabilidad volumétrica puede

modificarse cementando el material y disminuyendo la capacidad del mineral arcilloso para adsorber de agua. En ese sentido, varios investigadores han establecido que los tratamientos químicos y térmicos son muy útiles para mejorar esta propiedad, siendo estos últimos más aplicados a arcillas profundas.

Resistencia.-Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene el suelo de soportar cargas continuas o de tráfico, para no sufrir fallas y deformaciones inadmisibles en su estructura.

En general, todas las formas de estabilización química revisadas anteriormente, pueden mejorar en mayor o menor grado la resistencia del suelo; pero mucho depende de la cantidad de materia orgánica que contiene el mismo, ya que el efecto de la materia orgánica en el suelo estabilizado por medios químicos, reduce la reacción con el aditivo empleado y disminuye considerablemente la resistencia normalmente adquirida.

Permeabilidad.-La permeabilidad es una propiedad que indica la mayor o menor facilidad que tiene el agua de fluir a través de los vacíos del suelo, estando sujeta a un gradiente hidráulico determinado. Esta propiedad depende de una serie de factores y propiedades físicas del suelo, algunas de ellas como la temperatura, viscosidad del agua, el tamaño, la forma y el área de los conductos a través de los cuales circula el agua, son factores determinantes en esta propiedad.

La permeabilidad puede reducirse llenando los poros con un material impermeable o, modificando la estructura del mineral de arcilla con el fin de impedir la floculación de las partículas. Por otro lado, se puede aumentar la permeabilidad quitando los granos finos del suelo o creando una estructura conglomerada.

Los métodos de estabilización tales como la compactación y el uso de algunas sustancias químicas, pueden modificar significativamente la permeabilidad;

pero el uso de esta última técnica debe ser cuidadosamente analizado, ya que en algunos casos pueden ejercer efectos desfavorables en otras propiedades de los suelos.

Compresibilidad.-La compresibilidad es una propiedad que está relacionada íntimamente con el cambio volumétrico del suelo, el cual se manifiesta a través de un asentamiento. Este asentamiento es producido por el peso propio del material o por cargas externas superficiales que originan un cambio en la relación de vacíos, flexión y la distorsión o, cambio de formas de la fase sólida del suelo inmediatamente debajo de la carga. Asimismo, la fractura de los sólidos especialmente en los puntos de contacto es un factor irreversible en la compresibilidad de todos los suelos no cohesivos. Sin embargo, en las arcillas el factor más importante de la compresibilidad es la repulsión eléctrica entre sus partículas que tienen cargas iguales o, que están rodeadas de cationes con cargas semejantes que las mantienen apartadas.

La reducción de la compresibilidad del suelo puede lograrse llenando los poros del mismo, es decir, cementando los granos con un material rígido. Pero también, es posible reducir esta propiedad cambiando las fuerzas del agua adsorbida por el mineral de arcilla.

En términos generales, todos los métodos de estabilización revisados en anteriores secciones pueden influir en esta propiedad, pero frecuentemente la compactación y la estabilización química son las que más se utilizan.

Durabilidad.-Se entiende por durabilidad, a la propiedad que tiene el suelo de mantener las propiedades mecánicas en el tiempo y ofrecer resistencia al intemperismo, la erosión o abrasión del tráfico.

Esta propiedad suele estar muy relacionada con los suelos situados relativamente cerca de la superficie de rodamiento y puede afectar tanto a los suelos naturales como a los materiales estabilizados, por ello, es importante el tratamiento adecuado de la misma para alcanzar una buena

estabilización del suelo analizado.

La forma de estabilización más empleada para elevar la durabilidad del suelo es la estabilización química; sin embargo debemos aclarar que esta técnica en algunos casos ha tenido malos resultados a consecuencia de diseños inadecuados, y también a una mala elección del agente estabilizador, o un serio error en su uso. Por ello, es importante recalcar la importancia de la investigación de los materiales estabilizados antes de la aplicación de cualquier sistema de mejoramiento de suelos.

2.5.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO.-

La estadística, es una ciencia con base matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio. Es transversal a una amplia variedad de disciplinas, desde la Física hasta las Ciencias Sociales, desde las ciencias de la salud hasta el control de calidad. Se usa para la toma de decisiones en áreas de negocios o instituciones gubernamentales.

La Estadística se divide en dos ramas:

La estadística descriptiva.- Que se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Los datos pueden ser resumidos numérica o gráficamente. Ejemplos básicos de parámetros estadísticos son: la media y la desviación estándar. Algunos ejemplos gráficos son: histograma, pirámide poblacional, etc.

La inferencia estadística.-Que se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no (prueba de hipótesis), estimaciones de características numéricas (estimación), pronósticos

de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión). Otras técnicas de modelamiento incluyen series de tiempo y minería de datos.

Ambas ramas (descriptiva e inferencial) comprenden la Estadística Aplicada. Hay también una disciplina llamada Estadística Matemática, la cual se refiere a las bases teóricas de la materia. La palabra “Estadística”, también se refiere al resultado de aplicar un algoritmo estadístico a un conjunto de datos, como en estadísticas económicas, estadísticas criminales, etc.

2.5.1.-POBLACIÓN.-

El concepto de población en estadística va más allá de lo que comúnmente se conoce como tal. Una población se precisa como un conjunto finito o infinito de personas u objetos que presentan características comunes.

- "Una Población, es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones". Levin&Rubin (1996).
- "Una Población, es un conjunto de elementos que presentan una característica común". Cadenas (1974).

El tamaño que tiene una población es un factor de suma importancia en el proceso de investigación estadística, y este tamaño viene dado por el número de elementos que constituyen la población, según el número de elementos la población puede ser finita o infinita. Cuando el número de elementos que integra la población es muy grande, se puede considerar a esta como una población infinita, por ejemplo; el conjunto de todos los números positivos. Una población finita es aquella que está formada por un limitado número de elementos.

Cuando la población es muy grande, es obvio que la observación de todos los elementos se dificulte en cuanto al trabajo, tiempo y costos necesarios para hacerlo. Para solucionar este inconveniente se utiliza una muestra estadística.

Es a menudo imposible o poco práctico observar la totalidad de los individuos, sobre todos si éstos son muchos. En lugar de examinar el grupo entero llamado población o universo, se examina una pequeña parte del grupo llamada muestra.

2.5.2.-MUESTRA.-

- "Se llama Muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla". Murria R. Spiegel (1991).
- "Una Muestra es una colección de algunos elementos de la población, pero no de todos". Levin&Rubin (1996).
- "Una muestra debe ser definida en base de la población determinada, y las conclusiones que se obtengan de dicha muestra solo podrán referirse a la población en referencia", Cadenas (1974).

El estudio de muestras es más sencillo que el estudio de la población completa; cuesta menos y lleva menos tiempo. Por último, se ha probado que el examen de una población entera todavía permite la aceptación de elementos defectuosos; por tanto, en algunos casos, el muestreo puede elevar el nivel de calidad.

Una muestra representativa contiene las características relevantes de la población en las mismas proporciones que están incluidas en tal población.

Los expertos en estadística recogen datos de una muestra. Utilizan esta información para hacer referencias sobre la población que está representada por la muestra. En consecuencia muestra y población son conceptos relativos. Una población es un todo y una muestra es una fracción o segmento de ese todo.

2.5.3.-MUESTREO.-

Esto no es más que el conjunto de procedimientos o técnicas empleados para obtener una o más muestras de una población.

Este se realiza una vez que se ha establecido un marco muestral representativo de la población, se procede a la selección de los elementos de la muestra aunque hay muchos diseños de la muestra. Al tomar varias muestras de una población, las estadísticas que calculamos para cada muestra no necesariamente serían iguales, y lo más probable es que variarían de una muestra a otra.

Tipos de muestreo.- Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones; el muestreo no aleatorio o de juicio y el muestreo aleatorio o de probabilidad. En este último todos los elementos de la población tienen la oportunidad de ser escogidos en la muestra. Una muestra seleccionada por muestreo de juicio se basa en la experiencia de alguien con la población. Algunas veces una muestra de juicio se usa como guía o muestra tentativa para decidir cómo tomar una muestra aleatoria más adelante. Las muestras de juicio evitan el análisis estadístico necesario para hacer muestras de probabilidad.

2.5.4.-VARIABLES Y ATRIBUTOS.

Las variables, también suelen ser llamados caracteres cuantitativos, son aquellos que pueden ser expresados mediante números. Son caracteres susceptibles de medición. Como por ejemplo, la estatura, el peso, el salario, la edad, etc.

- Según, Murray R. Spiegel, (1992) "una variable es un símbolo, tal como X, Y, Hx, que puede tomar un valor cualquiera de un conjunto determinado de ellos, llamado dominio de la variable. Si la variable puede tomar solamente un valor, se llama constante."

Todos los elementos de la población poseen los mismos tipos de caracteres; pero, como éstos en general no suelen representarse con la misma intensidad, es obvio que las variables toman distintos valores. Por tanto, estos distintos números o medidas que toman los caracteres son los "valores de la variable". Todos ellos juntos constituyen una variable.

Los atributos también llamados caracteres cualitativos, son aquellos que no son susceptibles de medición; es decir, que no se pueden expresar mediante un número.

La forma de expresar los atributos es mediante palabras, por ejemplo: profesión, estado civil, sexo, nacionalidad, etc. Puede notar que los atributos no se presentan en la misma forma en todos los elementos. Estas distintas formas en que se presentan los atributos reciben el nombre de "modalidades".

2.5.5.-FORMAS DE OBSERVAR A LA POBLACIÓN.

- Atendiendo a la fuente se clasifican en **directa e indirecta**.

Observación directa: Es aquella donde se tienen un contacto directo con los elementos o caracteres en los cuales se presenta el fenómeno que se pretende investigar, y los resultados obtenidos se consideran datos estadísticos originales. Para Ernesto Rivas González (1997) "Investigación Directa, es aquella en que el investigador observa directamente los casos o individuos en los cuales se produce el fenómeno, entrando en contacto con ellos; sus resultados se consideran datos estadísticos originales, por esto se llama también a ésta, investigación primaria".

Observación indirecta: Es aquella donde la persona que investiga hace uso de datos estadísticos ya conocidos en una investigación anterior, o de datos observados por un tercero (persona o entidad). Con el fin de deducir otros hechos o fenómenos.

- Atendiendo a la periodicidad, puede ser **continua, periódica o circunstancial**.

Observación continua: Como su nombre lo indica es aquella que se lleva a cabo de un modo permanente.

Observación periódica: Es aquella que se lleva a cabo a través de períodos de tiempo constantes. Estos períodos de tiempos pueden ser: semanas, trimestres, semestres, años, etc. Lo que debemos destacar es que los períodos de tiempo tomados como unidad deben ser constantes en lo posible.

Observación circunstancial: Es aquella que se efectúa en forma ocasional o esporádica, esta observación hecha más por una necesidad momentánea, que de carácter regular o permanente.

- Atendiendo a la cobertura; pueden ser: **exhaustiva, parcial o mixta.**

Observación exhaustiva: Cuando la observación es efectuada sobre la totalidad de los elementos de la población se habla de una observación exhaustiva.

Observación parcial: Dado que las poblaciones en general son grandes, la observación de todos sus elementos se ve imposibilitada. La solución para superar este inconveniente es observar una parte de esta población.

Observación mixta: En este tipo de observación se combinan adecuadamente la observación exhaustiva con la observación parcial. Por lo general, este tipo de observaciones se lleva a cabo de tal manera que los caracteres que se consideran básicos se observan exhaustivamente y los otros mediante una muestra; o bien cuando la población es muy grande, parte de ella se observa parcialmente.

2.5.6.-DATOS ESTADÍSTICOS.

Los datos estadísticos no son otra cosa que el producto de las observaciones efectuadas en las personas y objetos en los cuales se produce el fenómeno que queremos estudiar. Dicho en otras palabras, son los antecedentes (en cifras) necesarios para llegar al conocimiento de un hecho o para reducir las consecuencias de este.

Los datos estadísticos se pueden encontrar de forma no ordenada, por lo que es muy difícil en general, obtener conclusiones de los datos presentados de esta manera. Para poder obtener una precisa y rápida información con propósitos de descripción o análisis, estos deben organizarse de una manera sistemática; es decir, se requiere que los datos sean clasificados. Esta clasificación u organización puede muy bien hacerse antes de la recopilación de los datos.

Clasificación de los datos estadísticos.- Los Datos Estadísticos pueden ser clasificados en: cualitativos, cuantitativos, cronológicos y geográficos.

- **Datos cualitativos:** Cuando los datos son cualitativos, la diferencia entre ellos es de clase y no de cantidad.
- **Datos cuantitativos:** Cuando los valores de los datos representan diferentes magnitudes, decimos que son datos cuantitativos.
- **Datos cronológicos:** Cuando los valores de los datos varían en diferentes instantes o períodos de tiempo, los datos son reconocidos como cronológicos.
- **Datos geográficos:** Cuando los datos están referidos a una determinada zona se dice que son datos geográficos.

Medidas de tendencia central.- En los capítulos anteriores, nos referimos a la clasificación, ordenación y presentación de datos estadísticos, limitando el análisis de la información a la interpretación porcentual de las distribuciones de frecuencia. El análisis estadístico propiamente dicho, parte de la búsqueda

de parámetros sobre los cuales pueda recaer la representación de toda la información.

Las medidas de tendencia central, llamadas así porque tienden a localizarse en el centro de la información, son de gran importancia en el manejo de las técnicas estadísticas, sin embargo, su interpretación no debe hacerse aisladamente de las medidas de dispersión, ya que la representatividad de ellas está asociada con el grado de concentración de la información.

Media aritmética.- Cotidiana e inconscientemente estamos utilizando la media aritmética. Cuando por ejemplo, decimos que un determinado fumador consume una cajetilla de cigarrillos diaria, no aseguramos que diariamente deba consumir exactamente los 20 cigarrillos que contiene un paquete sino que es el resultado de la observación, es decir, dicho sujeto puede consumir 18, un día; 19 otro; 20, 21, 22; pero según nuestro criterio, el número de unidades estará alrededor de 20.

Matemáticamente, la media aritmética se define como la suma de los valores observados dividida entre el número de observaciones: ²²

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

$\bar{X}$: Media aritmética de la variable X.

x_i : Valores de la variable X.

N: Número de observaciones.

Σ : Signo de sumatoria, indica que se debe sumar.

Media aritmética ponderada.- Hemos visto que la Media Aritmética se calcula con base a la magnitud de los datos, otorgándole igual importancia a cada uno de ellos. Sin embargo en muchas ocasiones la magnitud del dato esta

²² Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

ponderada con un determinado peso que lo afecta relativamente.

La Media Aritmética ponderada tiene en cuenta la importancia relativa de cada uno de los datos, para lo cual la definimos con la siguiente expresión:²³

$$\overline{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$\overline{X}_w$ Media aritmética ponderada.

x_i : Valor de la variable X.

w_i : Ponderación del ítem x_i .

La mediana.-Otra medida de tendencia central, utilizada principalmente en estadística no paramétrica, es la mediana, la cual no se basa en la magnitud de los datos, como la media aritmética, sino en la posición central que ocupa en el orden de su magnitud, dividiendo la información en dos partes iguales, dejando igual número de datos por encima y por debajo de ella.

La mediana cuando los datos no están agrupados en intervalos.- Partiendo de la información bruta, ordenamos los datos ascendente o descendentemente:

Si n es impar²⁴ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$

$$Me = x_{(\frac{n+1}{2})}$$

²³ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

²⁴ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

$$Me = \frac{x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}}{2}$$

Si n es par²⁵

La mediana cuando la información se encuentra agrupada en intervalos.-

Si la información esta agrupada en intervalos iguales, entonces la mediana se calcula según la siguiente expresión:²⁶

$$Me = LI + \frac{\frac{n}{2} - fa_{(i-1)}}{f_i} A ,$$

Me:Mediana

LI:Límite inferior del intervalo donde se encuentra la mediana (intervalo mediano),el cualse determina observando en que clase se encuentra la posición n/2.)

n: Número de observaciones.

f_i : Frecuencia del intervalo mediano.

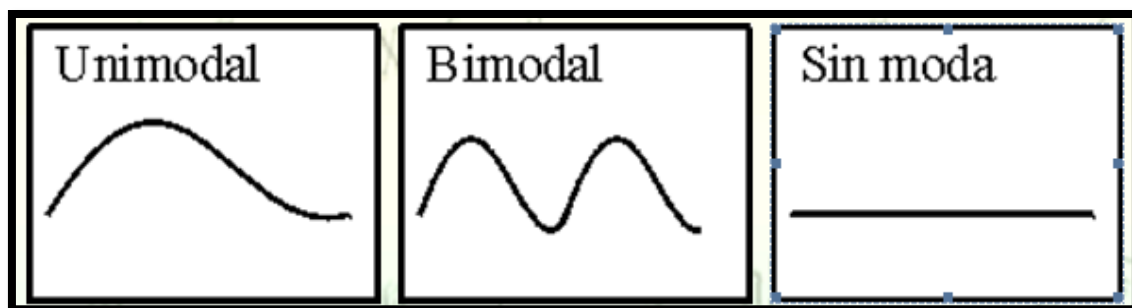
A:Amplitud del intervalo.

La moda.- La moda, como su nombre lo indica, es el valor más común (de mayor frecuencia dentro de una distribución). Una información puede tener una moda y se llama unimodal, dos modas y se llama bimodal, o varias modas y llamarse multimodal. Sin embargo puede ocurrir que la información no posea moda.

²⁵ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

²⁶ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

Figura2.25 -Tipos de moda²⁷



La moda cuando los datos no están agrupados en intervalos.- Se tomarán los datos que se repiten más dentro de la planilla

2.5.7.-MEDIDAS DE DISPERSIÓN.-

Las Medidas de Dispersión, también llamadas Medidas de Variabilidad, muestran la variabilidad de una distribución, indicando por medio de un número, si las diferentes puntuaciones de una variable están muy alejadas de la media.

Cuanto mayor sea ese valor, mayor será la variabilidad, cuanto menor sea, más homogénea será a la media. Así se sabe si todos los casos son parecidos o varían mucho entre ellos.

Para calcular la variabilidad que una distribución tiene respecto de su media, se calcula la media de las desviaciones de las puntuaciones respecto a la media aritmética.

Pero la suma de las desviaciones es siempre cero, así que se adoptan dos clases de estrategias para salvar este problema. Una es tomando las desviaciones en valor absoluto (Desviación media) y otra es tomando las desviaciones al cuadrado (Varianza).

Para medir el grado de dispersión de una variable, se utilizan principalmente los siguientes indicadores:

²⁷ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

Rango o recorrido.- Es la medida de dispersión más sencilla ya que solo considera los dos valores extremos de una colección de datos, sin embargo, su mayor utilización está en el campo de la estadística no paramétrica: ²⁸

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

$X_{\text{máx}}$, $X_{\text{mín}}$ son el máximo y el mínimo valor de la variable X , respectivamente.

Desviación estándar.- La variancia a veces no se interpreta claramente, ya que se mide en unidades cuadráticas. Para evitar ese problema se define otra medida de dispersión, que es la Desviación Típica, o Desviación Estándar, que se halla como la raíz cuadrada positiva de la variancia. La desviación típica informa sobre la dispersión de los datos respecto al valor de la media; cuanto mayor sea su valor, más dispersos estarán los datos.

Esta medida viene representada en la mayoría de los casos por S , dado que es su inicial de su nominación en inglés.

Desviación estándar muestral: ²⁹

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Desviación estándar poblacional: ³⁰

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}}$$

Varianza.- El problema de los signos en la desviación media, es eludido tomando los valores absolutos de las diferencias de los datos con respecto a la media aritmética. Ahora bien, la variancia obvia los signos elevando las diferencias al cuadrado, lo cual resulta ser más elegante, aparte de que es supremamente útil en el ajuste de modelos estadísticos que generalmente

²⁸ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

²⁹ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

³⁰ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

conlleven formas cuadráticas.

La varianza es uno de los parámetros más importantes en estadística paramétrica, se puede decir que, teniendo conocimiento de la varianza de una población, se ha avanzado mucho en el conocimiento de la población misma. Numéricamente definimos la varianza, como desviación cuadrática media de los datos con respecto a la media aritmética:³¹

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n}$$

S^2 :Varianza.

x_i : Valor de la variable X.

▪ : Media aritmética de la información.

f_i :. Frecuencia absoluta de la observación x_i .

n: Tamaño de la muestra.

m: Número de agrupamientos o intervalos.

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n}} \quad 32$$

La varianza es siempre positiva o 0: $S_X^2 \geq 0$

Coefficiente de variabilidad.- Generalmente interesa establecer comparaciones de la dispersión, entre diferentes muestras que posean distintas magnitudes o unidades de medida.

El coeficiente de variabilidad tiene en cuenta el valor de la media aritmética, para establecer un número relativo, que hace comparable el grado de

³¹ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

³² Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} 100$$

dispersión entre dos o más variables, y se define como:³³

Covarianza.-La Covarianza entre dos variables es un resumen estadístico indicador de si las puntuaciones están relacionadas entre sí. La formulación clásica, se simboliza por la letra griega sigma (σ) cuando ha sido calculada en la población. Si se obtiene sobre una muestra, se designa por la letra "s_{xy}".

La fórmula suele aparecer expresada como:³⁴

$$\hat{S}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1}$$

Este tipo de dato estadístico puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables si ambas utilizan una escala de medida a nivel de intervalo/razón (variables cuantitativas). La expresión se resuelve promediando el producto de las puntuaciones diferenciales por su tamaño muestral (n pares de puntuaciones, n-1 en su forma insesgada). Este estadístico, refleja la relación lineal que existe entre dos variables.

El resultado numérico fluctúa entre los rangos de +infinito a -infinito. Al no tener unos límites establecidos no puede determinarse el grado de relación lineal que existe entre las dos variables, sólo es posible ver la tendencia.

$$-\infty \leq S_{xy} \leq +\infty$$

$$S_{xy} = \begin{cases} > 0, & \text{Correlación directa. Recta de regresión creciente.} \\ = 0, & \text{No hay correlación.} \\ < 0, & \text{Correlación inversa. Recta de regresión decreciente.} \end{cases}$$

³³ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

³⁴ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

CAPÍTULO III LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN SUELO-EMULSIÓN

3.1. UBICACIÓN DE MATERIALES

Para el proceso de elaboración de la parte de aplicación práctica se tomaron muestras de 3 lugares:

EL PORTILLO

FIGURA 3.1. Limpieza de lugar para la extracción del suelo 1



FIGURA 3.2. Extracción del suelo 1



FINAL COLÓN Y TORRECILLAS

FIGURA 4.3. Limpieza del lugar para la extracción del suelo 2



FIGURA 3.4. Extracción del suelo 2



3.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

3.2.1.1. ANÁLISIS DE LA HUMEDAD DEL SUELO

El agua que se presenta en los suelos puede ser:

DRENABLE: Es aquella agua que puede ser drenada fácilmente por acción de la gravedad (agua libre), o procesos físicos conocidos.

El contenido de humedad se define por la relación:

$$\%h = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

%h = contenido de humedad

Pa = peso del agua

Ps = peso del suelo seco

Ph = peso del suelo humedo

TABLA 3.1 Contenido de humedad natural suelo 1

HUMEDAD NATURAL			
Comportamiento Mecánico arcilla - emulsión asfáltica			
Procedencia: EL Portillo	Identificación muestra: Suelo 1		
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	64,4	65,1	63,63
Peso de suelo seco + Cápsula	63,1	63,7	62,30
Peso de cápsula	21,6	21,1	21,50
Peso de suelo seco	41,5	42,6	40,80
Peso del agua	1,3	1,4	1,33
Contenido de humedad	3,13	3,29	3,26
Promedio	3,23		

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.2 Contenido de humedad natural suelo 2

HUMEDAD NATURAL			
Comportamiento Mecánico arcilla – Emulsión Asfáltica			
Procedencia: FINAL COLÓN	Identificación muestra: Suelo 2		
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	66,7	75,8	63,63
Peso de suelo seco + Cápsula	65,12	74,23	62,30
Peso de cápsula	21,6	21,1	21,50
Peso de suelo seco	43,52	53,13	40,80
Peso del agua	1,58	1,57	1,33
Contenido de humedad	3,63	2,96	3,26
Promedio	3,28		

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.3 Contenido de humedad natural suelo 3

HUMEDAD NATURAL			
Comportamiento Mecánico arcilla – Emulsión Asfáltica			
Procedencia: TORRECILLAS	Identificación muestra: Suelo 3		
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	83,46	92,10	63,63
Peso de suelo seco + Cápsula	81,25	89,81	62,30
Peso de cápsula	21,1	21,4	21,50
Peso de suelo seco	60,19	68,38	40,80
Peso del agua	2,21	2,29	1,33
Contenido de humedad	3,67	3,35	3,26
Promedio	3,43		

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.2. PESO ESPECÍFICO DEL SUELO ARCILLOSO

Gravedad Específica: Está definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados. Se representa la Gravedad Específica por G_s , y también se puede calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia a peso del agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua.

TABLA 3.4. Peso Específico Relativo Suelo 1

PESO ESPECIFICO RELATIVO						
Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Arcilla Emulsión Asfáltica						
Procedencia: El portillo						
Numero de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada °C	40,00	29,00	25,00	21,00	19,00	
Peso del suelo seco W_s	73,00	73,00	73,00	73,00	73,00	
Peso del frasco + agua W_{fw}	672,52	672,27	672,18	672,08	672,04	
Peso del frasco + agua + suelo W_{fws}	718,89	718,34	718,56	718,23	717,56	
Peso especifico	2,741	2,711	2,743	2,719	2,657	
Factor de corrección $K=0,99791$	0,99791	0,99791	0,99791	0,99791	0,99791	
Peso especifico corregido	2,747	2,717	2,749	2,724	2,662	2,720 g/cm^3

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.5. Peso Específico Relativo Suelo 2

PESO ESPECIFICO RELATIVO						
Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Arcilla Emulsión Asfáltica						
Procedencia: Final Colon						
Número de ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Temperatura ensayada °C	40,00	32,00	26,00	23,00	19,00	
Peso del suelo seco W _s	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	
Peso del frassco + agua W _{fw}	672,52	672,34	672,20	672,13	672,04	
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws}	718,23	718,12	718,10	718,10	718,15	
Peso específico	2,882	2,891	2,905	2,913	2,930	
Factor de correccion K= 0,99791	0,99791	0,99791	0,99791	0,99791	0,99791	
Peso específico corregido	2,888	2,897	2,911	2,919	2,937	2,910 (g/cm ³)

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3. ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA

Definiciones

El análisis granulométrico de una muestra de suelo consiste en determinar la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños de granos, definidos por las aberturas de las mallas utilizadas.

Procedimiento y Cálculos

1. Se colocó la muestra obtenida sobre la malla #200 y lavó el material, utilizando agua común, de tal manera que el agua arrastre los finos haciéndolos pasar por esta malla, hasta que el agua que pasa a través de la malla mantenga su transparencia.
2. Se vertió cuidadosamente el residuo, en un recipiente desecador y permitirle sedimentar por un período de tiempo suficiente hasta lograr que el agua en la parte superficial de la suspensión se vuelva transparente, eliminando esta agua transparente y colocando el recipiente con la suspensión suelo y agua remanentes en el horno para secado, al día siguiente, se pesó el residuo secado al horno, finalmente, se pasó la muestra (lavada y seca) por las mallas #4 a la #200, registrando el peso retenido en cada malla.

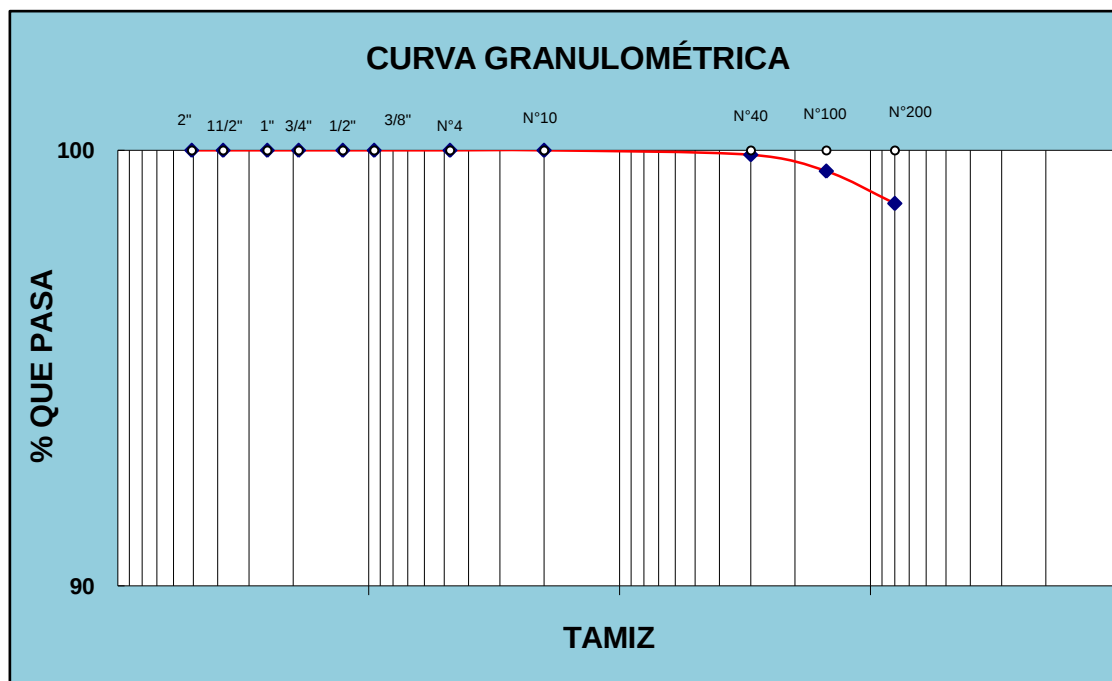
La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en un gráfico semi-logarítmico en donde en las abscisas se indican los diámetros de partículas y en ordenadas el porcentaje en peso que pasa.

TABLA 3.6. Granulometría suelo 1

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"						
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA						
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO :						
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SUELO ARCILLA- EMULSIÓN ASFÁLTICA						
GRANULOMETRÍA – ARCILLA						
POZO 1 PORTILLO						
Peso Total (gr.)			500,00			
Tamices	tamaño	Peso	Peso retenido acumulado	% que pasa	%Total	
	(mm)	Retenido (g)	(g)	(%)	del total	que pasa
Nº 40	0,30	0,50	0,50	0,10	99,90	99,90
Nº 100	0,15	1,90	2,40	0,48	99,52	99,52
Nº 200	0,08	3,70	6,10	1,22	98,78	98,78
P. Nº 200		493,90	500,00	100	0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia

GRÁFICA 3.1 Curva Granulométrica Suelo 1



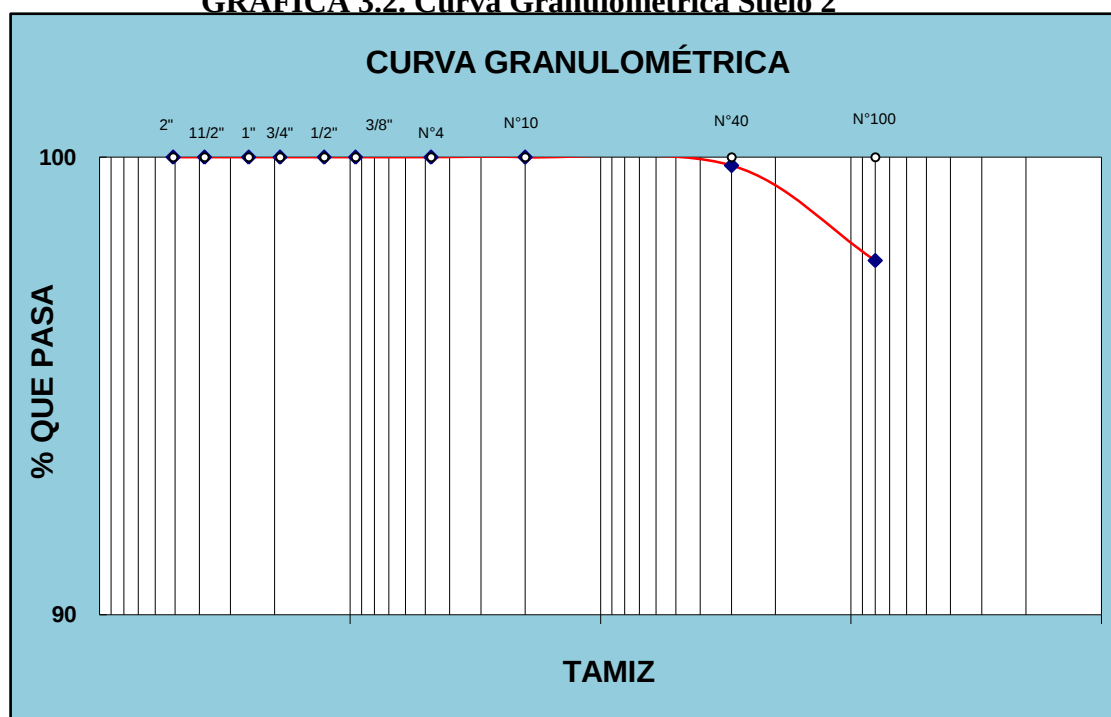
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.7. Granulometría suelo 2

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"						
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA						
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:						
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SUELO ARCILLA- EMULSIÓN ASFÁLTICA						
GRANULOMETRÍA – ARCILLA						
POZO 2 FINAL COLON						
Peso Total (gr.)		300,00				
Tamices	tamaño	Peso	Peso retenido acumulado		% que pasa	%Total
	(mm)	Retenido (g)	(g)	(%)	del total	que pasa
Nº 40	0,30	0,54	0,54	0,18	99,82	99,82
Nº 200	0,08	6,23	6,77	2,26	97,74	97,74
P. Nº 200		293,23	299,46	99,82	0,18	0,18

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.2. Curva Granulométrica Suelo 2



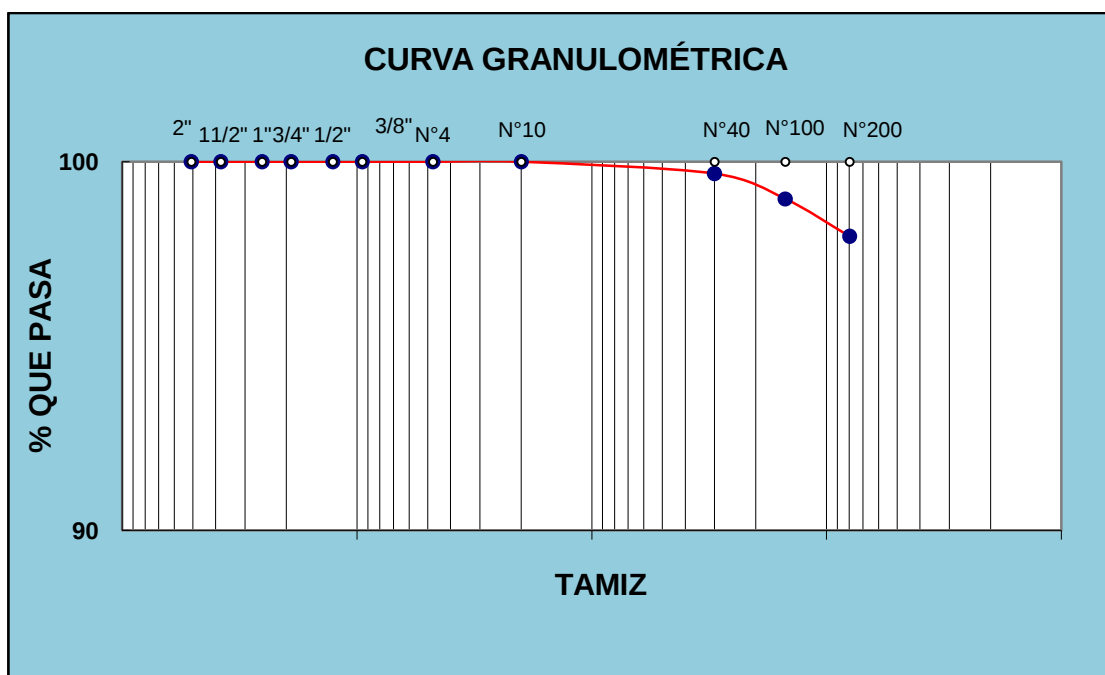
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.8. Granulometría suelo 3

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"						
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA						
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL						
PROYECTO:						
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SUELO ARCILLA- EMULSIÓN						
ASFÁLTICA						
GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO						
SUELO 3 TORRECILLAS						
Peso Total (gr.)			500,00			
Tamices	tamaño	Peso	Peso retenido acumulado		% que pasa	%Total
	(mm)	Retenido (g)	(g)	(%)	del total	que pasa
Nº 40	0,30	1,60	1,60	0,32	99,68	99,68
Nº 100	0,15	3,40	5,00	1,00	99,00	99,00
Nº 200	0,08	5,10	10,10	2,02	97,98	97,98
P. Nº 200		489,90	500,00	100,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.3. Curva Granulométrica Suelo 3



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.4. LÍMITES DE ATTERBERG

Preparación del material.

Se utiliza únicamente la parte del suelo que pasa por la malla # 40 (0.42 mm).

Se procedió a agregar o retirar agua según sea necesario y revolver la muestra hasta obtener una pasta semi-líquida homogénea en términos de humedad.

Determinación del límite líquido. (LL)

El límite se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones Stándard, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo.

Determinación del límite plástico

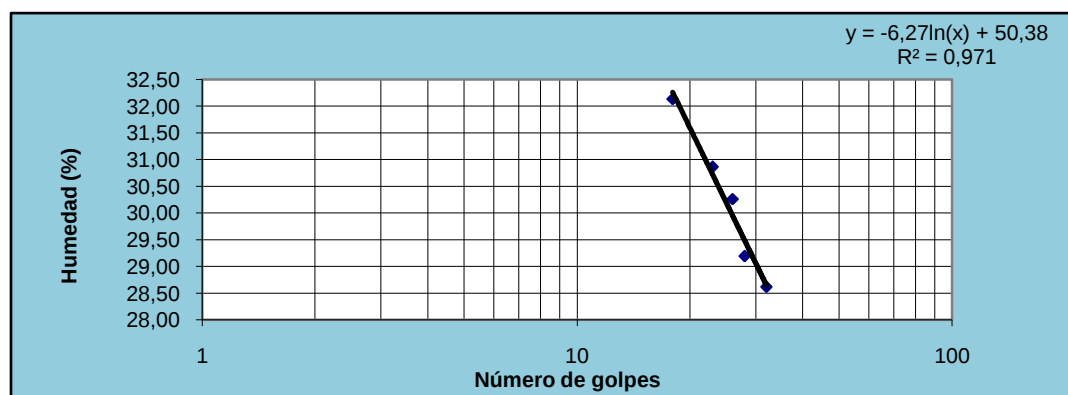
El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porciento, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm. de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

TABLA 3.9 Determinación Límite Líquido Suelo 1

PROYECTO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ARCILLA-EMULSIÓN ASFÁLTICA					
SUELO 1 PORTILLO					
Límite Líquido					
Cápsula	27	105	33	2	7
No de golpes	32	28	26	23	18
Peso suelo húmedo + cápsula (g)	38,45	40,63	42,38	39,67	40,21
Peso suelo seco + cápsula (g)	34,59	36,24	37,46	35,22	35,49
Peso del agua (g)	3,86	4,39	4,92	4,45	4,72
Peso de cápsula (g)	21,10	21,20	21,20	20,80	20,80
Peso suelo seco (g)	13,49	15,04	16,26	14,42	14,69
Porcentaje de humedad (%)	28,61	29,19	30,26	30,86	32,13

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.4 Determinación Límite Líquido Suelo 1



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.10. Límites de Atterberg suelo 1

Límite Plástico				
Cápsula	13	3	119	114
Peso suelo húmedo + cápsula (g)	22,10	21,95	21,83	22,04
Peso suelo seco + cápsula (g)	21,98	21,84	21,75	21,96
Peso del agua (g)	0,12	0,11	0,08	0,08
Peso de cápsula (g)	21,10	21,00	21,10	21,30
Peso suelo seco (g)	0,88	0,84	0,65	0,66
Porcentaje de humedad (%)	13,64	13,10	12,31	12,12
Límite Líquido	30,21			
Límite Plástico	12,79			
Índice de Plasticidad	17,42			

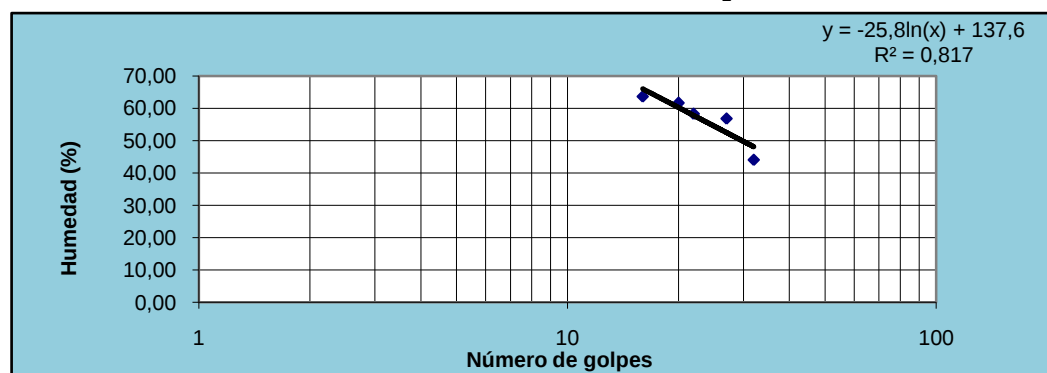
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.11. Determinación Límite Líquido Suelo 2

PROYECTO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ARCILLA EMULSIÓN ASFÁLTICA						
SUELO 2 FINAL COLON						
	Límite	Líquido				
Cápsula		119	114	3	27	105
No de golpes		32	27	22	20	16
Peso suelo húmedo + cápsula	(g)	37,12	34,71	39,08	34,95	40,53
Peso suelo seco + cápsula	(g)	32,22	29,85	32,42	29,67	33,01
Peso del agua	(g)	4,90	4,86	6,66	5,28	7,52
Peso de cápsula	(g)	21,10	21,30	21,00	21,10	21,20
Peso suelo seco	(g)	11,12	8,55	11,42	8,57	11,81
Porcentaje de humedad	(%)	44,06	56,84	58,32	61,61	63,67

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.5. Determinación Límite Líquido Suelo 2



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.12. Límites de Atterberg suelo 2

Límite Plástico					
Cápsula		13	7	2	33
Peso suelo húmedo + cápsula	(g)	21,60	21,33	21,28	21,78
Peso suelo seco + cápsula	(g)	21,52	21,24	21,20	21,68
Peso del agua	(g)	0,08	0,09	0,08	0,10
Peso de cápsula	(g)	21,10	20,80	20,80	21,20
Peso suelo seco	(g)	0,42	0,44	0,40	0,48
Porcentaje de humedad (%)		19,05	20,45	20,00	20,83
Límite Líquido		54,45			
Límite Plástico		20,08			
Índice de Plasticidad		34,37			

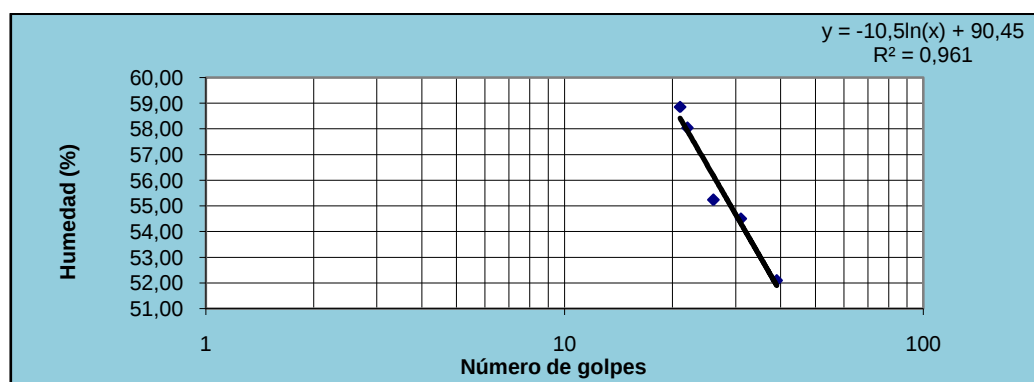
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.13. Determinación Límite Líquido Suelo 3

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ARCILLA EMULSIÓN ASFÁLTICA					
Suelo 3 TORRECILLAS					
Límite Líquido					
Cápsula	119	114	3	27	105
No de golpes	39	31	26	22	21
Peso suelo húmedo + cápsula (g)	36,02	40,35	39,55	40,08	40,50
Peso suelo seco + cápsula (g)	30,91	33,63	32,95	33,11	33,35
Peso del agua (g)	5,11	6,72	6,60	6,97	7,15
Peso de cápsula (g)	21,10	21,30	21,00	21,10	21,20
Peso suelo seco (g)	9,81	12,33	11,95	12,01	12,15
Porcentaje de humedad (%)	52,09	54,50	55,23	58,03	58,85

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.6. Determinación Límite Líquido Suelo 3



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.14. Límites de Atterberg suelo 3

Límite Plástico				
Cápsula	13	7	2	33
Peso suelo húmedo + cápsula (g)	21,80	21,32	21,38	21,72
Peso suelo seco + cápsula (g)	21,65	21,24	21,23	21,59
Peso del agua (g)	0,15	0,08	0,15	0,13
Peso de cápsula (g)	21,20	21,00	20,80	21,20
Peso suelo seco (g)	0,45	0,24	0,43	0,39
Porcentaje de humedad (%)	33,33	33,33	34,88	33,33
Límite Líquido	56,56			
Límite Plástico	33,72			
Índice de Plasticidad	22,84			

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.5 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Se clasifico el suelo mediante 2 métodos.

EL Primer método utilizado es el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados.

Dicha clasificación se vale de unos **símbolos de grupo**, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades.

TABLA 3.15. Clasificación suelo metodo SUCS

DESCRIPCION	SUELO 1	SUELO 2	SUELO 3
Límite Líquido	30,21	54,45	56,56
Límite plastico	12,79	20,08	33,72
Indice de plasticidad	17,42	34,37	22,84
Clasificación suelo	Arcilla con baja plasticidad (CL)	Arcilla con alta plasticidad (CH)	Limos inorganicos (MH)

Fuente: Elaboración Propia

El segundo método realizado fue: AASHTO fue desarrollada por los ilustres geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano.

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos numerados.

TABLA 3.16. Granulometría Suelo 1

Tamices	tamaño	Peso	Peso retenido acumulado		% que pasa	%Total
	(mm)	Retenido (g)	(g)	(%)	del total	que pasa
N° 40	0,30	0,50	0,50	0,10	99,90	99,90
N° 100	0,15	1,90	2,40	0,48	99,52	99,52
N° 200	0,08	3,70	6,10	1,22	98,78	98,78
P. N° 200		493,90	500,00	100	0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.17. Granulometría Suelo 2

Tamices	tamaño	Peso	Peso retenido acumulado		% que pasa	%Total
	(mm)	Retenido (g)	(g)	(%)	del total	que pasa
N° 40	0,30	0,54	0,54	0,18	99,82	99,82
N° 200	0,08	6,23	6,77	2,26	97,74	97,74
P. N° 200		293,23	299,46	99,82	0,18	0,18

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.18. Granulometría Suelo 3

Tamices	tamaño	Peso	Peso retenido acumulado		% que pasa	%Total
	(mm)	Retenido (g)	(g)	(%)	del total	que pasa
N° 40	0,30	1,60	1,60	0,32	99,68	99,68
N° 100	0,15	3,40	5,00	1,00	99,00	99,00
N° 200	0,08	5,10	10,10	2,02	97,98	97,98
P. N° 200		489,90	500,00	100,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.19. Clasificación del suelo metodo AASTHO

DESCRIPCION	SUELO 1	SUELO 2	SUELO 3
Límite Líquido	30,21	54,45	56,56
Límite plástico	12,79	20,08	33,72
Índice de plasticidad	17,42	34,37	22,84
Clasificación suelo	A-6(16)	A-7-6	A-7-5(16)

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.6. COMPACTACIÓN

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volúmenes de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire.

La compactación está relacionada con la densidad máxima o peso volumétrico seco máximo del suelo que para producirse es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada que se conoce como humedad óptima.

La importancia de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

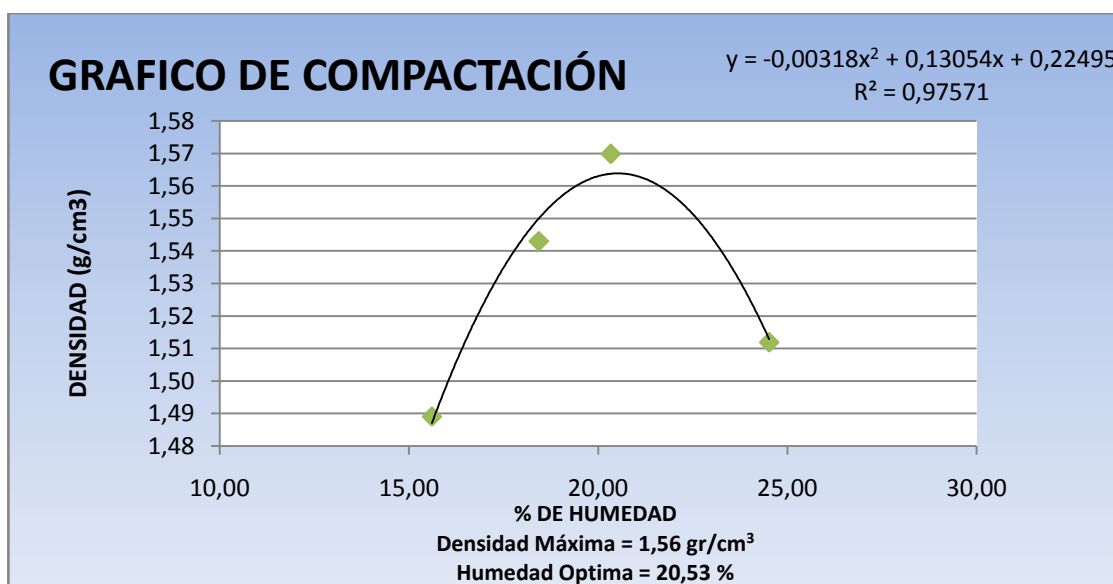
Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.

TABLA 3.20. Compactación T-180 Suelo 1

COMPACTACION T-180				
PROYECTO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ARCILLA EMULSIÓN ASFÁLTICA				
Muestra: Suelo 1 El Portillo		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9887,5	10111,5	10241,5	10227,8
Peso del molde	6250,9	6250,9	6250,9	6250,9
Peso suelo húmedo	3636,6	3860,6	3990,6	3976,9
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,72	1,83	1,89	1,88
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	66,36	72,16	78,83	67,43
Peso suelo seco + cápsula	60,19	64,28	69,15	58,32
Peso del agua	6,17	7,88	9,68	9,11
Peso de la cápsula	20,65	21,53	21,54	21,16
Peso suelo seco	39,54	42,75	47,61	37,16
Contenido de humedad (%h)	15,60	18,43	20,33	24,52
Densidad suelo seco (gr/cm3)	1,49	1,54	1,57	1,51

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.5. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima suelo 1



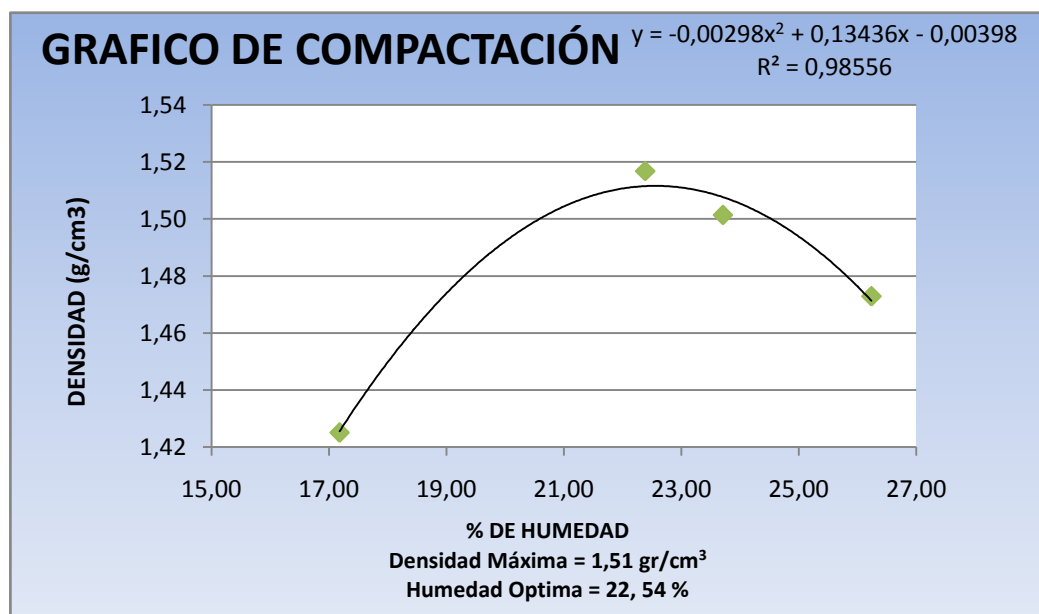
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.21. Compactación T-180 Suelo 2

COMPACTACION T-180				
PROYECTO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ARCILLA EMULSIÓN ASFÁLTICA				
Muestra: Final Colon		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9508,7	9902,7	9904,7	9909,0
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3527,6	3921,6	3923,6	3927,9
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,67	1,86	1,86	1,86
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	67,77	74,57	81,14	68,74
Peso suelo seco + cápsula	61,20	65,29	70,16	59,33
Peso del agua	6,57	9,28	10,98	9,41
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	38,24	41,45	46,31	35,86
Contenido de humedad (%h)	17,18	22,39	23,71	26,24
Densidad suelo seco (gr/cm3)	1,43	1,52	1,50	1,47

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.6. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Optima suelo 2



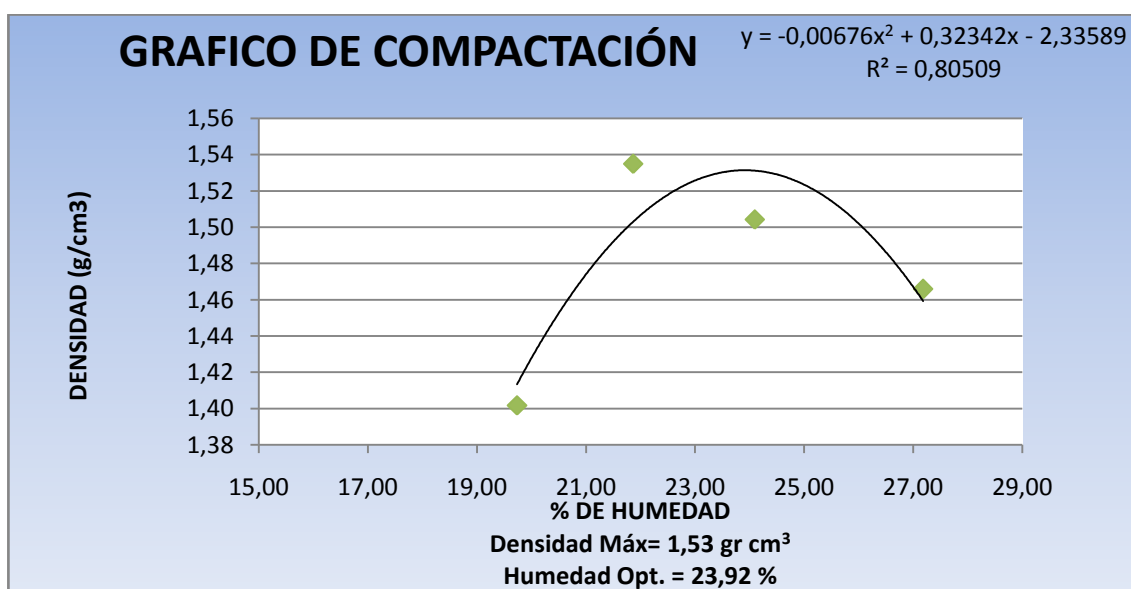
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.22. Compactación T-180 Suelo 3

COMPACTACION T-180				
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ARCILLA EMULSIÓN ASFÁLTICA				
Muestra: Suelo 3		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	0
Nº de golpes por capa	56	56	56	0
Peso suelo húmedo + molde	9526,56	9932,54	9924,43	9919,4
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3545,46	3951,44	3943,33	3938,32
Volumén de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,68	1,87	1,87	1,86
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	69,55	76,79	80,4	69,7
Peso suelo seco + cápsula	61,87	67,29	69,42	59,82
Peso del agua	7,68	9,5	10,98	9,88
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	38,91	43,45	45,57	36,35
Contenido de humedad (%h)	19,74	21,86	24,09	27,18
Densidad suelo seco (gr/cm3)	1,40	1,53	1,50	1,47

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.7. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Optima suelo 3



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.7. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kg. /cm²(libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado, en ecuación, esto se expresa: CBR = Carga unitaria de ensayo

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \cdot 100$$

100Carga unitaria patrón Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son

TABLA 3. 23. Valores de Carga Unitaria

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN		
mm	Pulgada	Mpa	Kg. /cm ²	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm(0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico determinado utilizando el ensayo de compactación estándar.

TABLA 3. 24. Determinación Contenido Humedad y Peso Unitario Suelo 1 para CBR.

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)												
Muestra	LL	IP	Clasificación.		H. Opt.		D. Máx					
1	30	17	A-6(16)		20,53		1,56					
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO												
Nº capas			5			5			5			
Nº golpes por capa			12			25			56			
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojar		D. de M		Antes de mojar		D. de M		Antes de mojar	D. de M	
Peso muestra húm.+molde		10113		10268		11138		11271		11160		11285
Peso Molde		5912		5912		6907		6907		6234,1		6234,1
Peso muestra húmeda		4201		4356		4231		4364		4925,9		5050,9
Volumen de la muestra		3211		3211		3211		3211		3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.		1,308		1,357		1,318		1,359		1,534		1,573
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.		
Tara Nº		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Peso muestra húm + tara		64,53	63,07	62,06	50,73	51,77	58,3	97,6	97,4	101		
Peso muestra seca + tara		56,33	53,16	53,01	46,55	45,97	51,59	87,4	86,1	92		
Peso del agua		8,2	9,91	9,05	4,18	5,8	6,71	10,2	11,3	9		
Peso de tara		17,14	16,88	16,74	17,73	17,22	17,02	17,61	17,11	17,13		
Peso de la muestra seca		39,19	36,28	36,27	28,82	28,75	34,57	69,79	68,99	74,87		
Contenido humedad %		20,92	27,315	24,952	14,504	20,17	19,41	14,615	16,38	12,021		
Promedio cont. Humedad		24,12		24,952		17,34		19,41		15,50		12,021
Peso Unit.muestra seca		1,054		1,0857		1,123		1,1382		1,328		1,4042

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.25. Expansión Suelo 1

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,9	0,79	0	6,34	0,634	0	6,33	0,633	0
2	10,35	1,035	1,378	9,15	0,915	1,5804	7,88	0,788	0,8718
3	11,21	1,121	1,8616	10,95	1,095	2,5928	10,2	1,02	2,1766
4	12,32	1,232	2,4859	11,97	1,197	3,1665	11,23	1,123	2,7559

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.26. Ensayo C.B.R. Suelo 1

C.B.R.											
PENETRACION	CARGA		MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
	NORMAL		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		18,0	0,9		19,7	1,0		21,4	1,1	
0,05	1,27		23,0	1,2		28,0	1,4		33,0	1,7	
0,075	1,9		43,0	2,2		45,5	2,3		48,0	2,5	
0,1	2,54	1360	49,6	2,6	3,6	53,8	2,8	4,0	57,9	3,0	4,3
0,2	5,08	2040	77,9	4,0	3,8	102,0	5,3	5,0	126,1	6,5	6,2
0,3	7,62		116,1	6,0		153,5	7,9		190,9	9,9	
0,4	10,16		111,1	5,7		151,0	7,8		190,9	9,9	
0,5	12,7		111,1	5,7		151,0	7,8		190,9	9,9	

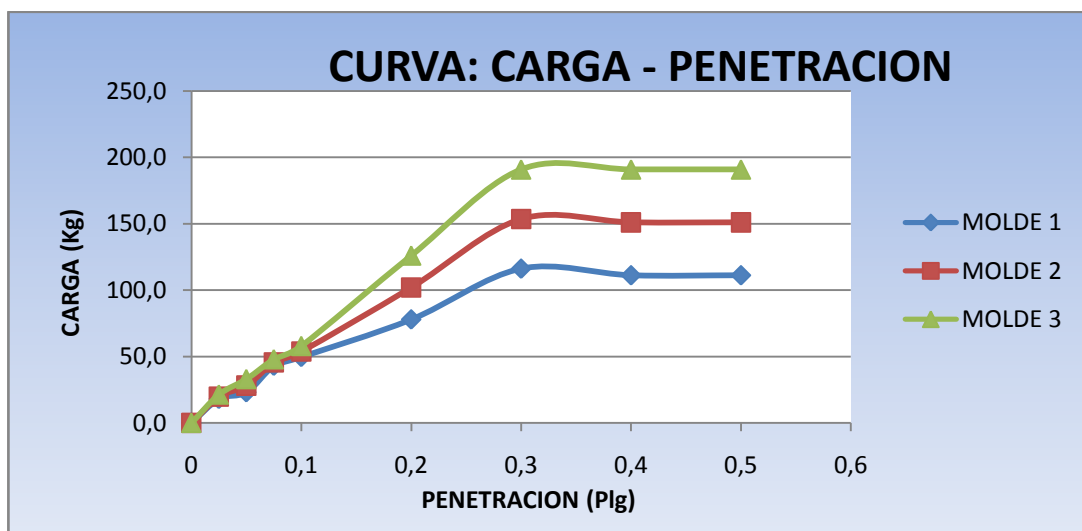
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.27. CBR VS Peso Unitario Suelo 1

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm3
3,8	1,054
5,0	1,123
6,2	1,328

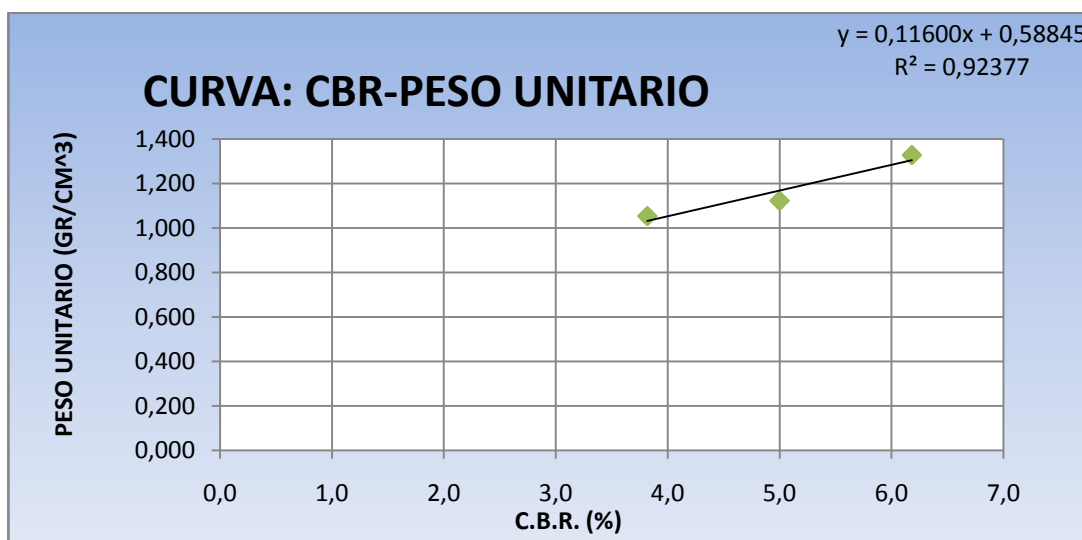
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.8. Curva Carga VS Penetración Suelo 1



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.9. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 1



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.28. CBR al 100% y 95 % Suelo 1

CBR 100% D.máx
6 %
CBR 95% D.Máx.
5 %

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3. 29. Determinación Contenido Humedad y Peso Unitario Suelo 2 para CBR.

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
	Muestra	LL	IP	Clasific.	H. Opt.	D. Máx			
	2	55,45	34,37	A-7.6	22,54	1,52			
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5		5			5			
Nº golpes por capa	12		25			56			
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10310,5		10266	11435,5		11269	12340		12300
Peso Molde	5909,5		5910	6904,5		6904,5	7255		7255
Peso muestra húmeda	4401		4356	4531		4364	5085		5045
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,371		1,357	1,411		1,359	1,584		1,571
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	66,39	64,84	63,83	54,5	54,57	60,07	101,5	101	100,4
Peso muestra seca + tara	58,1	54,93	54,78	48,32	47,74	53,36	90,9	88,3	90
Peso del agua	8,29	9,91	9,05	6,18	6,83	6,71	10,6	12,7	10,4
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	39,19	36,28	36,27	28,82	28,75	34,57	46,4	43,6	54,6
Contenido humedad %	21,15	27,315	24,952	21,443	23,76	19,41	22,845	29,13	19,04762
Promedio cont. Humedad	24,23		24,952	22,60		19,41	25,99		19,04762
Peso Unit.muestra seca	1,103		1,0857	1,151		1,1382	1,257		1,319776

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.30. Expansión Suelo 2

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,9	0,79	0	6,34	0,634	0	7,81	0,781	0
2	10,35	1,035	1,378	9,15	0,915	1,5804	10,25	1,025	1,372328
3	11,21	1,121	1,8616	10,95	1,095	2,5928	12,3	1,23	2,525309
4	12,32	1,232	2,4859	11,97	1,197	3,1665	12,97	1,297	2,902137

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.31. Ensayo C.B.R. Suelo 2

C.B.R.											
PENETRACION	CARGA		MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
	NORMAL		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		14,7	0,8		18,0	0,9		21,4	1,1	
0,05	1,27		15,0	0,8		19,9	1,0		24,7	1,3	
0,075	1,9		17,4	0,9		22,7	1,2		28,0	1,4	
0,1	2,54	1360	18,7	1,0	1,4	28,3	1,5	2,1	38,0	2,0	2,8
0,2	5,08	2040	28,7	1,5	1,4	41,6	2,2	2,0	54,6	2,8	2,7
0,3	7,62		29,7	1,5		41,3	2,1		53,0	2,7	
0,4	10,16		29,7	1,5		41,3	2,1		53,0	2,7	
0,5	12,7		29,7	1,5		41,3	2,1		53,0	2,7	

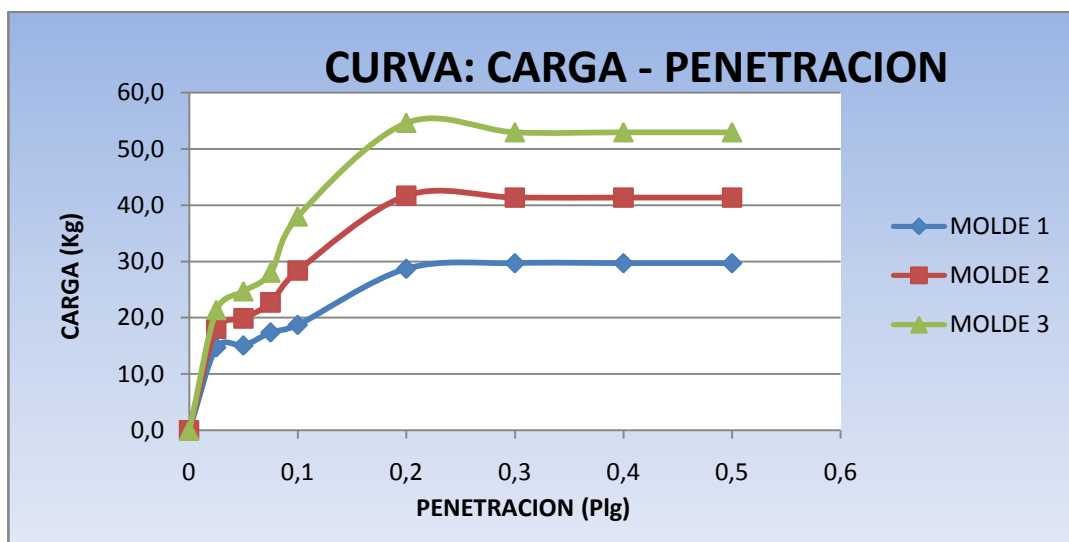
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.32. CBR VS Peso Unitario Suelo 2

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm3
1,4	1,103
2,0	1,151
2,7	1,257

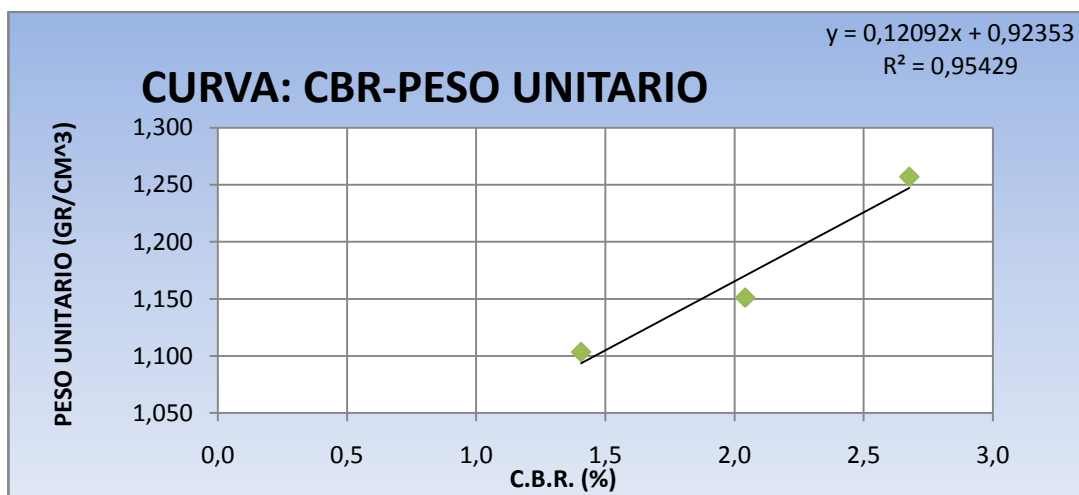
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.10. Curva Carga VS Penetración Suelo 2



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.11. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 2



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.33. CBR al 100% y 95 % Suelo 2

CBR 100% D.máx	
5	%
CBR 95% D.Máx.	
4	%

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3. 34. Determinación Contenido Humedad y Peso Unitario Suelo 3 para CBR.

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10324,21		10686	11585,5		11469	12520		12300
Peso Molde	5910,5		5911	6910,5		6911,5	7258		7262
Peso muestra húmeda	4413,71		4775	4675		4557	5262		5038
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,375		1,487	1,456		1,419	1,639		1,569
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	66,9	65,32	61,3	54,5	54,7	60	101	100,5	100,2
Peso muestra seca + tara	57,81	56,37	53,68	47,92	47,82	52,76	90,23	89,7	89,15
Peso del agua	9,09	8,95	7,62	6,58	6,88	7,24	10,77	10,75	11,05
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	38,9	37,72	35,17	28,42	28,83	33,97	45,73	45	53,75
Contenido humedad %	23,37	23,727	21,666	23,153	23,86	21,313	23,551	23,89	20,55814
Promedio cont. Humedad	23,55		21,666	23,51		21,313	23,72		20,55814
Peso Unit.muestra seca	1,113		1,2223	1,179		1,1699	1,325		1,301432

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.35. Expansión Suelo 3

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,7	0,77	0	6,3	0,63	0	7,85	0,785	0
2	10,15	1,015	1,378	9,1	0,91	1,5748	10,28	1,028	1,366704
3	11,09	1,109	1,9066	10,9	1,09	2,5872	12,35	1,235	2,530934
4	12	1,2	2,4184	11,93	1,193	3,1665	12,94	1,294	2,862767

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.36. Ensayo C.B.R. Suelo 3

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		14,7	0,8		18,0	0,9		21,4	1,1	
0,05	1,27		15,7	0,8		21,2	1,1		26,7	1,4	
0,075	1,9		18,0	0,9		23,0	1,2		28,0	1,4	
0,1	2,54	1360	20,0	1,0	1,5	29,0	1,5	2,1	38,0	2,0	2,8
0,2	5,08	2040	30,7	1,6	1,5	42,6	2,2	2,1	54,6	2,8	2,7
0,3	7,62		30,7	1,6		41,8	2,2		53,0	2,7	
0,4	10,16		30,7	1,6		41,8	2,2		53,0	2,7	
0,5	12,7		30,7	1,6		41,8	2,2		53,0	2,7	

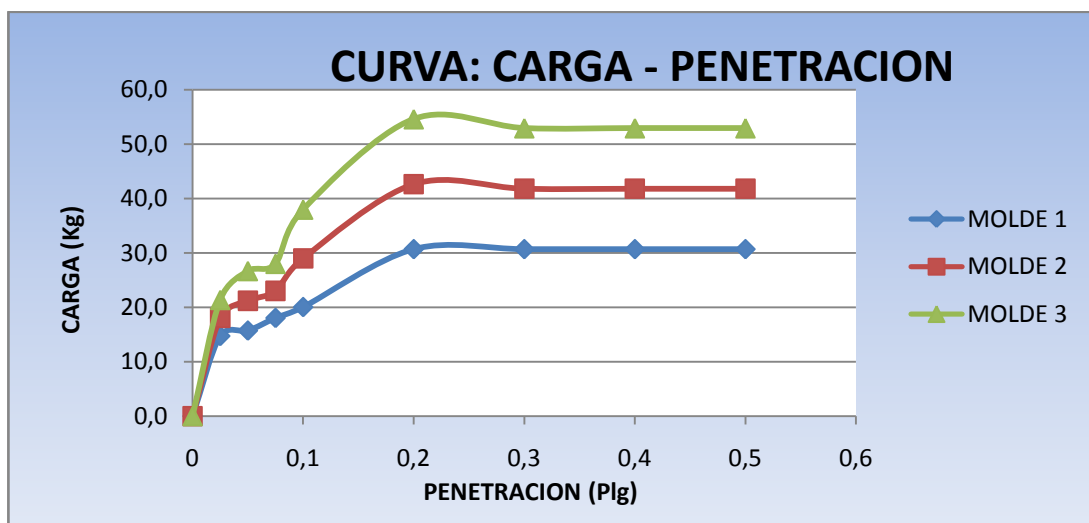
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.37. CBR VS Peso Unitario Suelo 3

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm3
1,5	1,113
2,1	1,179
2,7	1,325

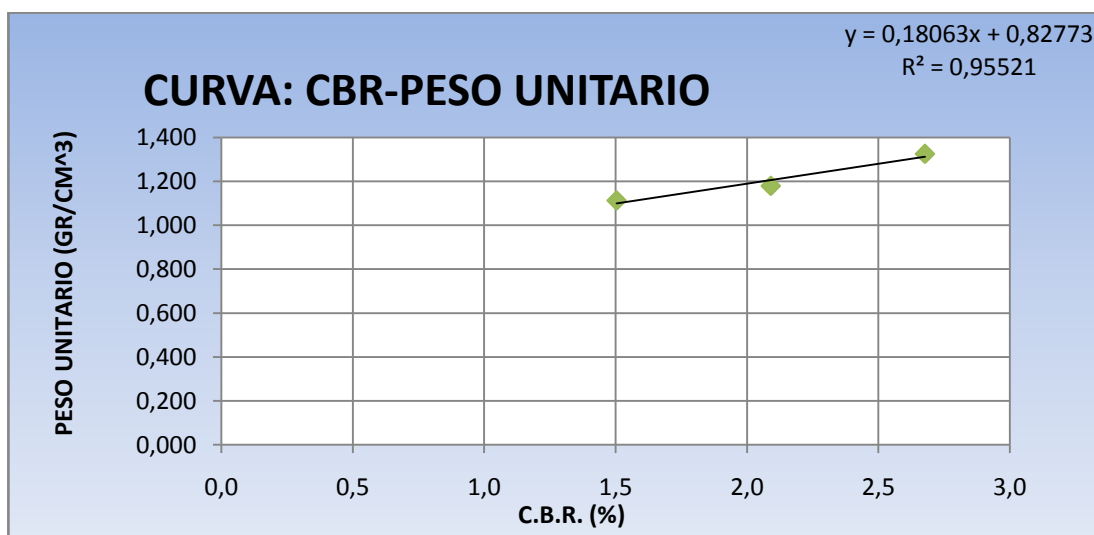
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.12. Curva Carga VS Penetración Suelo 3



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.13. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 3



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.38. CBR al 100% y 95 % Suelo 3

CBR 100% D. máx.
4 %
CBR 95% D. Máx.
3 %

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.8 COMPRESION SIMPLE

El objetivo primario del ensayo de compresión no confinada es obtener rápidamente un valor aproximado de la resistencia a la compresión (cual es normalmente exhiben propiedades cohesivas), frecuentemente presentan una mayor resistencia al corte cuando se ensayan.

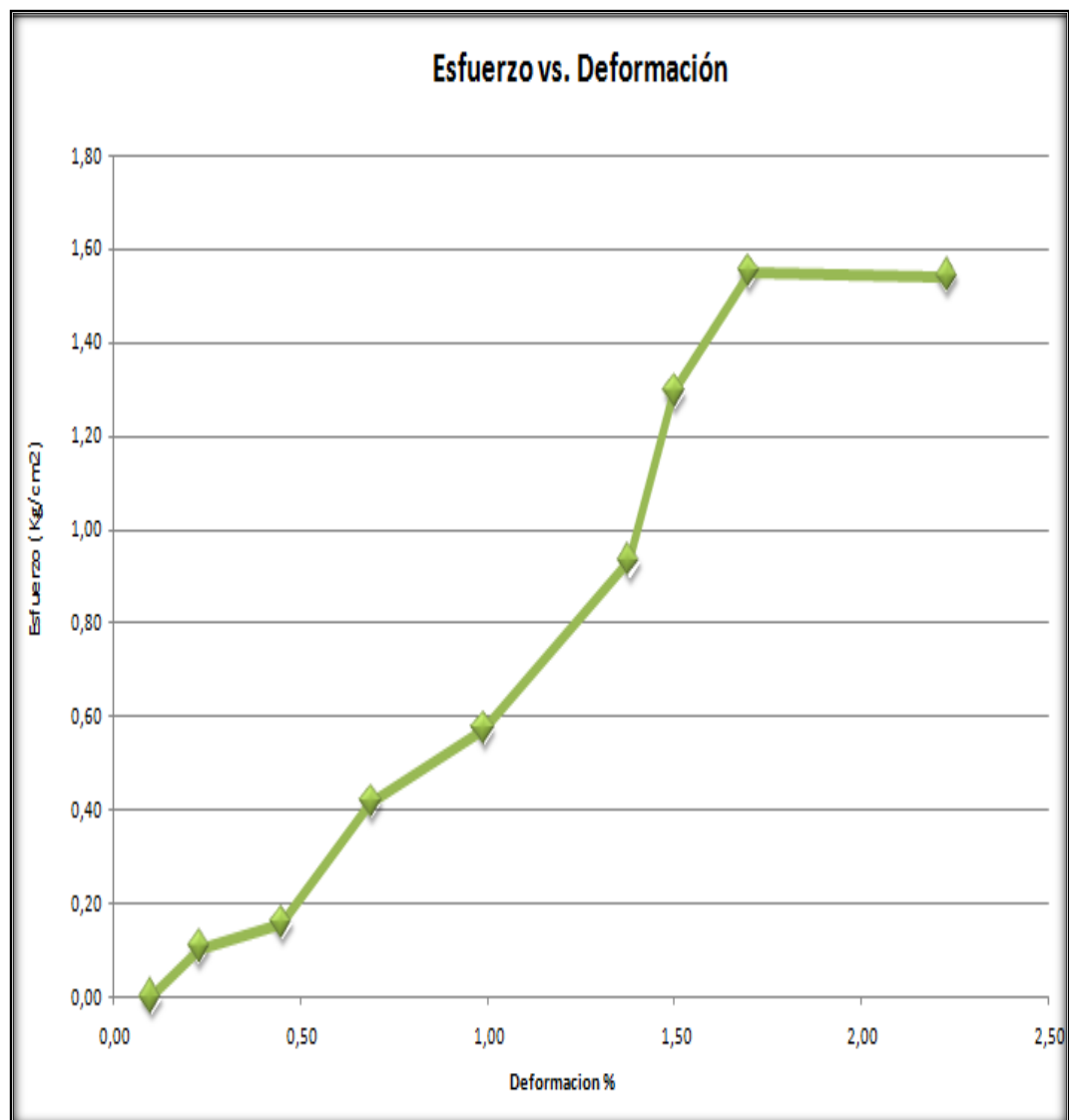
La sensibilidad del material puede ser determinada si se llevan a cabo ensayos sobre la misma muestra en condiciones alterada e inalterada. Este método de determinación de la sensibilidad es adecuado solo para suelos que pueden mantener una forma estable al ser remodelados.

Es importante comprender el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, ya que es en ellos o sobre ellos que se van a fundar las estructuras, ya sean puentes, edificios o carreteras, que quieren de una base firme, o mas aun que pueden aprovechar las resistencias del suelo en beneficio de su propia capacidad y estabilidad, siendo el estudio y la experimentación de herramientas para conseguirlo, y finalmente poder predecir, con una cierta aproximación el comportamiento ante las cargas de estas estructuras.

TABLA 3.39. Resistencia a Compresión Simple Suelo 1

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO: Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica								
MUESTRA: EL PORTILLO								
DATOS								
Diámetro		4,97				cm.		
Alt. Inicial		10				cm.		
Área		19,40				cm ²		
Volumen		194,00				cm ³		
P. Húmedo		340,25				gr.		
P. Unitario		1,75				gr/cm ³		
Alt. Final		10,00				cm		
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,23	0,00230	0,99770	19,44	20	2,041	0,10	0,23
0,05	0,45	0,00450	0,99550	19,49	30	3,061	0,16	0,45
0,075	0,69	0,00690	0,99310	19,53	80	8,163	0,42	0,69
0,1	0,99	0,00990	0,99010	19,59	110	11,224	0,57	0,99
0,2	1,38	0,01380	0,98620	19,67	180	18,367	0,93	1,38
0,3	1,5	0,01500	0,98500	19,70	250	25,510	1,30	1,50
0,4	1,7	0,01700	0,98300	19,74	300	30,612	1,55	1,70
0,5	2,23	0,02230	0,97770	19,84	300	30,612	1,54	2,23
						Qu máx. 1,55 (Kg/cm2)		

Fuente: Elaboración Propia

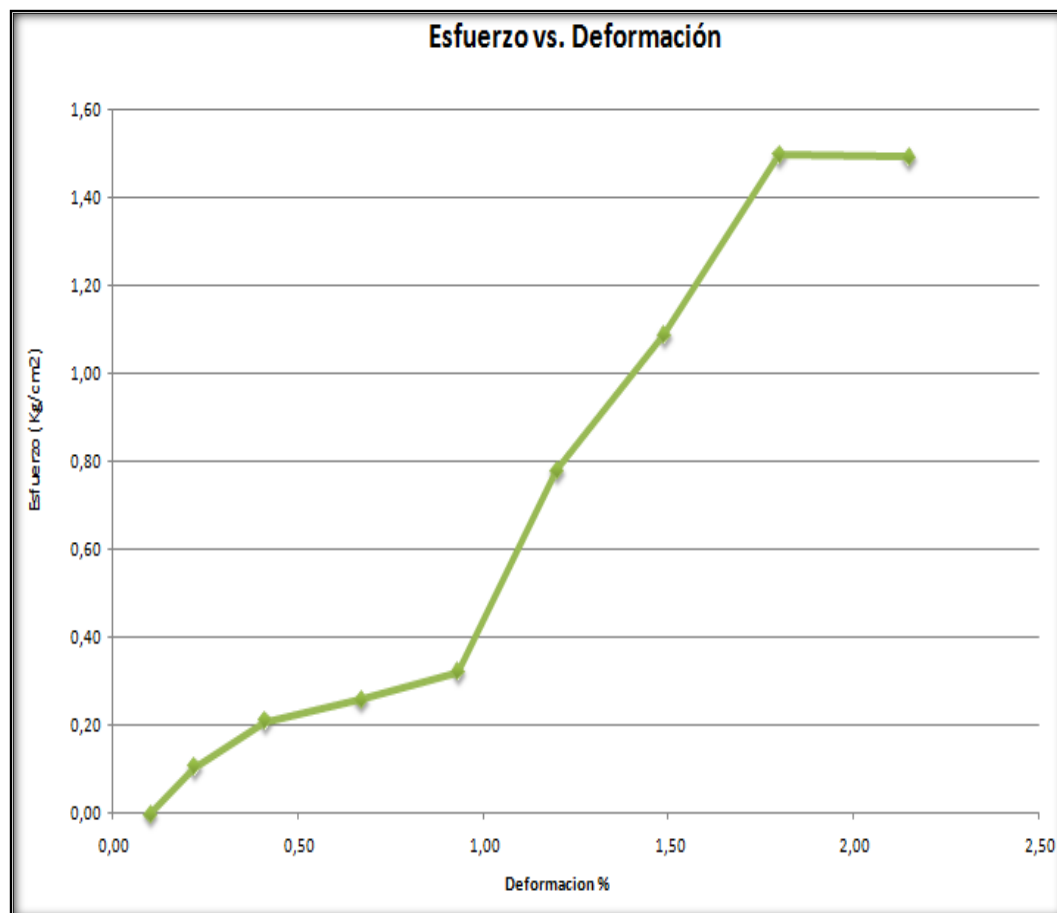
GRAFICA 3.14. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 1

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.40. Resistencia a Compresión Simple Suelo 2

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		FINAL COLON						
Diámetro		4,97				cm.		
Alt. Inicial		10				cm.		
Área		19,40				cm ²		
Volumen		194,00				cm ³		
P. Húmedo		495,8				gr.		
P. Unitario		2,56				gr/cm ³		
Alt. Final		10,00				cm		
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	20	2,041	0,10	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	40	4,082	0,21	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	50	5,102	0,26	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	62	6,327	0,32	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	150	15,306	0,78	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	210	21,429	1,09	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	290	29,592	1,50	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	290	29,592	1,49	2,15
						Qu máx.	1,50 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración Propia

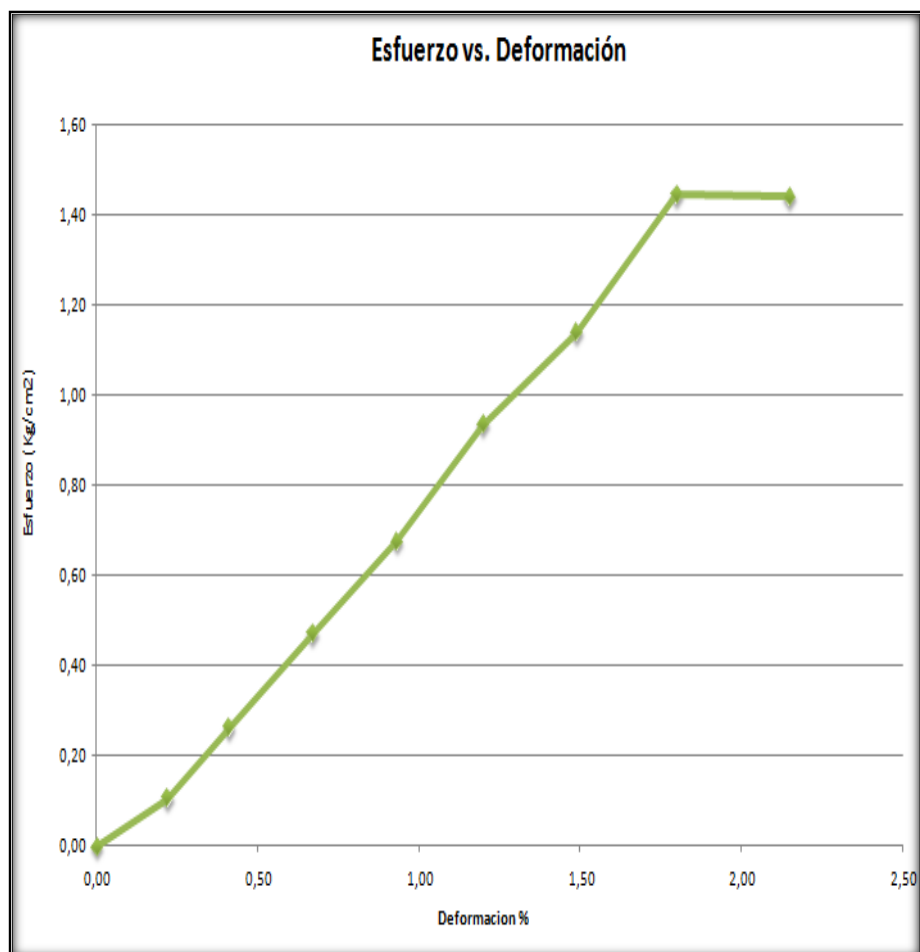
GRAFICA 3.15. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 2

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 3.41. Resistencia a Compresión Simple Suelo 3

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		Torrecillas						
Diámetro		4,97	cm.					
Alt. Inicial		10	cm.					
Área		19,40	cm ²					
Volumen		194,00	cm ³					
P. Húmedo		498,56	gr.					
P. Unitario		2,57	gr/cm ³					
Alt. Final		10,00	cm					
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	20	2,041	0,10	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	50	5,102	0,26	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	90	9,184	0,47	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	130	13,265	0,68	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	180	18,367	0,94	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	220	22,449	1,14	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	280	28,571	1,45	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	280	28,571	1,44	2,15
Qu máx.							1,45 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 3.16. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 3

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. FICHA TECNICA DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

❖ Ficha Técnica del CRS-2

El CRS-2, está dentro de la categoría de las Emulsiones asfálticas, que están compuestas por una dispersión de asfalto en agua, agentes emulsificantes y aditivos. Sus características están dadas por el uso de los distintos tipos de emulsificantes y aditivos. De acuerdo a su carga iónica, se clasifican en catiónicas, utilizadas preferentemente en pavimentación y aniónicas, habitualmente en aplicaciones industriales, y en menor grado en pavimentación.

TABLA 3.42. Especificaciones Técnicas Emulsión Asfáltica

ENSAYOS		METODO		EMULTEC CRS-2HP	
Ensayos sobre la emulsión		ASTM	MTC	Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, ssf		D 244	E 403	20	----
Contenido de agua, % volumen		D 244	E 402	----	37
Destilación	- Contenido de asfalto residual, %	D 244	E 401	65	----
	- Contenido de disolventes, %	D 244	E 401	----	3
Sedimentación a los 7 días, %		D 244	E 404	----	5
Prueba del tamiz N°20, %		D 244	E 405	----	0.1
Carga de partícula		D 244	E 407	Positiva	
Ensayos sobre el residuo de emulsión		ASTM	MTC	Mínimo	Máximo
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, dmm		D 5	E 304	50	90
Punto de ablandamiento, °C		D 36	E 307	55	----
Ductilidad, 5°C, 5 cm/min, cm		D 113	E 306	10	----
Recuperación Elástica Torsional , 25°C, %		NLT 329*	----	12	----

Fuente: Norma Española

3.2.3. ELABORACIÓN DE ESPÉCIMENES BRIQUETAS SUELO ARCILLA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Para obtener muestras representativas del suelo en estudio, y asegurar que cada probeta tenga características granulométricas similares del suelo original, fue tamizado para obtener los porcentajes de material retenido y que pasa la malla N° 40, y del que se retiene y pasa malla N°200. Con estos porcentajes se realizaron cada una de las briquetas.

DOSIFICACION DE MATERIALES

La dosificación del material se hizo con una cantidad lo suficiente para obtener las briquetas de suelo con características similares de compactación (carga y humedad). Las dimensiones de las probetas son de 4 pulg de diámetro y 2,5 pulg de altura.

PROCEDIMIENTO

En la elaboración de los especímenes de ensayo de briquetas suelo-emulsión asfáltica

Se compactan 20 moldes para ensayo de BRIQUETAS DE SUELO, utilizando la misma energía de compactación para el mismo martillo (10 lbs de peso y 18" de altura de caída). Esto es: Molde N° 1 Cinco capas, 56 golpes/capa

La humedad requerida para compactar estos tres especímenes es la obtenida en el ensayo Próctor como Humedad Óptima y luego este peso se reportará peso húmedo + molde.

Se realizaron dos métodos Hielo-Deshielo y Secado-Saturado dividiendo las briquetas de suelo 10 para cada método.

Para el primer método

Después de ser compactado con el contenido de humedad optima, se pesa el espécimen para tener el peso inicial de la briketa, luego se somete a un proceso de secado en horno los 10 especímenes por 48 horas a $\pm 70^{\circ}\text{C}$, y luego se llevan a la heladera por un periodo de 24 horas a ± -18 grados $^{\circ}\text{C}$, una vez pasado el periodo con

ayuda de un cepillo metálico se lo raspa y se lo pesa teniendo así el peso final para determinar el % de desgaste.

Para el segundo método

Después de ser compactado con el contenido de humedad óptima, se pesa el espécimen para tener el peso inicial de la briqueta, se somete a un proceso de secado en horno los 10 especímenes por 24 horas a $\pm 70^{\circ}\text{C}$, luego se sumergen en agua por un periodo de 48 horas a temperatura ambiente, una vez pasado el periodo con ayuda de un cepillo metálico se lo raspa y se lo pesa teniendo así el peso final para determinar el % de desgaste

Estos procedimientos se lo realizan en 5 ciclos para poder determinar la sumatoria total del desgaste de las briquetas, para validar los resultados se realiza un análisis estadístico.

CAPÍTULO IV INVESTIGACION SUELO-EMULSIÓN

4.1 DISEÑO DE INGENIERIA

4.1.1 MEZCLAS DE SUELO-EMULSIÓN

DOSIFICACION

La dosificación según las especificaciones técnicas de las emulsión para el mesclado con el material será de: por cada kilogramo de arcilla 1% de Emulsión Asfáltica

TABLA 4.1. Dosificación para Compactación Arcilla-Emulsión Asfáltica

Para Compactación al 3% de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100%	16 kg.
Emulsión Asfáltica	1%	480 ml.
Para Compactación al 5% de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100%	16 kg.
Emulsión Asfáltica	1%	800 ml
Para Compactación al 7% de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100%	16 kg.
Emulsión Asfáltica	1%	1120 ml.
Para Compactación al 9 % de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100%	16 kg.
Emulsión Asfáltica	1%	1440 ml.
Para Compactación al 12 % de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100 %	16 kg.
Emulsión Asfáltica	1 %	1920

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.2. Dosificación para CBR Arcilla-Emulsión Asfáltica

Para CBR al 3% de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100%	13,5 kg.
Emulsión Asfáltica	1%	405 ml.
Para CBR al 5% de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100%	13,5 kg.
Emulsión Asfáltica	1%	675 ml.
Para CBR al 7% de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100%	13,5 kg.
Emulsión Asfáltica	1%	945 ml.
Para CBR al 9 % de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100 %	13,5 kg.
Emulsión Asfáltica	1 %	1215 ml
Para CBR al 12 % de la Emulsión Asfáltica		
Material	Porcentaje	Cantidad
Arcilla	100 %	13,5 kg.
Emulsión Asfáltica	1 %	1620

Fuente: Elaboración propia

4.2. PRUEBAS DE SUELO EMULSIÓN

4.2.1 COMPACTACION T-180 A DIFERENTES % DE EMULSIÓN

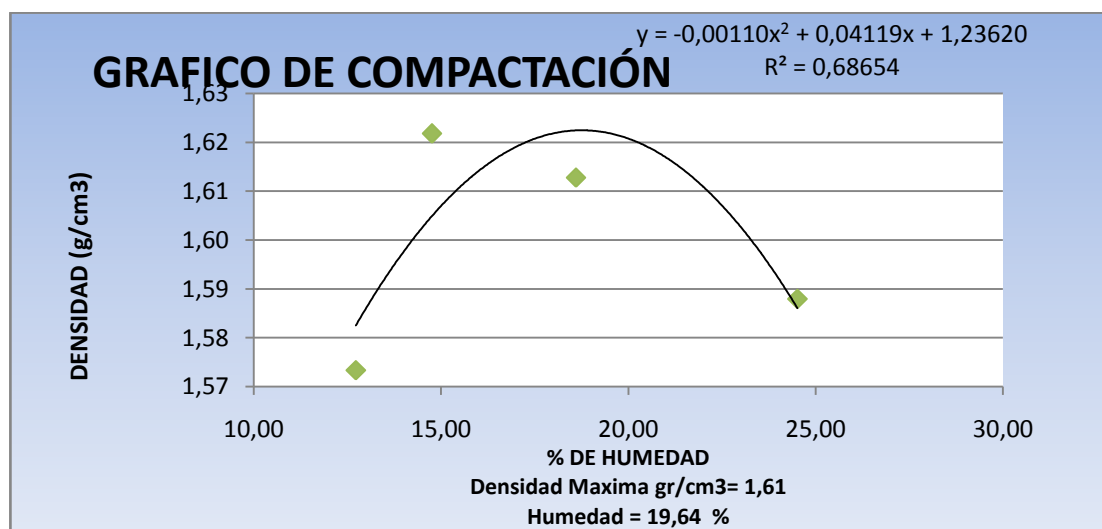
4.2.1.1. SUELO 1 A DIFERENTES % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.3. Compactación T-180 Suelo 1 al 3% de Emulsión Asfáltica

Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 1	Volumen: 941,6 cm ³			
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9997,5	10182,5	10291,5	10427,8
Peso del molde	6250,9	6250,9	6250,9	6250,9
Peso suelo húmedo	3746,6	3931,6	4040,6	4176,9
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,77	1,86	1,91	1,98
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	60,25	73,56	72,43	67,43
Peso suelo seco + cápsula	55,78	66,87	64,45	58,32
Peso del agua	4,47	6,69	7,98	9,11
Peso de la cápsula	20,65	21,53	21,54	21,16
Peso suelo seco	35,13	45,34	42,91	37,16
Contenido de humedad (%h)	12,72	14,76	18,60	24,52
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,57	1,62	1,61	1,59

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.1. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 3 % suelo 1



Fuente: Elaboración propia

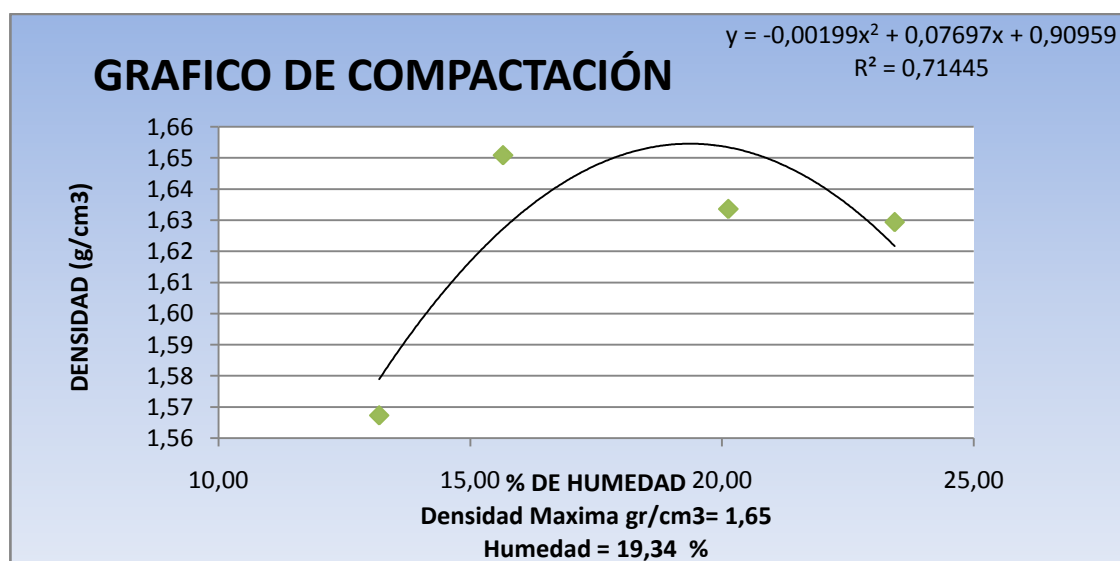
COMPACTACION T-180 SUELO 1 EL PORTILLO AL 5 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.4. Compactación T-180 Suelo 1 al 5% de Emulsión Asfáltica

COMPACTACION				
Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 1		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9998,48	10284,32	10396,5	10499,34
Peso del molde	6250,9	6250,9	6250,9	6250,9
Peso suelo húmedo	3747,58	4033,42	4145,6	4248,44
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,77	1,91	1,96	2,01
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	60,39	70,3	71,56	68,21
Peso suelo seco + cápsula	55,76	63,70	63,18	59,28
Peso del agua	4,63	6,6	8,38	8,93
Peso de la cápsula	20,65	21,53	21,54	21,16
Peso suelo seco	35,11	42,17	41,64	38,12
Contenido de humedad (%h)	13,19	15,65	20,12	23,43
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,57	1,65	1,63	1,63

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.2. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 5 % suelo 1



Fuente: Elaboración propia

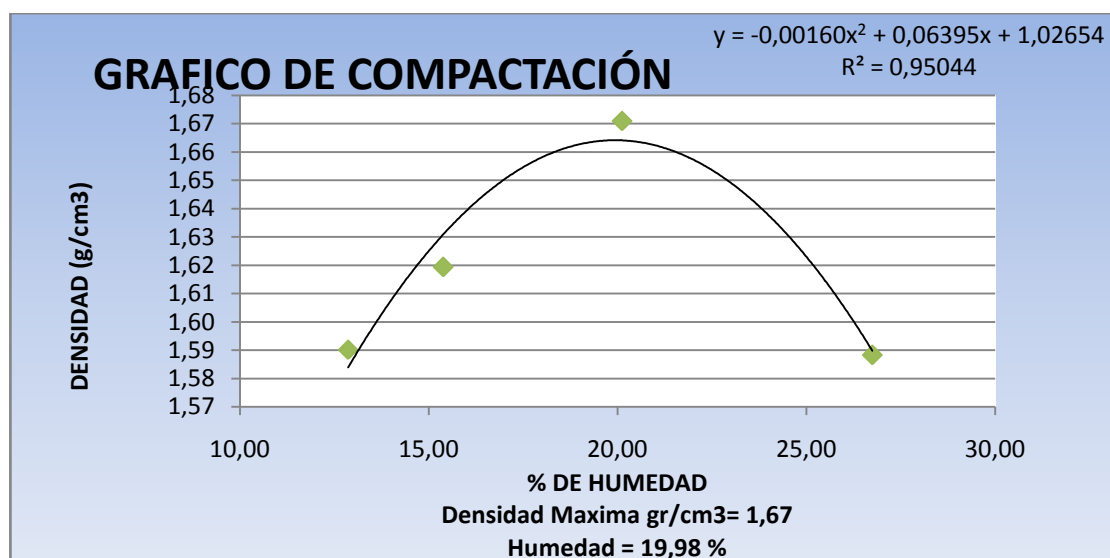
COMPACTACION T-180 SUELO 1 EL PORTILLO AL 7 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.5. Compactación T-180 Suelo 1 al 7% de Emulsión Asfáltica

COMPACTACION				
Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla- Emulsión Asfáltica				
Muestra: 1	Volumen: 941,6 cm ³			
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	10042,23	10198,23	10491,26	10503,67
Peso del molde	6250,9	6250,9	6250,9	6250,9
Peso suelo húmedo	3791,33	3947,33	4240,36	4252,77
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,79	1,87	2,01	2,01
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	60,21	70,12	71,56	68,21
Peso suelo seco + cápsula	55,70	63,64	63,18	58,28
Peso del agua	4,51	6,48	8,38	9,93
Peso de la cápsula	20,65	21,53	21,54	21,16
Peso suelo seco	35,05	42,11	41,64	37,12
Contenido de humedad (%h)	12,87	15,39	20,12	26,75
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,59	1,62	1,67	1,59

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.3. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 7 % suelo 1



Fuente: Elaboración propia

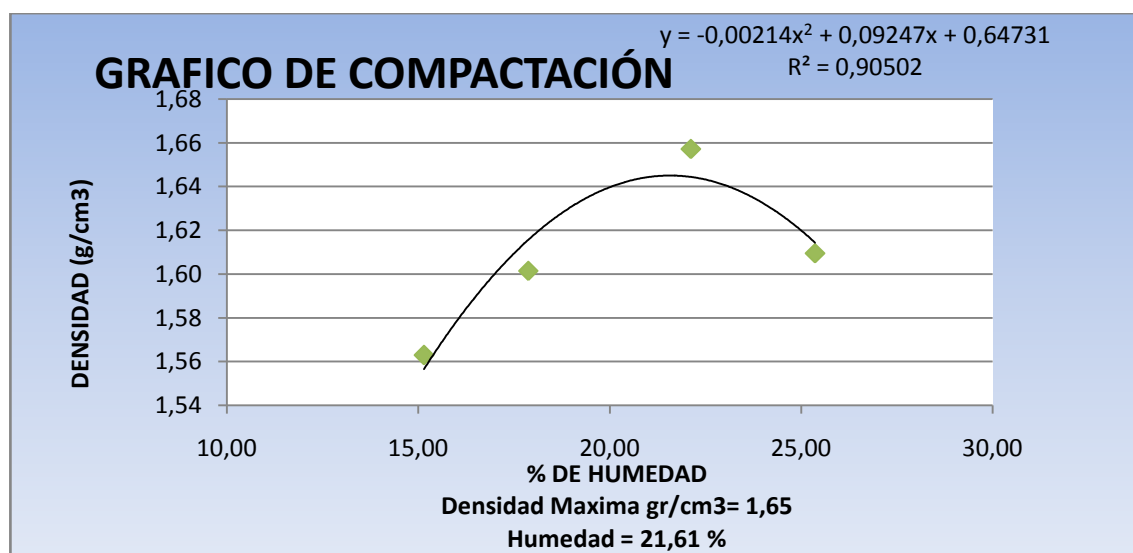
COMPACTACION T-180 SUELO 1 EL PORTILLO AL 9 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.6. Compactación T-180 Suelo 1 al 9% de Emulsión Asfáltica

COMPACTACION				
Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 1		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	10052,72	10238,46	10526,2	10513,25
Peso del molde	6250,9	6250,9	6250,9	6250,9
Peso suelo húmedo	3801,82	3987,56	4275,3	4262,35
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,80	1,89	2,02	2,02
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	67,54	72,12	70,67	72,71
Peso suelo seco + cápsula	61,37	64,45	61,77	62,28
Peso del agua	6,17	7,67	8,9	10,43
Peso de la cápsula	20,65	21,53	21,54	21,16
Peso suelo seco	40,72	42,92	40,23	41,12
Contenido de humedad (%h)	15,15	17,87	22,12	25,36
Densidad suelo seco (gr/cm³)	1,56	1,60	1,66	1,61

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.4. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 9 % suelo 1



Fuente: Elaboración propia

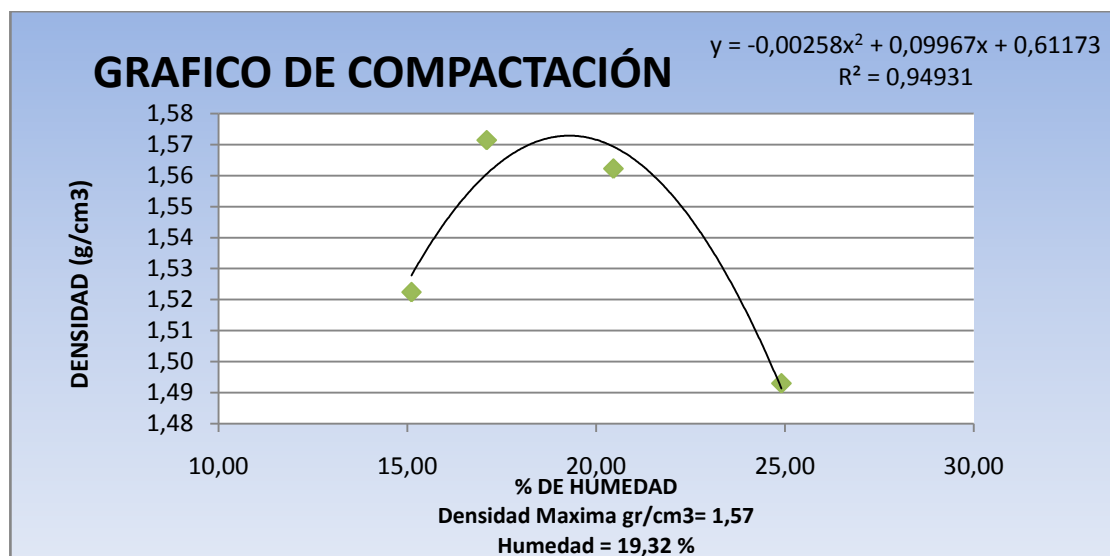
COMPACTACION T-180 SUELO 1 EL PORTILLO AL 12 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.7. Compactación T-180 Suelo 1 al 12 % de Emulsión Asfáltica

COMPACTACION				
Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 1		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9952,72	10138,46	10226,2	10190,25
Peso del molde	6250,9	6250,9	6250,9	6250,9
Peso suelo húmedo	3701,82	3887,56	3975,3	3939,35
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,75	1,84	1,88	1,86
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	68,42	73,22	69,47	71,21
Peso suelo seco + cápsula	62,15	65,67	61,33	61,23
Peso del agua	6,27	7,55	8,14	9,98
Peso de la cápsula	20,65	21,53	21,54	21,16
Peso suelo seco	41,5	44,14	39,79	40,07
Contenido de humedad (%h)	15,11	17,10	20,46	24,91
Densidad suelo seco (gr/cm3)	1,52	1,57	1,56	1,49

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.5. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 12 % suelo 1



Fuente: Elaboración propia

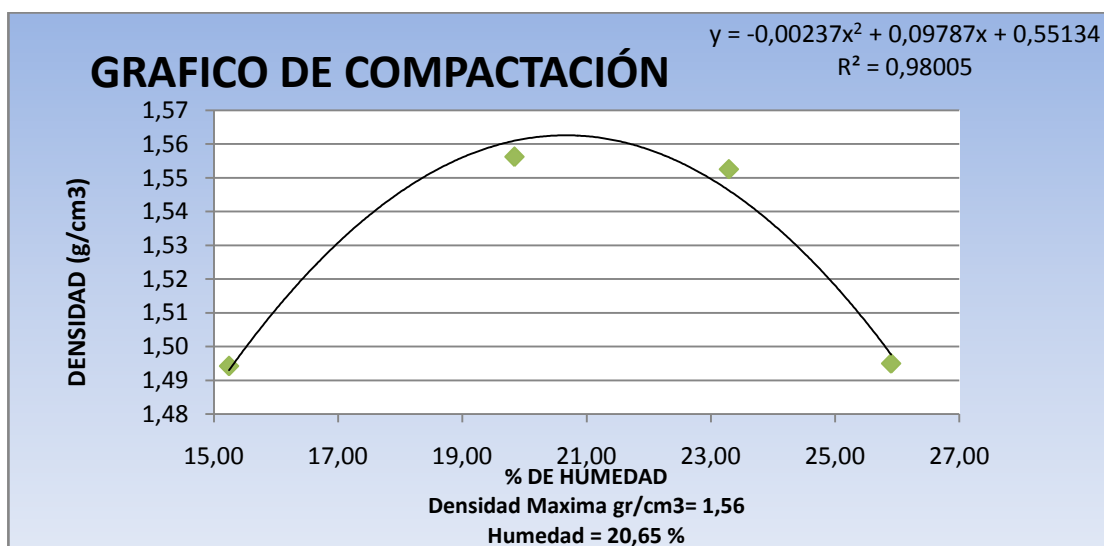
4.2.1.2. SUELO 2 A DIFERENTES % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.8. Compactación T-180 Suelo 2 al 3% de Emulsión Asfáltica

COMPACTACION				
Proyecto: Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla- Emulsión Asfáltica				
Muestra: 2	Volumen: 941,6 cm ³			
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9618,7	9920,7	10024,7	9957,0
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3637,6	3939,6	4043,6	3975,9
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,72	1,86	1,91	1,88
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	68,47	78,87	82,45	65,47
Peso suelo seco + cápsula	62,45	69,76	71,38	56,83
Peso del agua	6,02	9,11	11,07	8,64
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	39,49	45,92	47,53	33,36
Contenido de humedad (%h)	15,24	19,84	23,29	25,90
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,49	1,56	1,55	1,49

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.6. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 3 % suelo 2



Fuente: Elaboración propia

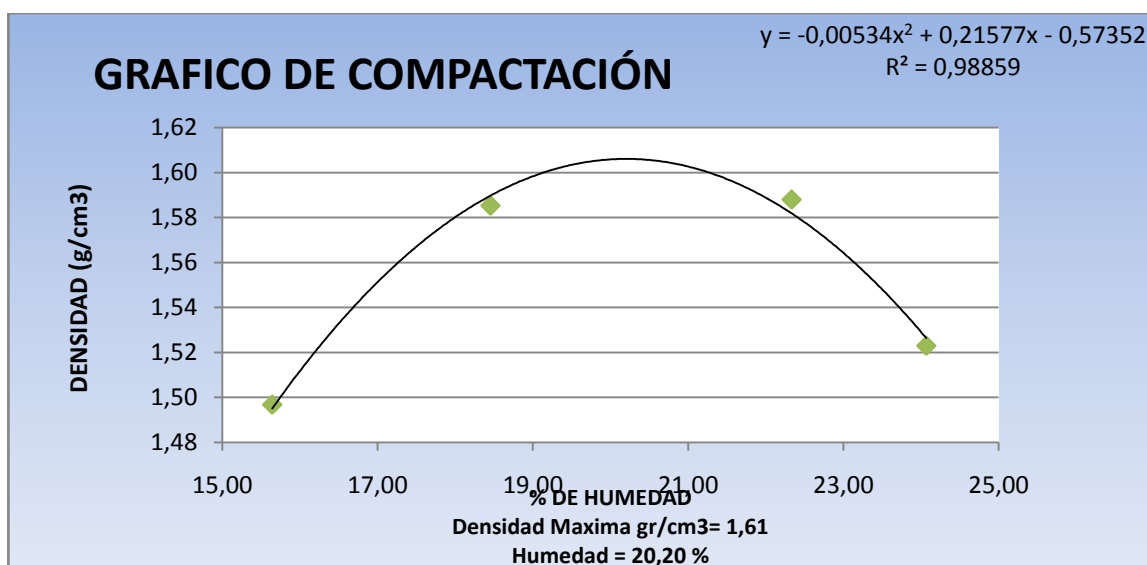
COMPACTACION T-180 SUELO 2 FINAL COLON AL 5 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.9. Compactación T-180 Suelo 2 al 5% de Emulsión Asfáltica

COMPACTACION				
Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 2	Volumen: 941,6 cm3			
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9637,7	9947,7	10084,67	9972,7
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3656,6	3966,6	4103,57	3991,55
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,73	1,88	1,94	1,89
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	67,24	75,71	80,55	65,33
Peso suelo seco + cápsula	61,25	67,63	70,20	57,21
Peso del agua	5,99	8,08	10,35	8,12
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	38,29	43,79	46,35	33,74
Contenido de humedad (%h)	15,64	18,45	22,33	24,07
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,50	1,59	1,59	1,52

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.7. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 5 % suelo 2



Fuente: Elaboración propia

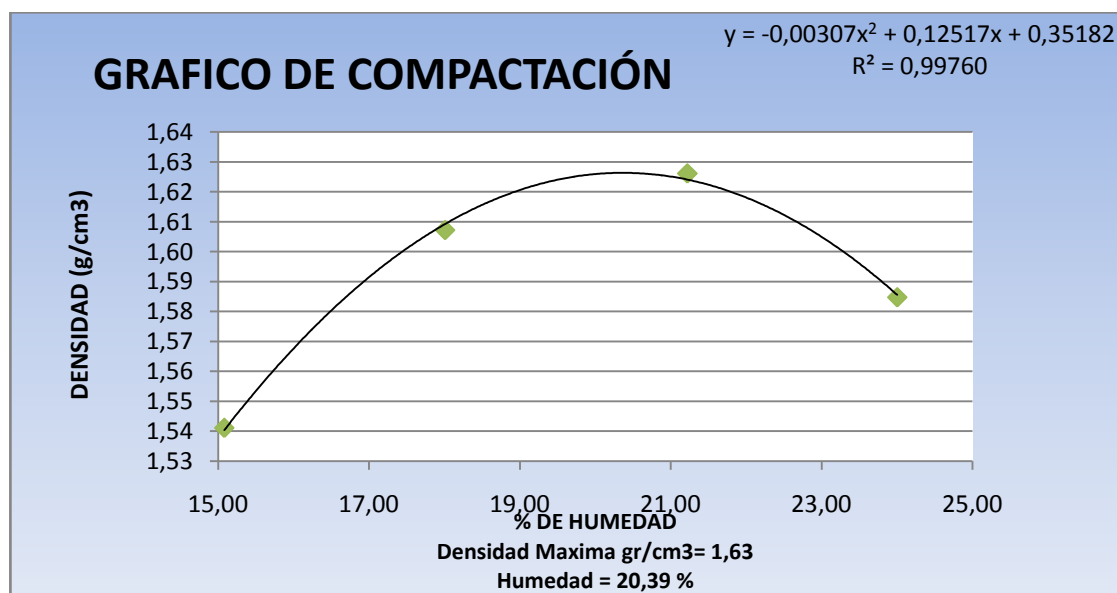
COMPACTACION T-180 SUELO 2 FINAL COLON AL 7 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.10. Compactación T-180 Suelo 2 al 7% de Emulsión Asfáltica

COMPACTACION				
Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 2		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9727,7	9987,62	10145,21	10132,5
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3746,6	4006,52	4164,11	4151,4
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,77	1,90	1,97	1,97
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	65,47	70,5	80	62,32
Peso suelo seco + cápsula	59,90	63,38	70,17	54,80
Peso del agua	5,57	7,12	9,83	7,52
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	36,94	39,54	46,32	31,33
Contenido de humedad (%h)	15,08	18,01	21,22	24,00
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,54	1,61	1,63	1,58

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.8. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 7 % suelo 2



Fuente: Elaboración propia

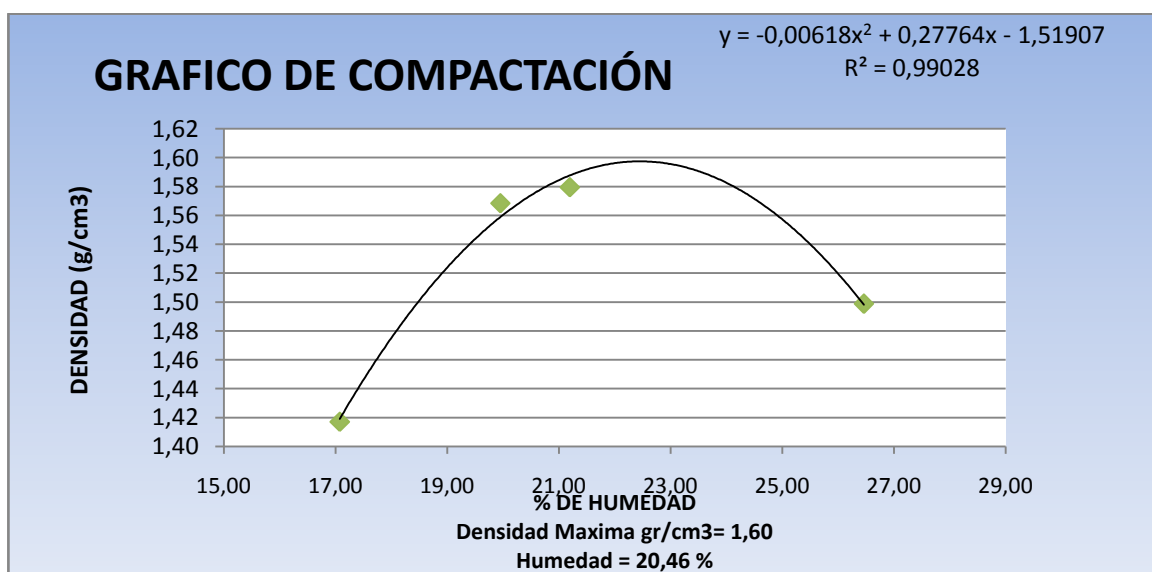
COMPACTACION T-180 SUELO 2 FINAL COLON AL 9 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.11. Compactación T-180 Suelo 2 al 9% de Emulsión.

Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 2	Volumen: 941,6 cm ³			
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9485,6	9955,45	10025,21	9985,0
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3504,5	3974,35	4044,11	4003,9
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,66	1,88	1,91	1,90
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	66,7	72,3	85,6	61,32
Peso suelo seco + cápsula	60,32	64,24	74,80	53,40
Peso del agua	6,38	8,06	10,8	7,92
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	37,36	40,4	50,95	29,93
Contenido de humedad (%h)	17,08	19,95	21,20	26,46
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,42	1,57	1,58	1,50

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.9. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 9 % suelo 2



Fuente: Elaboración propia

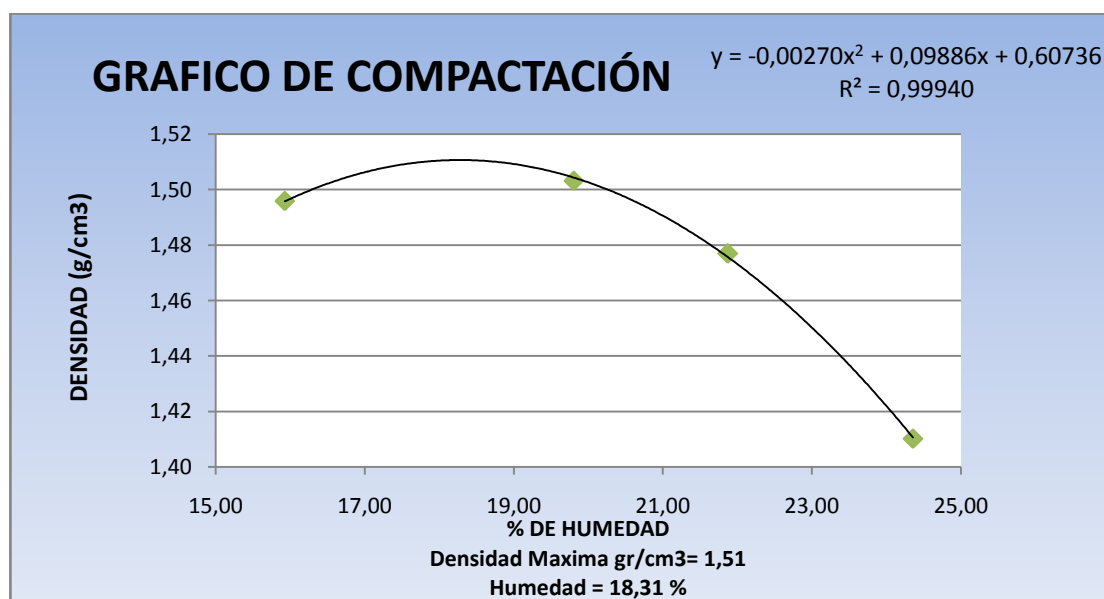
COMPACTACION T-180 SUELO 2 FINAL COLON AL 12% DE EMULSIÓN

TABLA 4.12. Compactación T-180 Suelo 2 al 12% de Emulsión Asfáltica

Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 2		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9644,5	9785,5	9783,6	9685,6
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3663,4	3804,4	3802,5	3704,47
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,73	1,80	1,80	1,75
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	66,2	71,45	85,7	61,2
Peso suelo seco + cápsula	60,26	63,58	74,60	53,81
Peso del agua	5,94	7,87	11,1	7,39
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	37,3	39,74	50,75	30,34
Contenido de humedad (%h)	15,92	19,80	21,87	24,36
Densidad suelo seco (gr/cm3)	1,50	1,50	1,48	1,41

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.10. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 12 % suelo 2



Fuente: Elaboración propia

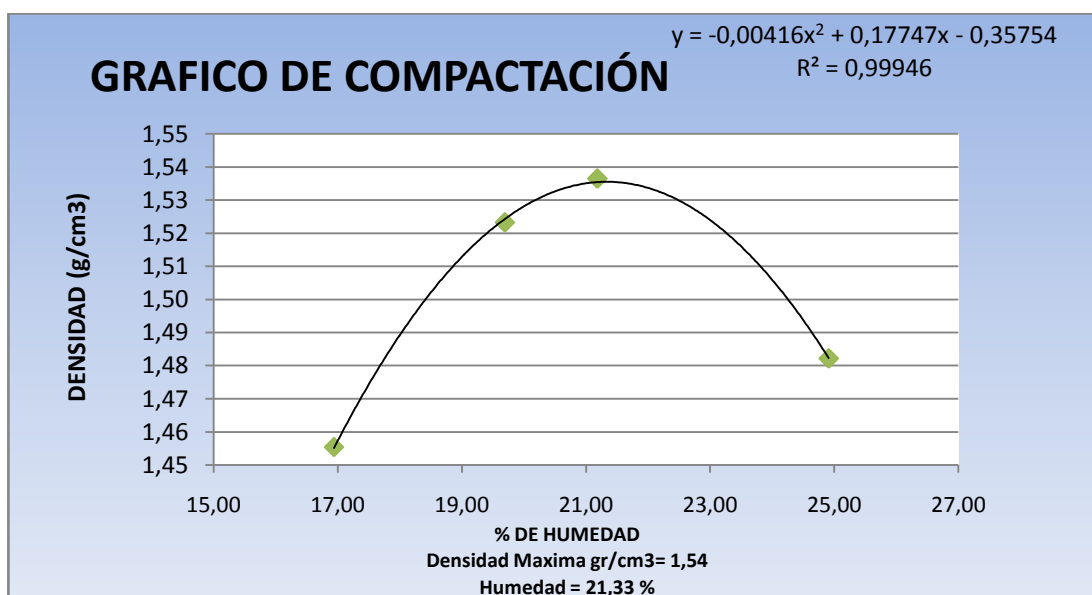
4.2.1.3. SUELO 3 A DIFERENTES % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.13. Compactación T-180 Suelo 3 al 3% de Emulsión.

Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 3		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9576,56	9832,54	9914,43	9892,2
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3595,46	3851,44	3933,33	3911,1
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,70	1,82	1,86	1,85
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	70,25	74,9	81,4	69,25
Peso suelo seco + cápsula	63,40	66,50	71,34	60,12
Peso del agua	6,85	8,4	10,06	9,13
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	40,44	42,66	47,49	36,65
Contenido de humedad (%h)	16,94	19,69	21,18	24,91
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,46	1,52	1,54	1,48

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.11. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 3 % suelo 3



Fuente: Elaboración propia

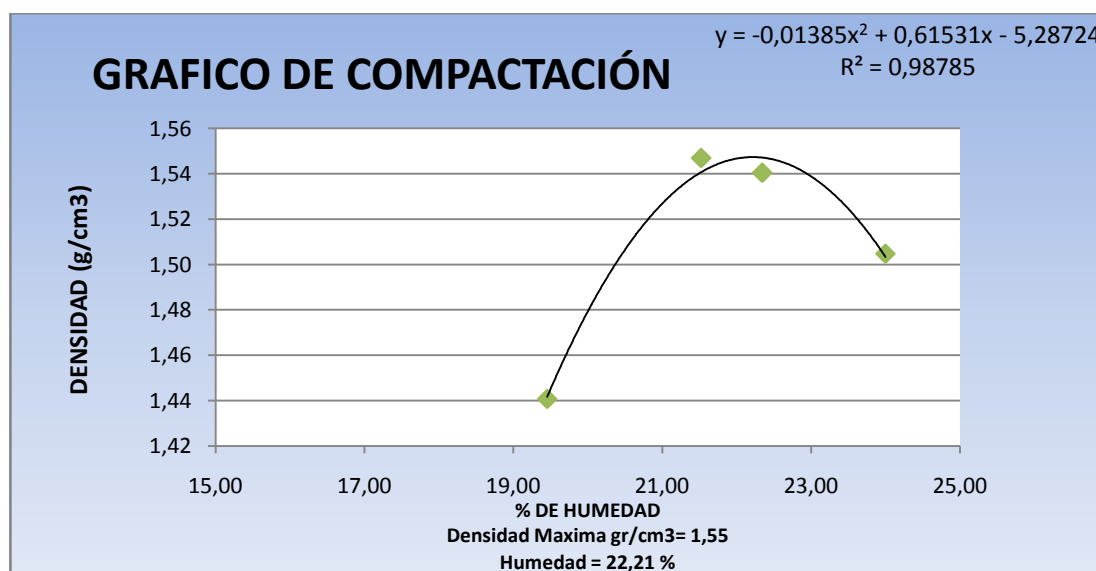
COMPACTACION T-180 SUELO 3 FINAL COLON AL 5 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.14. Compactación T-180 Suelo 3 al 5% de Emulsión Asfáltica

Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 3		Volumen:	941,6	cm3
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9616,6	9952,4	9962,31	9922,7
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3635,5	3971,3	3981,21	3941,6
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,72	1,88	1,88	1,87
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	70,55	75,5	82,6	68,27
Peso suelo seco + cápsula	62,80	66,35	71,87	59,60
Peso del agua	7,75	9,15	10,73	8,67
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	39,84	42,51	48,02	36,13
Contenido de humedad (%h)	19,45	21,52	22,34	24,00
Densidad suelo seco (gr/cm3)	1,44	1,55	1,54	1,50

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.12. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 5 % suelo 3



Fuente: Elaboración propia

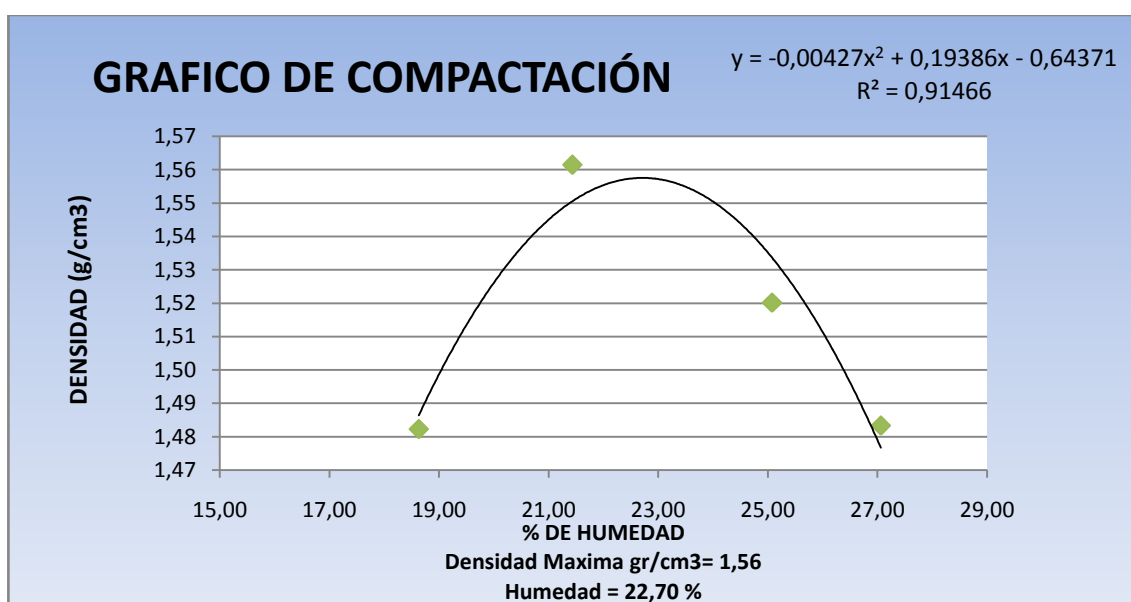
COMPACTACION T-180 SUELO 3 FINAL COLON AL 7 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.15. Compactación T-180 Suelo 3 al 7% de Emulsión Asfáltica

Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra:3	Volumen: 941,6 cm3			
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9695,75	9986,5	9997,8	9962,7
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3714,65	4005,4	4016,7	3981,6
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,76	1,90	1,90	1,88
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	75,5	70,87	83,7	69,25
Peso suelo seco + cápsula	67,25	62,57	71,70	59,50
Peso del agua	8,25	8,3	12	9,75
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	44,29	38,73	47,85	36,03
Contenido de humedad (%h)	18,63	21,43	25,08	27,06
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,48	1,56	1,52	1,48

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.13. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 7 % suelo 3



Fuente: Elaboración propia

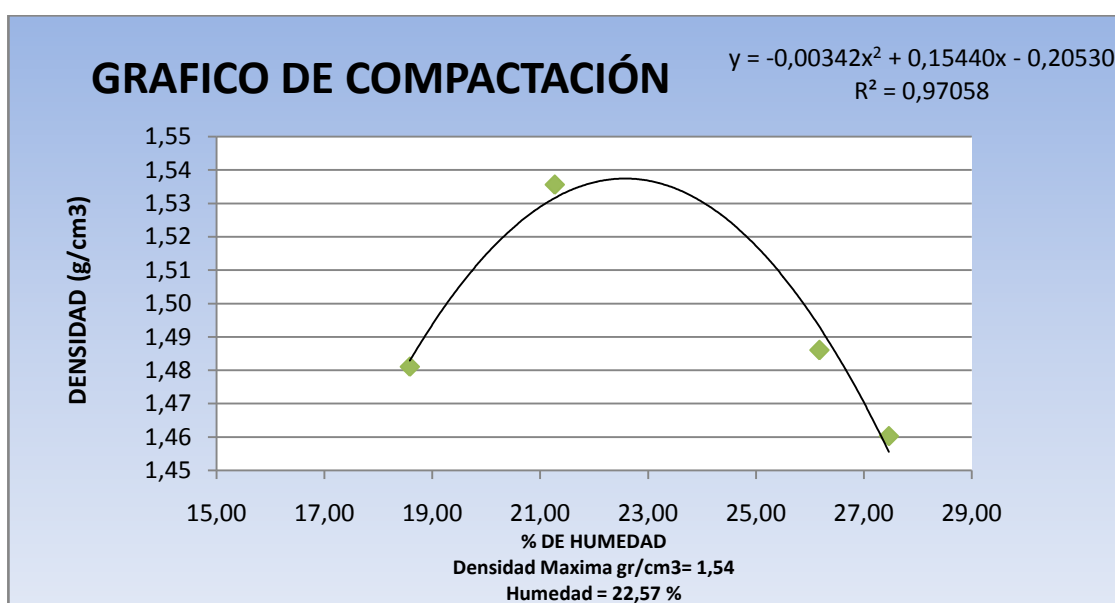
COMPACTACION T-180 SUELO 3 FINAL COLON AL 9 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.16. Compactación T-180 Suelo 3 al 9% de Emulsión Asfáltica

Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 3		Volumen:	941,6	cm ³
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9691,2	9915,2	9942,12	9913,2
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3710,1	3934,1	3961,02	3932,11
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,76	1,86	1,88	1,86
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	72,1	75,21	84,1	70,16
Peso suelo seco + cápsula	64,40	66,20	71,60	60,10
Peso del agua	7,7	9,01	12,5	10,06
Peso de la cápsula	22,96	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	41,44	42,36	47,75	36,63
Contenido de humedad (%h)	18,58	21,27	26,18	27,46
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,48	1,54	1,49	1,46

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.14. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 9 % suelo 3



Fuente: Elaboración propia

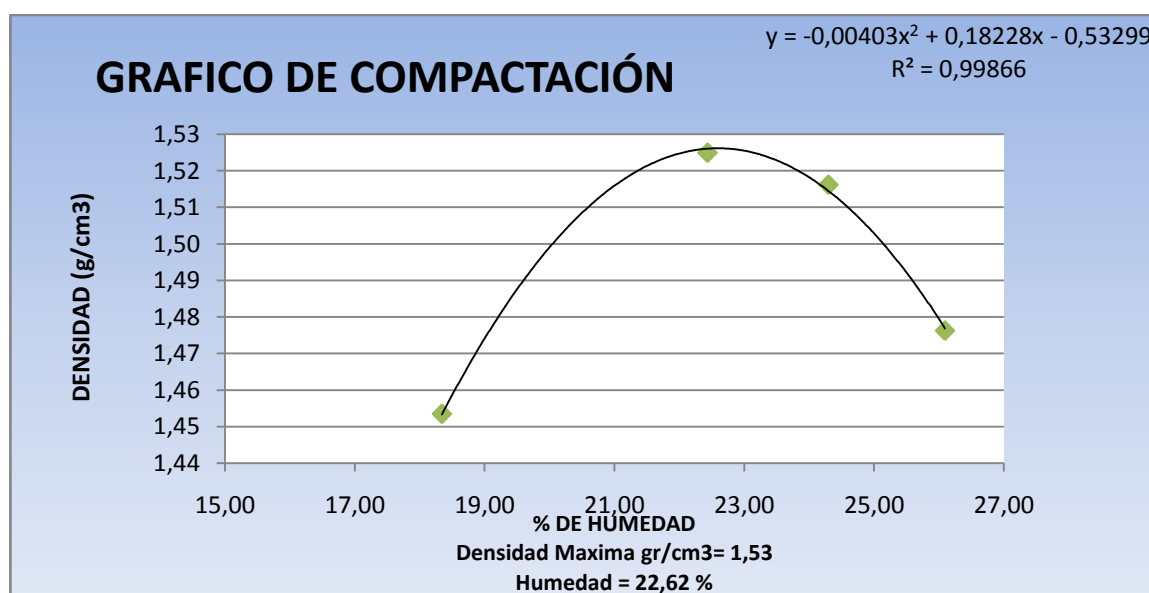
COMPACTACION T-180 SUELO 3 FINAL COLON AL 12% DE EMULSIÓN

TABLA 4.17. Compactación T-180 Suelo 3 al 12% de Emulsión.

Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica				
Muestra: 3	Volumen: 941,6 cm ³			
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	9614,6	9925,2	9962,12	9913,2
Peso del molde	5981,1	5981,1	5981,1	5981,1
Peso suelo húmedo	3633,5	3944,1	3981,02	3932,11
Volumen de la muestra	2112,5	2112,5	2112,5	2112,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,72	1,87	1,88	1,86
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	70,54	74,21	80,23	71,46
Peso suelo seco + cápsula	63,11	64,98	69,21	61,53
Peso del agua	7,43	9,23	11,02	9,93
Peso de la cápsula	22,6	23,84	23,85	23,47
Peso suelo seco	40,51	41,14	45,36	38,06
Contenido de humedad (%h)	18,34	22,44	24,29	26,09
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,45	1,52	1,52	1,48

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.15. Curva Densidad Máxima Vs Humedad Óptima al 12 % suelo 3



Fuente: Elaboración propia

4.2.2 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) A DIFERENTES % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.2.2.1. SUELO 1 EL PORTILLO AL 3 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.18. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 1 al 3% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 1	LL 30,21		IP 12,79		Clasificación. a-6(16)		Humedad. Optima. 19,64		D. Máx. 1,61
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas			5		5				5
Nº golpes por capa			12		25				56
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M		Antes de mojarse		D. de M		Antes de mojarse D. de M
Peso muestra húm.+molde	10124		10374		11688		11379		11795 11393
Peso Molde	5912		5912		6907		6907		6234,1 6234,1
Peso muestra húmeda	4212		4462		4781		4472		5560,9 5158,9
Volumen de la muestra	3211		3211		3211		3211		3211 3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,312		1,390		1,489		1,393		1,732 1,607
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	61,25	66,27	61,7	56,23	55,76	57,37	93,52	98,25	96,42
Peso muestra seca + tara	57,89	58,42	55,32	50,31	49,1	51,42	81,72	84,16	84,87
Peso del agua	3,36	7,85	6,38	5,92	6,66	5,95	11,8	14,09	11,55
Peso de tara	35,7	21,5	21,2	20,1	21,4	21,9	21,2	21,3	22,2
Peso de la muestra seca	22,19	36,92	34,12	30,21	27,7	29,52	60,52	62,86	62,67
Contenido humedad %	15,14	21,262	18,699	19,596	24,04	20,156	19,498	22,41	18,43
Promedio cont. Humedad	18,37		18,699		21,27		20,156		20,11 18,43
Peso Unit.muestra seca	1,108		1,1707		1,228		1,1591		1,442 1,3566

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.19 Expansión del suelo 1 con el 3% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,1	0,71	0	6,27	0,627	0	6,15	0,615	0
2	10,21	1,021	1,7492	9,1	0,91	1,5917	7,9	0,79	0,9843
3	11	1,1	2,1935	10,87	1,087	2,5872	8,5	0,85	1,3217
4	11,54	1,154	2,4972	11,84	1,184	3,1327	10,25	1,025	2,306

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.20. CBR. Suelo 1 al 3 % de la emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.
			ENSAYO		CORREG	ENSAYO		CORREG	ENSAYO		CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		19,4	1,0		20,7	1,1		22,0	1,1	
0,05	1,27		25,0	1,3		29,7	1,5		34,3	1,8	
0,075	1,9		41,0	2,1		45,9	2,4		50,8	2,6	
0,1	2,54	1360	50,3	2,6	3,7	54,4	2,8	4,0	58,6	3,0	4,3
0,2	5,08	2040	69,6	3,6	3,4	96,2	5,0	4,7	122,9	6,4	6,0
0,3	7,62		106,8	5,5		143,3	7,4		179,8	9,3	
0,4	10,16		107,8	5,6		146,1	7,5		184,3	9,5	
0,5	12,7		107,8	5,6		146,1	7,5		184,3	9,5	

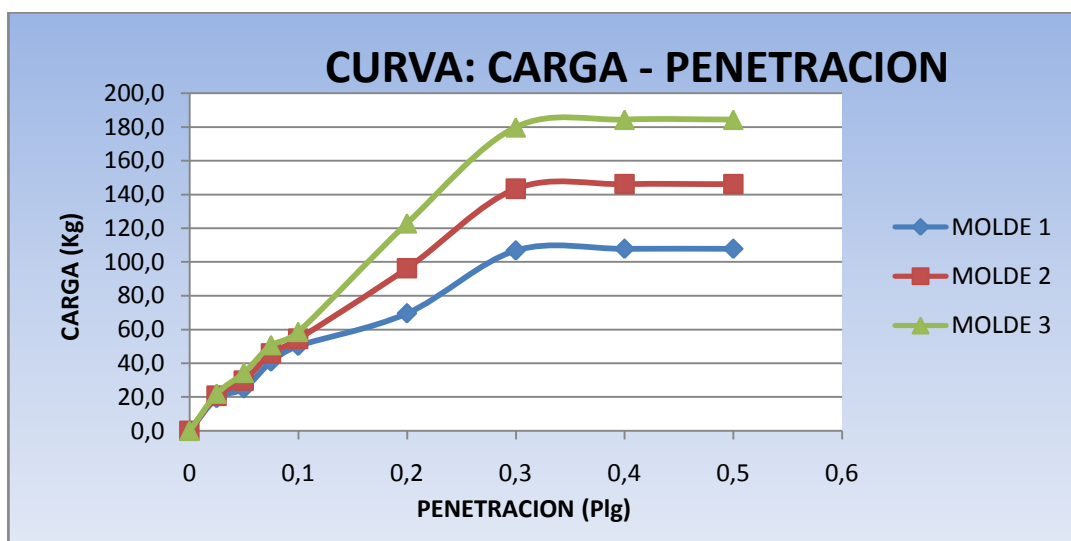
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.21.CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 3 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,4	1,108
4,7	1,228
6,0	1,442

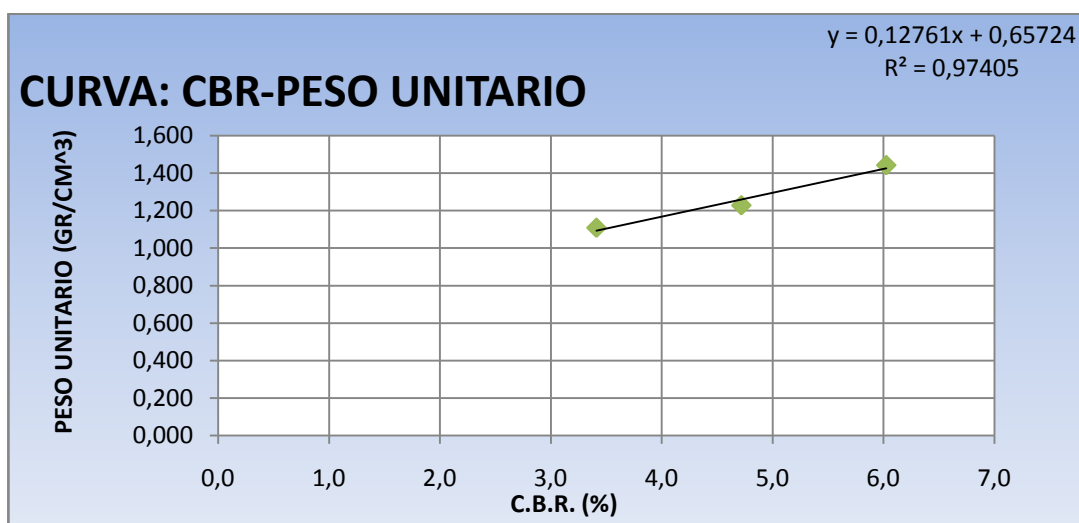
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.16. Curva Carga VS Penetración Suelo 1 al 3 % Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.17. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 3 %



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.22. CBR al 100% y 95 % Suelo 1 al 3% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
8%
CBR 95% D.Máx.
7%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2 CBR: SUELO 1 EL PORTILLO AL 5 % DE EMULSIÓN

TABLA 4.23. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 1 al 5% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 1	LL 30,21		IP 12,79		Clasificación. a-6(16)		Humedad. Optima. 19,34		D. Máx. 1,65
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas			5		5				5
Nº golpes por capa			12		25				56
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M		Antes de mojarse		D. de M		Antes de mojarse
Peso muestra húm.+molde	10510		10270		11582		11273		11682
Peso Molde	5912		5912		6907		6907		6234,1
Peso muestra húmeda	4598		4358		4675		4366		5447,9
Volumen de la muestra	3211		3211		3211		3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,432		1,357		1,456		1,360		1,697
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	62,43	64,17	62,16	53,23	53,82	56,21	94,23	97,4	98,21
Peso muestra seca + tara	57,92	56,26	55,11	47,55	47,28	50,19	82,51	84,12	86,13
Peso del agua	4,51	7,91	7,05	5,68	6,54	6,02	11,72	13,28	12,08
Peso de tara	35,7	21,5	21,2	20,1	21,4	21,9	21,2	21,3	22,2
Peso de la muestra seca	22,22	34,76	33,91	27,45	25,88	28,29	61,31	62,82	63,93
Contenido humedad %	20,3	22,756	20,79	20,692	25,27	21,28	19,116	21,14	18,896
Promedio cont. Humedad	21,53		20,79		22,98		21,28		20,13
Peso Unit.muestra seca	1,178		1,1236		1,184		1,1211		1,412

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.24. Expansión del suelo 1 con el 5% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,2	0,72	0	6,28	0,628	0	7,25	0,725	0
2	10,15	1,015	1,6592	9,16	0,916	1,6198	8,89	0,889	0,9224
3	11,14	1,114	2,216	10,89	1,089	2,5928	9,78	0,978	1,4229
4	11,53	1,153	2,4353	11,91	1,191	3,1665	11,34	1,134	2,3003

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.25. CBR. Suelo 1 al 5 % de la emulsión asfáltica

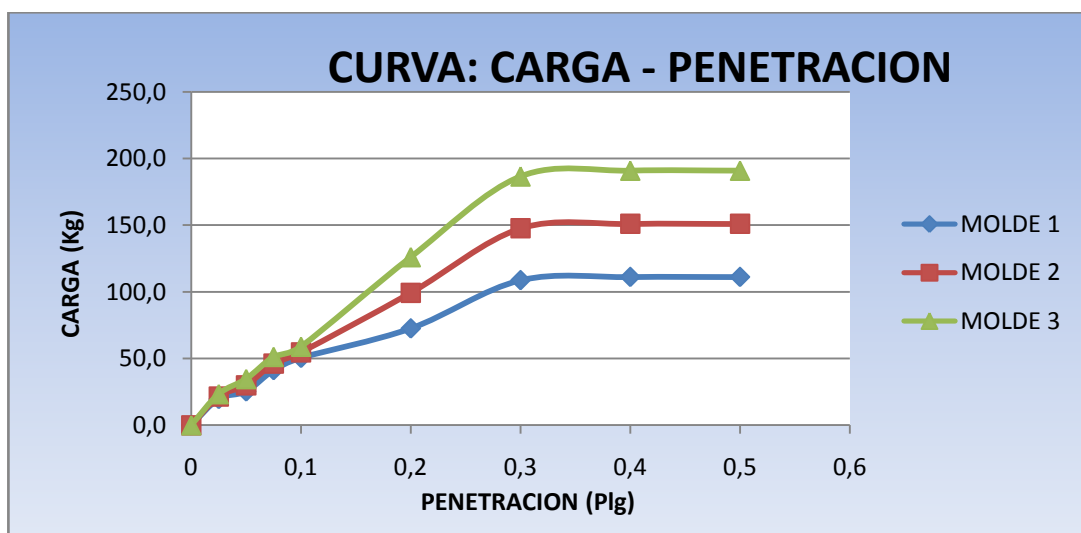
C.B.R.											
PENETRACION		CARGA		MOLDE N° 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3			
		NORMAL		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	
Pulg.	Mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		19,7	1,0		21,5	1,1		23,4	1,2	
0,05	1,27		25,4	1,3		30,0	1,6		34,7	1,8	
0,075	1,9		41,3	2,1		46,3	2,4		51,3	2,6	
0,1	2,54	1360	50,5	2,6	3,7	54,7	2,8	4,0	58,9	3,0	4,3
0,2	5,08	2040	72,6	3,7	3,6	99,3	5,1	4,9	126,1	6,5	6,2
0,3	7,62		108,7	5,6		147,7	7,6		186,6	9,6	
0,4	10,16		111,1	5,7		151,0	7,8		190,9	9,9	
0,5	12,7		111,1	5,7		151,0	7,8		190,9	9,9	

Fuente: Elaboración propia

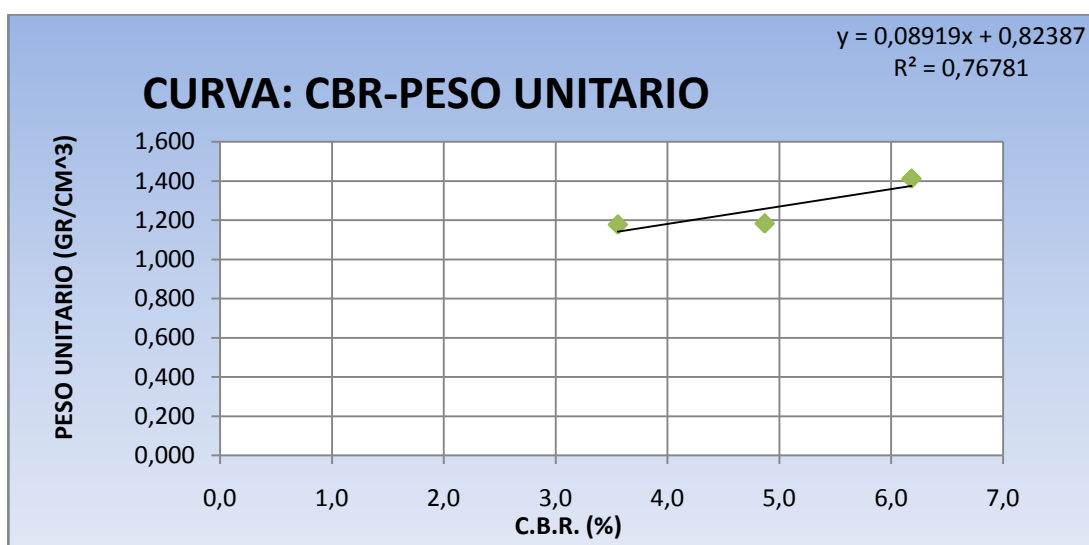
TABLA 4.26. CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 5 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm3
3,6	1,178
4,9	1,184
6,2	1,412

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.18. Curva Carga VS Penetración Suelo 1 al 5 % Emulsión

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.19. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 5 % de la Emulsión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.27. CBR al 100% y 95 % Suelo 1 al 5% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
9%
CBR 95% D.Máx.
8%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3CBR: SUELO 1 EL PORTILLO AL 7 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.28. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 1 al 7% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 1	LL 30,21	IP 12,79	Clasificación. a-6(16)			Humedad. Optima. 19,98		D. Máx. 1,67	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas		5			5			5	
Nº golpes por capa		12			25			56	
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10115		10370	11682		11373	11322		11385
Peso Molde	5912		5912	6907		6907	6234,1		6234,1
Peso muestra húmeda	4203		4458	4775		4466	5087,9		5150,9
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,309		1,388	1,487		1,391	1,585		1,604
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	61,64	64,17	62,17	53,33	53,84	56,24	94,25	97,5	98,22
Peso muestra seca + tara	58,12	56,97	55,84	47,9	47,45	50,22	82,5	84,14	86,14
Peso del agua	3,52	7,2	6,33	5,43	6,39	6,02	11,75	13,36	12,08
Peso de tara	35,7	21,5	21,2	20,1	21,4	21,9	21,2	21,3	22,2
Peso de la muestra seca	22,42	35,47	34,64	27,8	26,05	28,32	61,3	62,84	63,94
Contenido humedad %	15,7	20,299	18,274	19,532	24,53	21,257	19,168	21,26	18,893
Promedio cont. Humedad	18,09		18,274	21,77		21,257	19,77		18,893
Peso Unit.muestra seca	1,108		1,1738	1,221		1,147	1,323		1,3492

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.29. Expansión del suelo 1 con el 7% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,4	0,74	0	6,33	0,633	0	6,23	0,623	0
2	10,33	1,033	1,6479	9,15	0,915	1,5861	7,92	0,792	0,9505
3	11,15	1,115	2,1091	10,92	1,092	2,5816	8,7	0,87	1,3892
4	11,67	1,167	2,4016	11,9	1,19	3,1327	10,31	1,031	2,2947

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.30. CBR. Suelo 1 al 7 % de la emulsión asfáltica

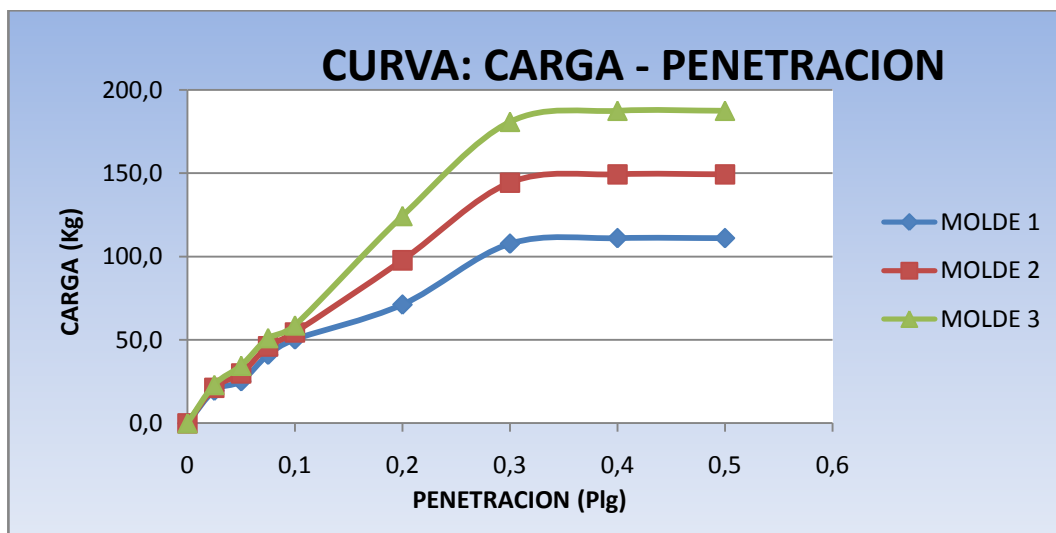
C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
Pulg.	Mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		19,5	1,0		21,3	1,1		23,0	1,2	
0,05	1,27		25,2	1,3		29,9	1,5		34,6	1,8	
0,075	1,9		41,1	2,1		46,1	2,4		51,2	2,6	
0,1	2,54	1360	50,3	2,6	3,7	54,5	2,8	4,0	58,8	3,0	4,3
0,2	5,08	2040	71,2	3,7	3,5	97,8	5,1	4,8	124,4	6,4	6,1
0,3	7,62		107,8	5,6		144,4	7,5		181,0	9,4	
0,4	10,16		111,1	5,7		149,4	7,7		187,6	9,7	
0,5	12,7		111,1	5,7		149,4	7,7		187,6	9,7	

Fuente: Elaboración propia

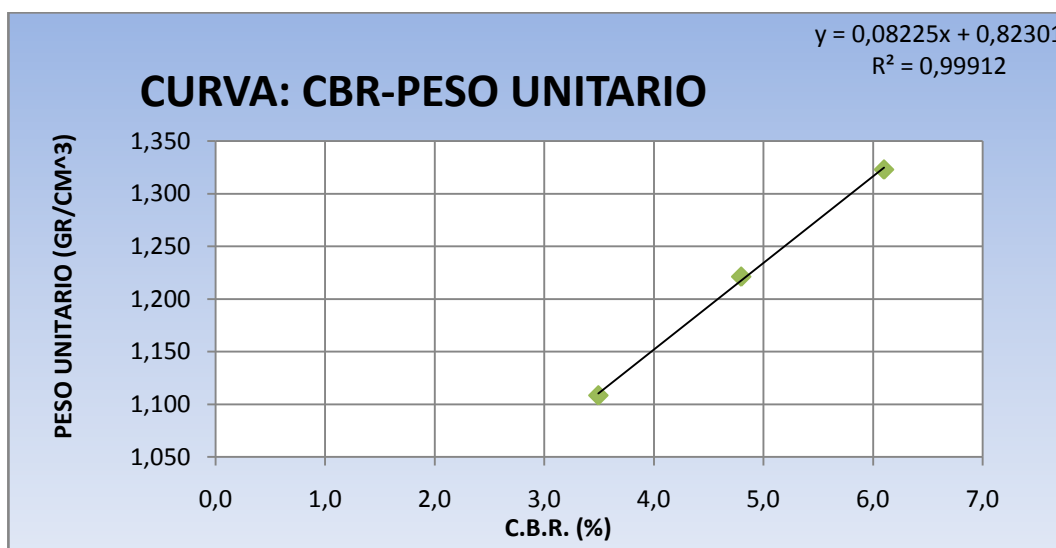
TABLA 4.31. CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 7 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,5	1,108
4,8	1,221
6,1	1,323

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.20. Curva Carga VS Penetración Suelo 1 al 7% Emulsión

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.21. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 7 % de la Emulsión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.32. CBR al 100% y 95 % Suelo 1 al 7% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
10%
CBR 95% D.Máx.
9%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4CBR: SUELO 1 EL PORTILLO AL 9 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.33. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 1 al 9% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)										
Muestra 1	LL 30,21	IP 12,79	Clasificación. a-6(16)		Humedad. Optima. 21,61		D. Máx. 1,65			
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO										
Nº capas		5			5		5			
Nº golpes por capa		12			25		56			
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde		10250		10370	11892		12073	11920		12021
Peso Molde		5912		5912	6907		6907	6234,1		6234,1
Peso muestra húmeda		4338		4458	4985		5166	5685,9		5786,9
Volumen de la muestra		3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.		1,351		1,388	1,552		1,609	1,771		1,802
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara		60,55	64,17	62,21	53,45	51,24	54,65	94,26	97,6	98,23
Peso muestra seca + tara		56,67	56,26	56,23	48,1	46,12	49,5	82,5	84,12	86,15
Peso del agua		3,88	7,91	5,98	5,35	5,12	5,15	11,76	13,48	12,08
Peso de tara		35,7	21,5	21,2	20,1	21,4	21,9	21,2	21,3	22,2
Peso de la muestra seca		20,97	34,76	35,03	28	24,72	27,6	61,3	62,82	63,95
Contenido humedad %		18,5	22,756	17,071	19,107	20,71	18,659	19,184	21,46	18,89
Promedio cont. Humedad		19,44		17,071	19,49		18,659	19,84		18,89
Peso Unit.muestra seca		1,131		1,1859	1,299		1,3559	1,478		1,5159

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.34. Expansión del suelo 1 con el 9% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7	0,7	0	6,2	0,62	0	6,1	0,61	0
2	10,15	1,015	1,7717	9	0,9	1,5748	7,85	0,785	0,9843
3	10,5	1,05	1,9685	10,7	1,07	2,5309	8,25	0,825	1,2092
4	11,45	1,145	2,5028	11,78	1,178	3,1384	10,2	1,02	2,306

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.35. CBR. Suelo 1 al 9 % de la Emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.
			ENSAYO		CORREG	ENSAYO		CORREG	ENSAYO		CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		19,0	1,0		20,4	1,1		21,7	1,1	
0,05	1,27		25,0	1,3		29,5	1,5		34,0	1,8	
0,075	1,9		40,0	2,1		45,3	2,3		50,6	2,6	
0,1	2,54	1360	48,6	2,5	3,6	50,4	2,6	3,7	52,1	2,7	3,8
0,2	5,08	2040	72,4	3,7	3,5	98,1	5,1	4,8	123,8	6,4	6,1
0,3	7,62		106,2	5,5		142,7	7,4		179,3	9,3	
0,4	10,16		109,5	5,7		146,1	7,5		182,6	9,4	
0,5	12,7		109,5	5,7		146,1	7,5		182,6	9,4	

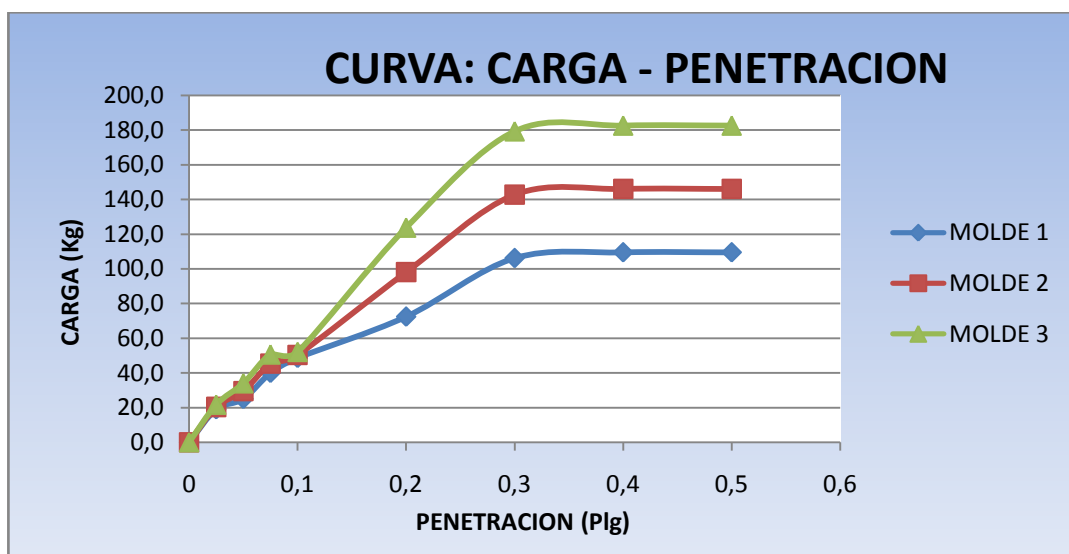
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.36. CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 9 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,5	1,131
4,8	1,299
6,1	1,478

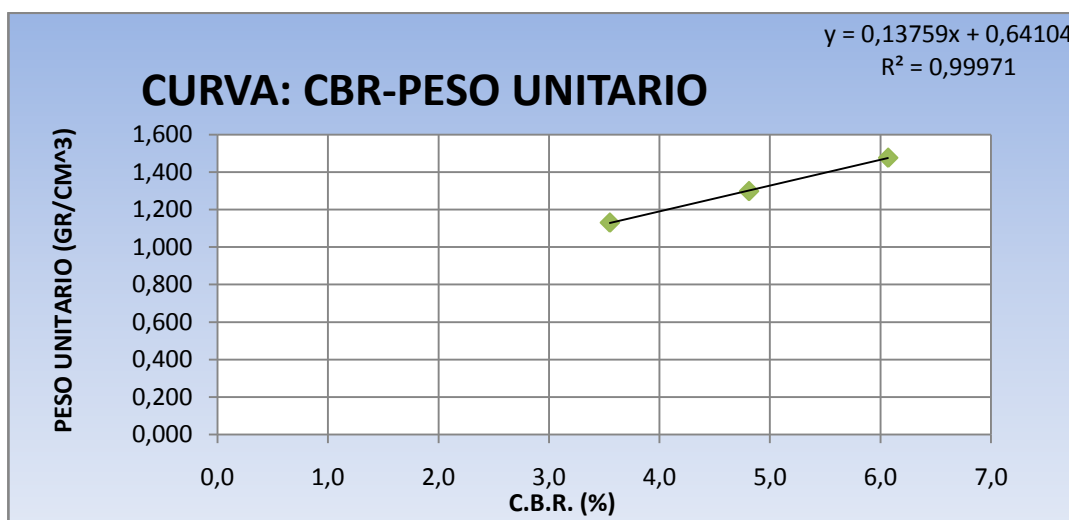
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.22. Curva Carga VS Penetración Suelo 1 al 9% Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.23. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 9 % de la Emulsión



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.37. CBR al 100% y 95 % Suelo 1 al 9% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
8%
CBR 95% D.Máx.
7%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.5CBR: SUELO 1 EL PORTILLO AL 12% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.38. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 1 al 12% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 1	LL 30,21	IP 12,79	Clasificación. a-6(16)			Humedad. Optima. 12,32		D. Máx. 1,57	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10130		10170	11752		12053	11882		12005
Peso Molde	5912		5912	6907		6907	6234,1		6234,1
Peso muestra húmeda	4218		4258	4845		5146	5647,9		5770,9
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,314		1,326	1,509		1,603	1,759		1,797
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	60,56	64,19	62,23	53,47	51,26	54,67	94,28	97,62	98,25
Peso muestra seca + tara	56,69	56,28	56,25	48,12	46,14	49,52	82,52	84,14	86,17
Peso del agua	3,87	7,91	5,98	5,35	5,12	5,15	11,76	13,48	12,08
Peso de tara	35,7	21,5	21,2	20,1	21,4	21,9	21,2	21,3	22,2
Peso de la muestra seca	20,99	34,78	35,05	28,02	24,74	27,62	61,32	62,84	63,97
Contenido humedad %	18,44	22,743	17,061	19,094	20,7	18,646	19,178	21,45	18,884
Promedio cont. Humedad	19,41		17,061	19,48		18,646	19,84		18,884
Peso Unit.muestra seca	1,100		1,1328	1,263		1,3508	1,468		1,5118

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.39. Expansión del suelo 1 con el 12% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,6	0,76	0	6,6	0,66	0	6,5	0,65	0
2	10,25	1,025	1,4904	9,4	0,94	1,5748	8	0,8	0,8436
3	10,65	1,065	1,7154	11	1,1	2,4747	8,8	0,88	1,2936
4	11,58	1,158	2,2385	11,76	1,176	2,9021	10,7	1,07	2,3622

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.40. CBR. Suelo 1 al 12 % de la Emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA		MOLDE N° 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3			
		NORMAL		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		20,7	1,1		22,2	1,1		23,7	1,2	
0,05	1,27		26,7	1,4		30,8	1,6		35,0	1,8	
0,075	1,9		42,0	2,2		47,0	2,4		52,0	2,7	
0,1	2,54	1360	51,3	2,6	3,8	55,6	2,9	4,1	59,9	3,1	4,4
0,2	5,08	2040	70,7	3,7	3,5	97,6	5,0	4,8	124,4	6,4	6,1
0,3	7,62		107,5	5,6		144,2	7,5		181,0	9,4	
0,4	10,16		111,1	5,7		147,4	7,6		183,6	9,5	
0,5	12,7		111,1	5,7		147,4	7,6		183,6	9,5	

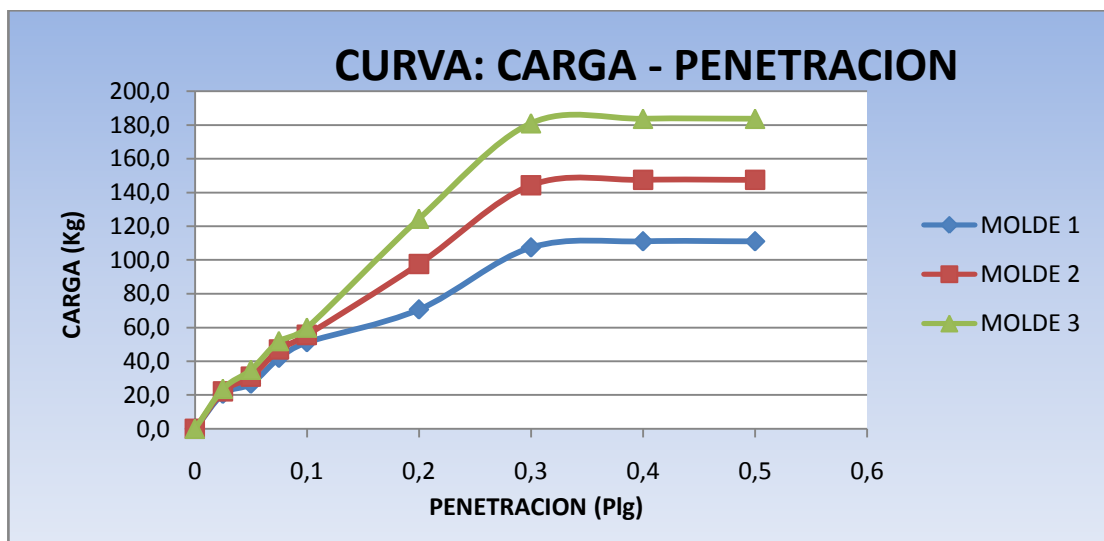
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.41. CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 12 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm3
3,5	1,100
4,8	1,263
6,1	1,468

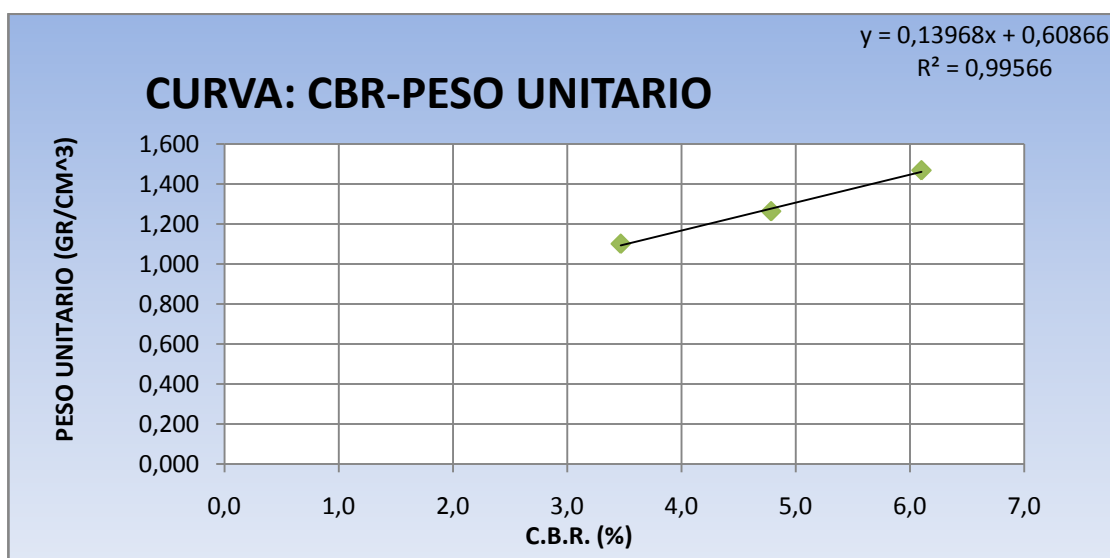
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.24. Curva Carga VS Penetración Suelo 1 al 12% Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.25. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 1 al 12 % de la Emulsión



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.42. CBR al 100% y 95 % Suelo 1 al 12% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
7%
CBR 95% D.Máx.
6%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.6CBR: SUELO 2 FINAL COLON AL 3 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.43. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 2 al 3% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 54,45	IP 34,37	Clasificación. a-7-6		Humedad. Optima. 20,65		D. Máx. 1,56		
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas		5		5		5			
Nº golpes por capa		12		25		56			
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojarse		D. de M		Antes de mojarse		D. de M	
Peso muestra húm.+molde		10321,5		10326		11445,5		11499	
Peso Molde		5909,5		5910		6904,5		6904,5	
Peso muestra húmeda		4412		4416		4541		4594	
Volumen de la muestra		3211		3211		3211		3211	
Peso Unit. Muestra Húm.		1,374		1,375		1,414		1,431	
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.
Tara Nº		1	2	3	1	2	3	1	2
Peso muestra húm + tara		67,45	68,42	62,65	55,54	52,37	60,46	102,4	103
Peso muestra seca + tara		59,43	59,52	55,53	49,55	46,55	53,35	92,76	92,52
Peso del agua		8,02	8,9	7,12	5,99	5,82	7,11	9,64	10,48
Peso de tara		18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7
Peso de la muestra seca		40,52	40,87	37,02	30,05	27,56	34,56	48,26	47,82
Contenido humedad %		19,79	21,776	19,233	19,933	21,12	20,573	19,975	21,92
Promedio cont. Humedad		20,78		19,233		20,53		20,573	
Peso Unit.muestra seca		1,138		1,1534		1,173		1,1866	

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.44. Expansión del suelo 2 con el 3% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,5	0,75	0	6,3	0,63	0	7,77	0,777	0
2	10,32	1,032	1,5861	9,12	0,912	1,5861	10,22	1,022	1,377953
3	11,17	1,117	2,0641	10,92	1,092	2,5984	12,1	1,21	2,435321
4	12,28	1,228	2,6884	11,93	1,193	3,1665	12,9	1,29	2,885264

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.45. CBR. Suelo 2 al 3 % de la Emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		16,4	0,8		19,7	1,0		23,0	1,2	
0,05	1,27		17,0	0,9		21,7	1,1		26,4	1,4	
0,075	1,9		18,0	0,9		23,9	1,2		29,7	1,5	
0,1	2,54	1360	19,4	1,0	1,4	29,5	1,5	2,2	39,7	2,0	2,9
0,2	5,08	2040	30,0	1,6	1,5	43,1	2,2	2,1	56,3	2,9	2,8
0,3	7,62		31,0	1,6		42,8	2,2		54,6	2,8	
0,4	10,16		32,0	1,7		44,1	2,3		56,3	2,9	
0,5	12,7		32,0	1,7		44,1	2,3		56,3	2,9	

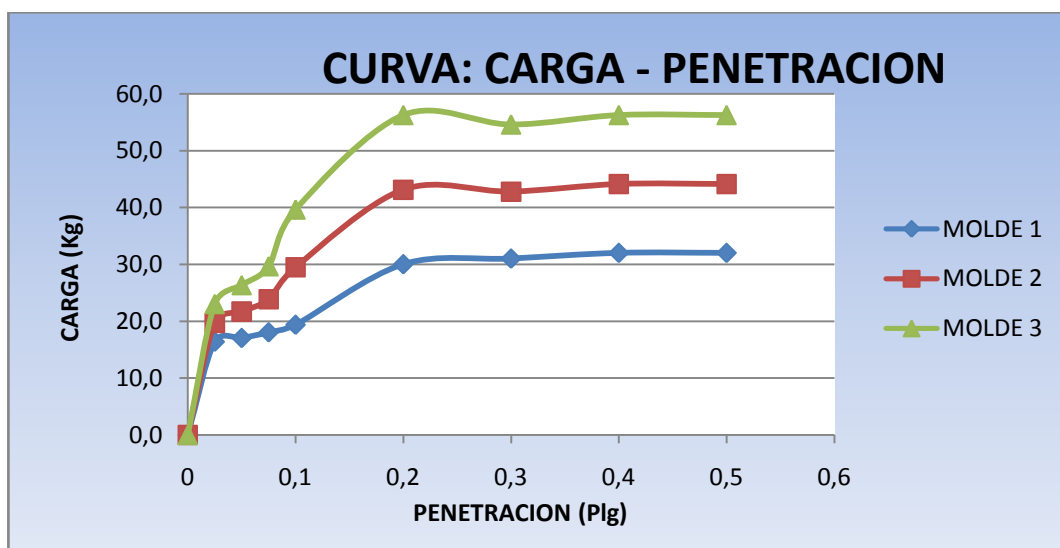
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.46. CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 3 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm3
1,5	1,138
2,1	1,173
2,8	1,312

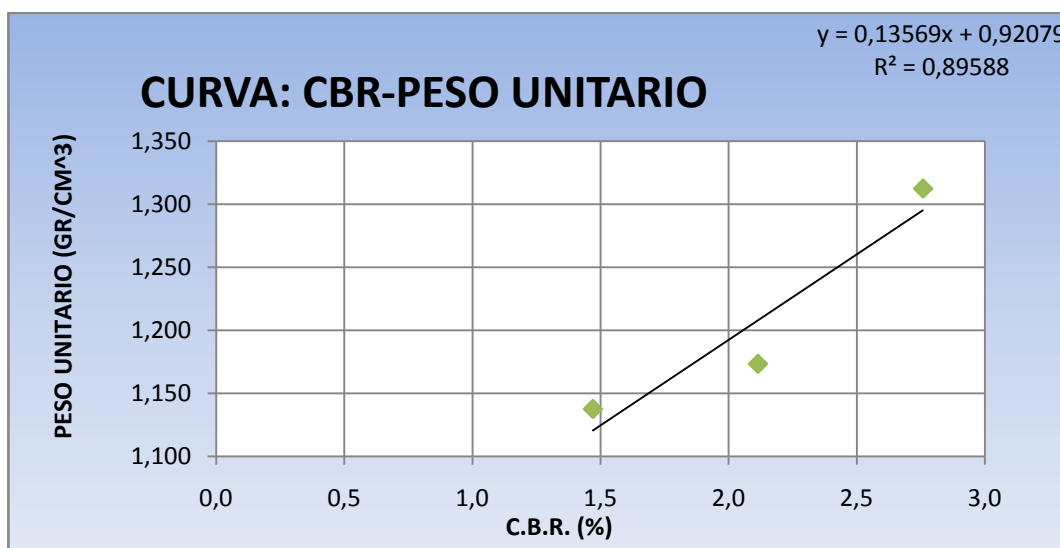
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.26. Curva Carga VS Penetración Suelo 2 al 3% Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.27. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 3 % de la Emulsión



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.47. CBR al 100% y 95 % Suelo 2 al 3% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
7%
CBR 95% D.Máx.
6%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.7CBR: SUELO 2 FINAL COLON AL 5 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.48. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 2 al 5% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)										
Muestra 2	LL 54,45	IP 34,37	Clasificación. a-7-6			Humedad. Optima. 20,20		D. Máx. 1,61		
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO										
Nº capas		5			5			5		
Nº golpes por capa		12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde		10641,8		10766	11865,5		11699	12621,43		12695
Peso Molde		5909,5		5910	6904,5		6904,5	7255		7255
Peso muestra húmeda		4732,3		4856	4961		4794	5366,43		5440
Volumen de la muestra		3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.		1,474		1,512	1,545		1,493	1,671		1,694
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara		66,5	69,28	62,5	57,42	50,75	61,46	100,64	103,3	102
Peso muestra seca + tara		58,86	60,72	55,5	51,2	45,25	54,35	91,46	93,12	91,23
Peso del agua		7,64	8,56	7	6,22	5,5	7,11	9,18	10,18	10,77
Peso de tara		18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca		39,95	42,07	36,99	31,7	26,26	35,56	46,96	48,42	55,83
Contenido humedad %		19,12	20,347	18,924	19,621	20,94	19,994	19,549	21,02	19,2907
Promedio cont. Humedad		19,74		18,924		20,28		19,994		20,29
Peso Unit.muestra seca		1,231		1,2717		1,284		1,2442		1,389

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.49. Expansión del suelo 2 con el 5% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,2	0,72	0	6	0,6	0	7,72	0,772	0
2	10,28	1,028	1,7323	9,1	0,91	1,7435	10,15	1,015	1,366704
3	11,14	1,114	2,216	10,85	1,085	2,7278	12	1,2	2,407199
4	12,24	1,224	2,8346	11,88	1,188	3,3071	12,85	1,285	2,885264

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.50. CBR. Suelo 2 al 5 % de la Emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		19,7	1,0		23,9	1,2		28,0	1,4	
0,05	1,27		23,0	1,2		28,8	1,5		34,7	1,8	
0,075	1,9		28,0	1,4		34,7	1,8		41,3	2,1	
0,1	2,54	1360	36,3	1,9	2,7	42,1	2,2	3,1	48,0	2,5	3,5
0,2	5,08	2040	41,3	2,1	2,0	48,8	2,5	2,4	56,3	2,9	2,8
0,3	7,62		51,3	2,6		56,3	2,9		61,3	3,2	
0,4	10,16		49,6	2,6		54,6	2,8		59,6	3,1	
0,5	12,7		49,6	2,6		54,6	2,8		59,6	3,1	

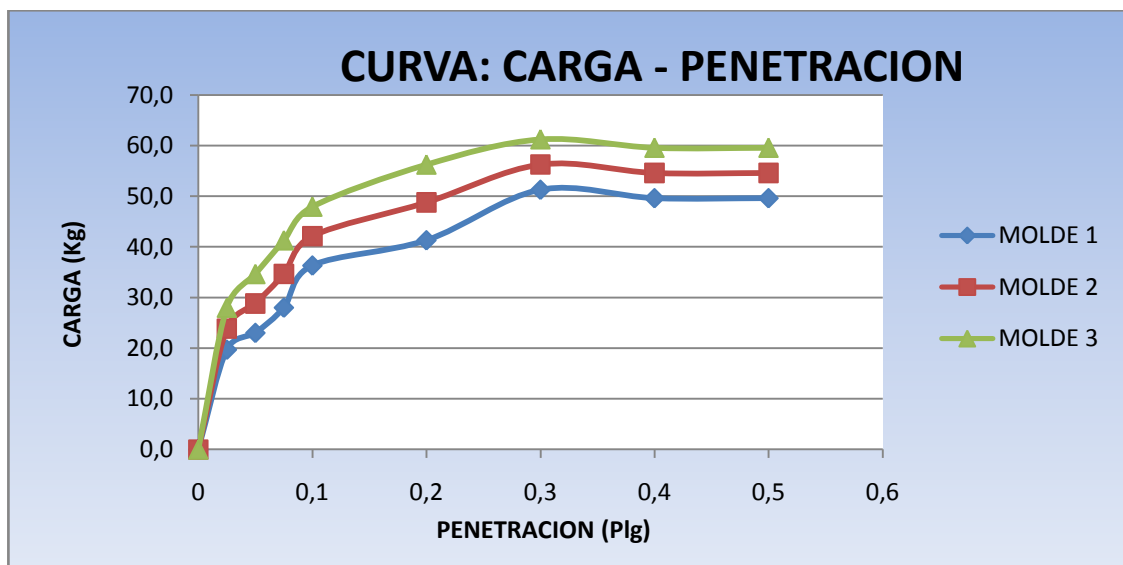
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.51. CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 5 % de Emulsión

C.B.R.	Peso
%	Unit.
	gr/cm ³
2,0	1,231
2,4	1,284
2,8	1,389

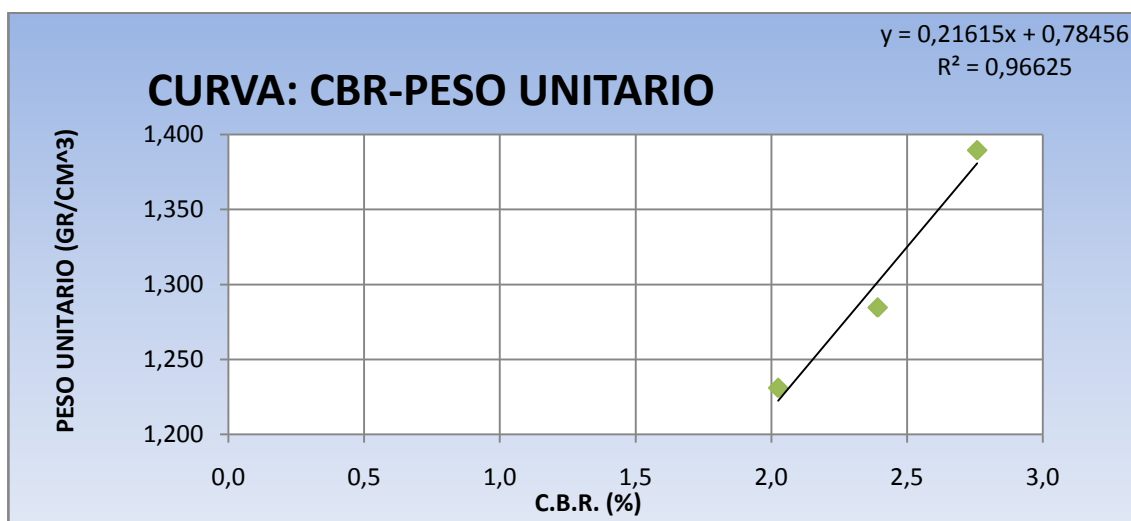
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.28. Curva Carga VS Penetración Suelo 2 al 5% Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.29. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 5 % de la Emulsión



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.52. CBR al 100% y 95 % Suelo 2 al 5% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
8%
CBR 95% D.Máx.
7%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.8CBR: SUELO 2 FINAL COLON AL 7 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.53. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 2 al 7% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 54,45	IP 34,37	Clasificación. a-7-6		Humedad. Optima. 20,39			D. Máx. 1,63	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5		5		5				
Nº golpes por capa	12		25		56				
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M		
Peso muestra húm.+molde	10955,2		10986	11995,87	12000	12881,3	12995		
Peso Molde	5909,5		5910	6904,5	6904,5	7255	7255		
Peso muestra húmeda	5045,7		5076	5091,37	5095,5	5626,3	5740		
Volumen de la muestra	3211		3211	3211	3211	3211	3211		
Peso Unit. Muestra Húm.	1,571		1,581	1,586	1,587	1,752	1,788		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	65,6	68,8	61,34	55,2	52,5	62,6	100,76	103,5	102,45
Peso muestra seca + tara	58,14	59,72	54,75	49,59	46,5	55,5	92	92,82	91,9
Peso del agua	7,46	9,08	6,59	5,61	6	7,1	8,76	10,72	10,55
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	39,23	41,07	36,24	30,09	27,51	36,71	47,5	48,12	56,5
Contenido humedad %	19,02	22,109	18,184	18,644	21,81	19,341	18,442	22,28	18,67257
Promedio cont. Humedad	20,56		18,184	20,23		19,341	20,36		18,67257
Peso Unit.muestra seca	1,303		1,3376	1,319		1,3297	1,456		1,506334

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.54. Expansión del suelo 2 con el 7% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7	0,7	0	6	0,6	0	7,7	0,77	0
2	10,18	1,018	1,7885	9	0,9	1,6873	10,1	1,01	1,349831
3	11,11	1,111	2,3116	10,8	1,08	2,6997	12	1,2	2,418448
4	12,2	1,22	2,9246	11,8	1,18	3,2621	12,8	1,28	2,868391

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.55. CBR. Suelo 2 al 7 % de la Emulsión asfáltica

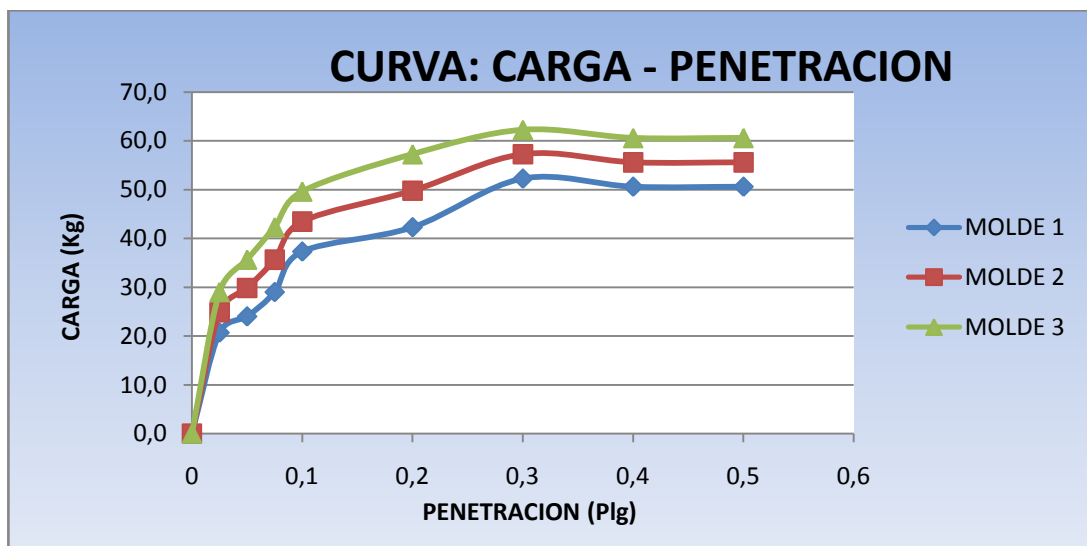
C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		20,7	1,1		24,9	1,3		29,0	1,5	
0,05	1,27		24,0	1,2		29,8	1,5		35,7	1,8	
0,075	1,9		29,0	1,5		35,7	1,8		42,3	2,2	
0,1	2,54	1360	37,3	1,9	2,7	43,5	2,2	3,2	49,6	2,6	3,6
0,2	5,08	2040	42,3	2,2	2,1	49,8	2,6	2,4	57,3	3,0	2,8
0,3	7,62		52,3	2,7		57,3	3,0		62,3	3,2	
0,4	10,16		50,6	2,6		55,6	2,9		60,6	3,1	
0,5	12,7		50,6	2,6		55,6	2,9		60,6	3,1	

Fuente: Elaboración propia

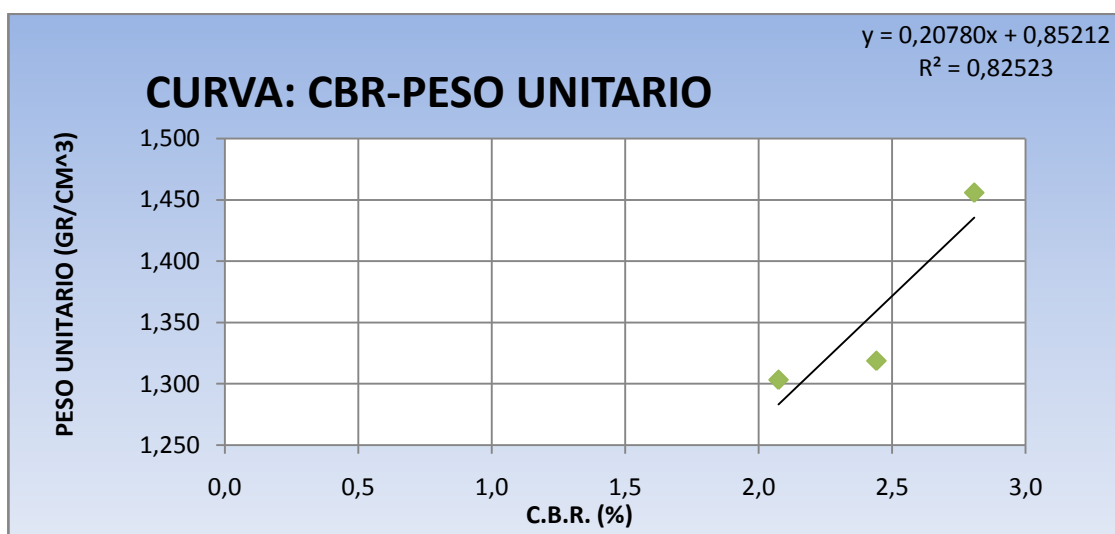
TABLA 4.56. CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 7 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
2,1	1,303
2,4	1,319
2,8	1,456

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.30. Curva Carga VS Penetración Suelo 2 al 7% Emulsión

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.31. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 7 % de la Emulsión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.57. CBR al 100% y 95 % Suelo 2 al 7% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
8%
CBR 95% D.Máx.
7%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.9CBR: SUELO 2 FINAL COLON AL 9 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.58. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 2 al 9% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 54,45	IP 34,37	Clasificación. a-7-6		Humedad. Optima. 22,46			D. Máx. 1,60	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10525,2		10886	11695,7		11800	12487,3		12695
Peso Molde	5909,5		5910	6904,5		6904,5	7255		7255
Peso muestra húmeda	4615,7		4976	4791,2		4895,5	5232,3		5440
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,437		1,550	1,492		1,525	1,629		1,694
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	65,82	68,85	61,34	55	55,6	62,5	100	102,2	102,47
Peso muestra seca + tara	57,94	59,41	54,75	48,9	48,5	55,4	90,44	91,2	91,93
Peso del agua	7,88	9,44	6,59	6,1	7,1	7,1	9,56	11,01	10,54
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	39,03	40,76	36,24	29,4	29,51	36,61	45,94	46,5	56,53
Contenido humedad %	20,19	23,16	18,184	20,748	24,06	19,394	20,81	23,68	18,64497
Promedio cont. Humedad	21,67		18,184	22,40		19,394	22,24		18,64497
Peso Unit.muestra seca	1,181		1,3112	1,219		1,277	1,333		1,427938

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.59. Expansión del suelo 2 con el 9% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,5	0,75	0	6,5	0,65	0	7,5	0,75	0
2	10,25	1,025	1,5467	9,6	0,96	1,7435	10	1	1,406074
3	11,16	1,116	2,0585	11,2	1,12	2,6434	11,8	1,18	2,418448
4	12,28	1,228	2,6884	11,42	1,142	2,7672	12,62	1,262	2,87964

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.60. CBR. Suelo 2 al 9 % de la Emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA		MOLDE N° 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3			
		NORMAL		CARGA		C.B.R.		CARGA		C.B.R.	
				ENSAYO		CORREG		ENSAYO		CORREG	
Pulg.	mm	Kg		Kg	Kg/cm ²	%		Kg	Kg/cm ²	%	
0	0			0,0	0			0,0	0		
0,025	0,63			20,4	1,1			25,0	1,3		
0,05	1,27			23,7	1,2			30,0	1,6		
0,075	1,9			28,7	1,5			35,8	1,9		
0,1	2,54	1360		36,3	1,9	2,7		43,0	2,2	3,2	
0,2	5,08	2040		41,3	2,1	2,0		48,8	2,5	2,4	
0,3	7,62			51,3	2,6			56,3	2,9		
0,4	10,16			49,3	2,5			54,4	2,8		
0,5	12,7			49,3	2,5			54,4	2,8		

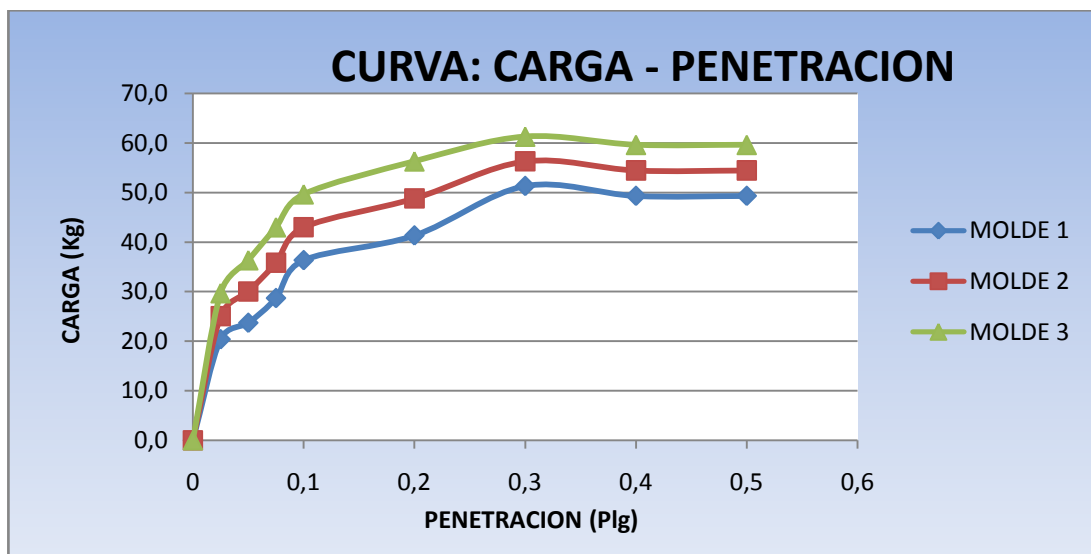
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.61. CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 9 % de Emulsión

C.B.R.	Peso
%	Unit.
	gr/cm3
2,0	1,181
2,4	1,219
2,8	1,333

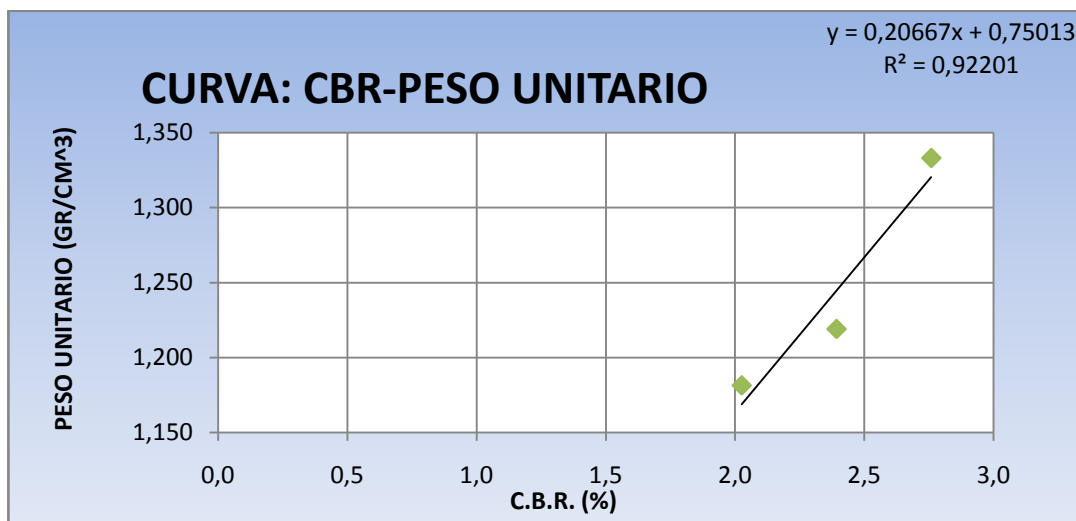
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.32. Curva Carga VS Penetración Suelo 2 al 9% Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.33. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 9 % de la Emulsión



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.62. CBR al 100% y 95 % Suelo 2 al 9% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
7%
CBR 95% D.Máx.
6%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.10CBR: SUELO 2 FINAL COLON AL 12 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.63. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 2 al 12% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 54,45	IP 34,37	Clasificación. a-7-6		Humedad. Optima. 18,31			D. Máx. 1,51	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5		5		5				
Nº golpes por capa	12		25		56				
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse		D. de M	
Peso muestra húm.+molde	10435,8		10486	11495,2	11500	12237,6		12305	
Peso Molde	5909,5		5910	6904,5	6904,5	7255		7255	
Peso muestra húmeda	4526,3		4576	4590,7	4595,5	4982,6		5050	
Volumen de la muestra	3211		3211	3211	3211	3211		3211	
Peso Unit. Muestra Húm.	1,410		1,425	1,430	1,431	1,552		1,573	
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	64,22	64,5	61,33	55,45	55,5	62,4	99,78	102	100,67
Peso muestra seca + tara	57,24	57,18	54,7	49,86	49,9	55,8	90,89	92,87	90,93
Peso del agua	6,98	7,32	6,63	5,59	5,6	6,6	8,89	9,13	9,74
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	38,33	38,53	36,19	30,36	30,91	37,01	46,39	48,17	55,53
Contenido humedad %	18,21	18,998	18,32	18,412	18,12	17,833	19,164	18,95	17,54007
Promedio cont. Humedad	18,60		18,32	18,26		17,833	19,06		17,54007
Peso Unit.muestra seca	1,189		1,2044	1,209		1,2146	1,303		1,338028

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.64. Expansión del suelo 2 con el 12% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7	0,7	0	6	0,6	0	7	0,7	0
2	10,1	1,01	1,7435	9,2	0,92	1,7998	10,5	1,05	1,968504
3	11,1	1,11	2,306	11	1,1	2,8121	11,4	1,14	2,474691
4	12,15	1,215	2,8965	11,2	1,12	2,9246	12,2	1,22	2,924634

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.65. CBR. Suelo 2 al 12 % de la Emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA		MOLDE N° 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3			
		NORMAL		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		18,0	0,9		23,9	1,2		29,7	1,5	
0,05	1,27		22,7	1,2		29,5	1,5		36,3	1,9	
0,075	1,9		28,0	1,4		35,5	1,8		43,0	2,2	
0,1	2,54	1360	34,7	1,8	2,5	42,1	2,2	3,1	49,6	2,6	3,6
0,2	5,08	2040	41,3	2,1	2,0	48,8	2,5	2,4	56,3	2,9	2,8
0,3	7,62		49,6	2,6		55,4	2,9		61,3	3,2	
0,4	10,16		48,6	2,5		54,1	2,8		59,6	3,1	
0,5	12,7		48,6	2,5		54,1	2,8		59,6	3,1	

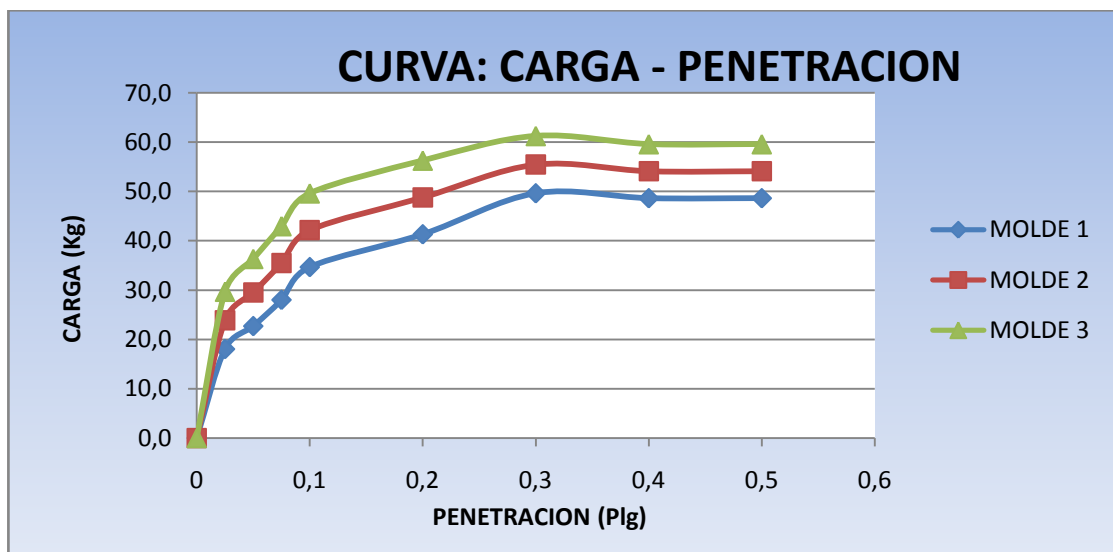
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.66. CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 12 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
2,0	1,189
2,4	1,209
2,8	1,303

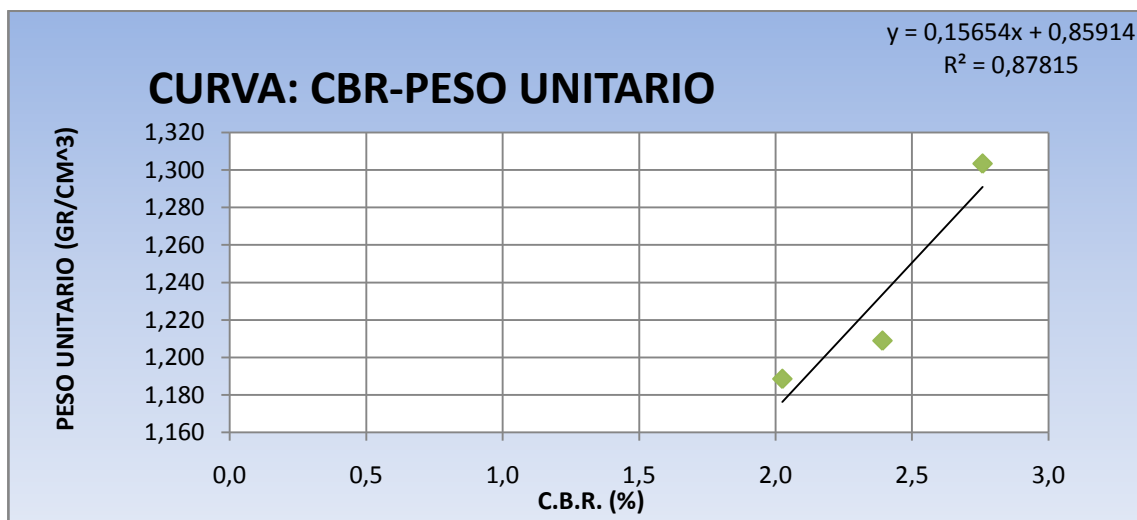
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.34. Curva Carga VS Penetración Suelo 2 al 12% Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.35. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 2 al 12 % de la Emulsión



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.67. CBR al 100% y 95 % Suelo 2 al 12% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
4%
CBR 95% D.Máx.
3%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.11CBR: SUELO 3 TORRECILLAS AL 3 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.68. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 3 al 3% de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 56,56	IP 22,84	Clasificación. a-7-5(16)			Humedad. Optima. 21,33		D. Máx. 1,54	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10697,21		10456	12059,5		11669	12752,78		12600
Peso Molde	5910,5		5911	6910,5		6911,5	7258		7262
Peso muestra húmeda	4786,71		4545	5149		4757	5494,78		5338
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,491		1,415	1,604		1,481	1,711		1,662
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	65,8	65,7	63,1	55,7	57,23	60,78	101,56	100,8	100,57
Peso muestra seca + tara	57,77	57,6	56,2	49,52	50,62	53,76	91,77	91,17	90
Peso del agua	8,03	8,1	6,9	6,18	6,61	7,02	9,79	9,63	10,57
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	38,86	38,95	37,69	30,02	31,63	34,97	47,27	46,47	54,6
Contenido humedad %	20,66	20,796	18,307	20,586	20,9	20,074	20,711	20,72	19,35897
Promedio cont. Humedad	20,73		18,307	20,74		20,074	20,72		19,35897
Peso Unit.muestra seca	1,235		1,1964	1,328		1,2338	1,418		1,392782

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.69. Expansión del suelo 3 con el 3% de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,2	0,72	0	6	0,6	0	7,8	0,78	0
2	10,12	1,012	1,6423	8,97	0,897	1,6704	10,25	1,025	1,377953
3	11,05	1,105	2,1654	10,85	1,085	2,7278	12,36	1,236	2,564679
4	11,95	1,195	2,6715	11,9	1,19	3,3183	12,9	1,29	2,868391

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.70. CBR. Suelo 3 al 3 % de la Emulsión asfáltica

C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.
			ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		18,0	0,9		19,7	1,0		21,4	1,1	
0,05	1,27		23,0	1,2		28,0	1,4		33,0	1,7	
0,075	1,9		41,3	2,1		45,5	2,3		49,6	2,6	
0,1	2,54	1360	49,6	2,6	3,6	52,1	2,7	3,8	54,6	2,8	4,0
0,2	5,08	2040	64,6	3,3	3,2	72,9	3,8	3,6	81,2	4,2	4,0
0,3	7,62		61,3	3,2		67,9	3,5		74,6	3,9	
0,4	10,16		61,3	3,2		67,9	3,5		74,6	3,9	
0,5	12,7		61,3	3,2		67,9	3,5		74,6	3,9	

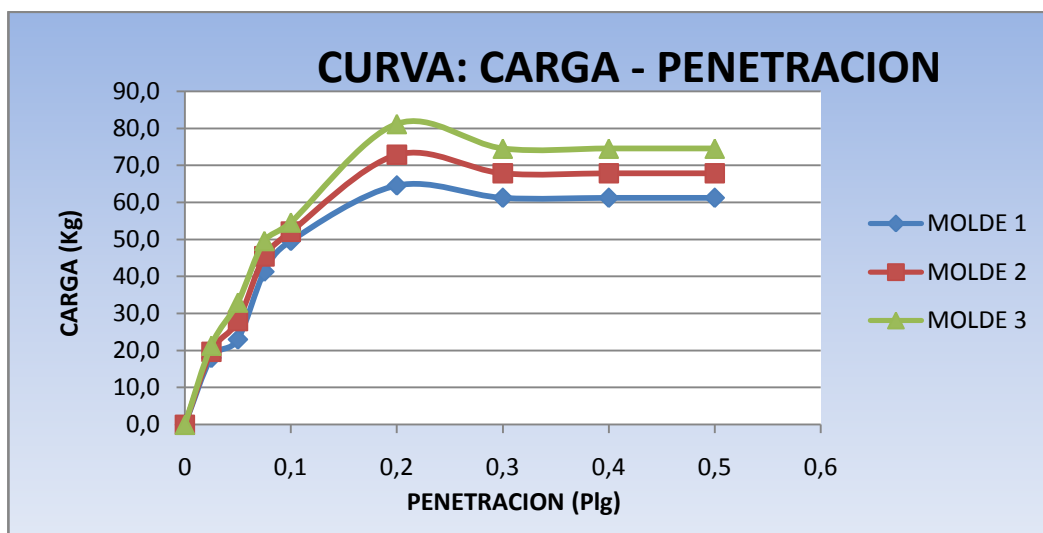
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.71. CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 3 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,2	1,235
3,6	1,328
4,0	1,418

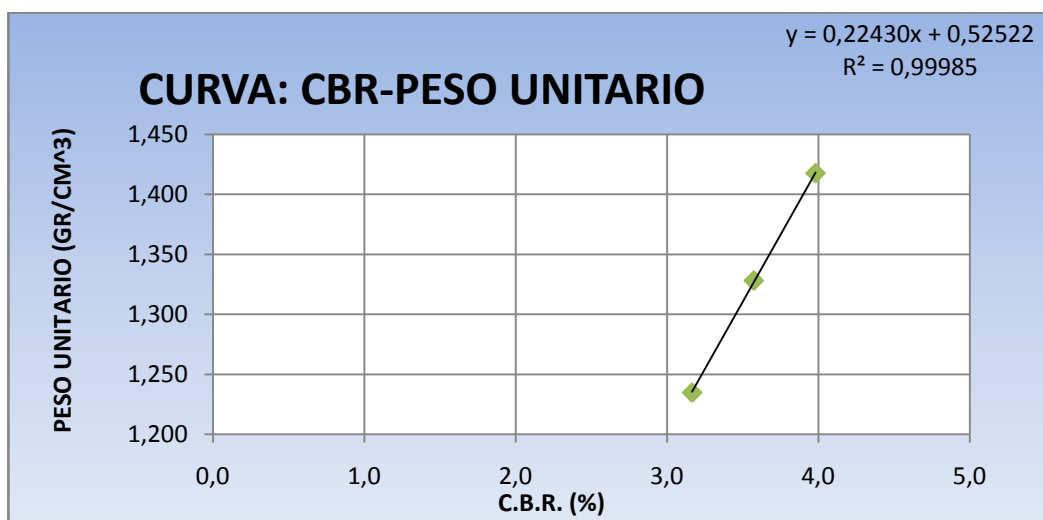
Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.36. Curva Carga VS Penetración Suelo 3 al 3% Emulsión



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.37. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 3 % de la Emulsión



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.72. CBR al 100% y 95 % Suelo 3 al 3% de la Emulsión

CBR 100% D.máx
5%
CBR 95% D.Máx.
4%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.12CBR: SUELO 3 TORRECILLAS AL 5 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.73. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 3 al 5 % de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 56,56	IP 22,84	Clasificación. a-7-5(16)			Humedad. Optima. 22,21		D. Máx. 1,55	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10580,7		10696	12032,3		12169	12622		12800
Peso Molde	5910,5		5911	6910,5		6911,5	7258		7262
Peso muestra húmeda	4670,2		4785	5121,8		5257	5364		5538
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,454		1,490	1,595		1,637	1,671		1,725
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	68,8	65,7	63,1	55,7	57,23	60,78	101,56	100,8	100,57
Peso muestra seca + tara	59,77	57,1	55,2	49,52	50,62	53,76	91,77	91,17	90
Peso del agua	9,03	8,6	7,9	6,18	6,61	7,02	9,79	9,63	10,57
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	40,86	38,45	36,69	30,02	31,63	34,97	47,27	46,47	54,6
Contenido humedad %	22,1	22,367	21,532	20,586	20,9	20,074	20,711	20,72	19,35897
Promedio cont. Humedad	22,23		21,532	20,74		20,074	20,72		19,35897
Peso Unit.muestra seca	1,190		1,2262	1,321		1,3635	1,384		1,444966

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.74. Expansión del suelo 3 con el 5 % de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7	0,7	0	6,2	0,62	0	7,8	0,78	0
2	10,1	1,01	1,7435	8,95	0,895	1,5467	10,25	1,025	1,377953
3	11	1,1	2,2497	10,8	1,08	2,5872	12,36	1,236	2,564679
4	11,9	1,19	2,7559	11,88	1,188	3,1946	12,9	1,29	2,868391

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.75. CBR. Suelo 3 al 5 % de la Emulsión asfáltica

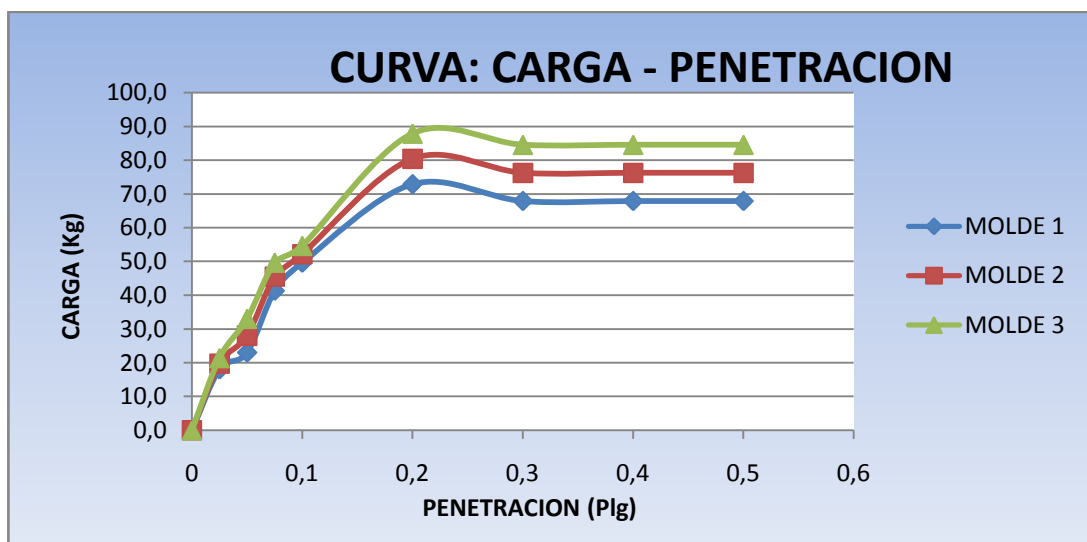
C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.
			ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		18,0	0,9		19,7	1,0		21,4	1,1	
0,05	1,27		23,0	1,2		28,0	1,4		33,0	1,7	
0,075	1,9		41,3	2,1		45,5	2,3		49,6	2,6	
0,1	2,54	1360	49,6	2,6	3,6	52,1	2,7	3,8	54,6	2,8	4,0
0,2	5,08	2040	72,9	3,8	3,6	80,4	4,2	3,9	87,9	4,5	4,3
0,3	7,62		67,9	3,5		76,2	3,9		84,5	4,4	
0,4	10,16		67,9	3,5		76,2	3,9		84,5	4,4	
0,5	12,7		67,9	3,5		76,2	3,9		84,5	4,4	

Fuente: Elaboración propia

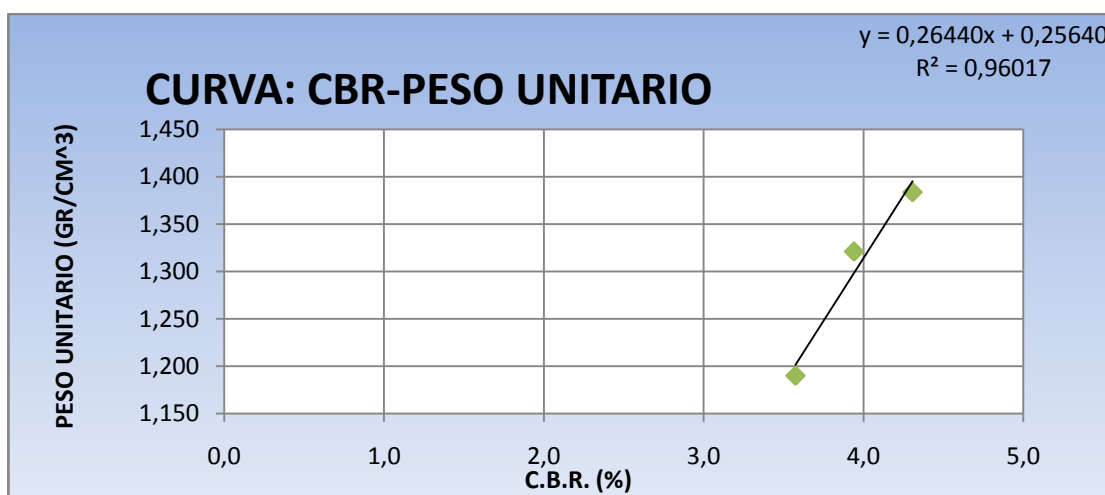
TABLA 4.76. CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 5 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,6	1,190
3,9	1,321
4,3	1,384

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.38. Curva Carga VS Penetración Suelo 3 al 5 % Emulsión

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.39. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 5 % de la Emulsión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.77. CBR al 100% y 95 % Suelo 3 al 5 % de la Emulsión

CBR 100% D.máx
6%
CBR 95% D.Máx.
5%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.13CBR: SUELO 3 TORRECILLAS AL 7 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.78. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 3 al 7 % de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 56,56	IP 22,84	Clasificación. a-7-5(16)		Humedad. Optima. 22,70			D. Máx. 1,56	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5		5		5				
Nº golpes por capa	12		25		56				
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse		D. de M	
Peso muestra húm.+molde	10699,65		11000	12322,7	12389	12826		12850	
Peso Molde	5910,5		5911	6910,5	6911,5	7258		7262	
Peso muestra húmeda	4789,15		5089	5412,2	5477	5568		5588	
Volumen de la muestra	3211		3211	3211	3211	3211		3211	
Peso Unit. Muestra Húm.	1,491		1,585	1,686	1,706	1,734		1,740	
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	69,23	65,4	63,2	57,5	55,3	61	101,42	100,2	100,23
Peso muestra seca + tara	59,77	57,1	55,2	49,52	50,62	53,76	91,77	91,17	90
Peso del agua	9,46	8,3	8	7,98	4,68	7,24	9,65	9,06	10,23
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	40,86	38,45	36,69	30,02	31,63	34,97	47,27	46,47	54,6
Contenido humedad %	23,15	21,586	21,804	26,582	14,8	20,703	20,415	19,5	18,73626
Promedio cont. Humedad	22,37		21,804	20,69		20,703	19,96		18,73626
Peso Unit.muestra seca	1,219		1,3012	1,397		1,4131	1,446		1,465658

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.79. Expansión del suelo 3 con el 7 % de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7	0,7	0	6,2	0,62	0	7,8	0,78	0
2	10,1	1,01	1,7435	8,95	0,895	1,5467	10,25	1,025	1,377953
3	11	1,1	2,2497	10,8	1,08	2,5872	12,36	1,236	2,564679
4	11,9	1,19	2,7559	11,88	1,188	3,1946	12,9	1,29	2,868391

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.80. CBR. Suelo 3 al 7 % de la Emulsión asfáltica

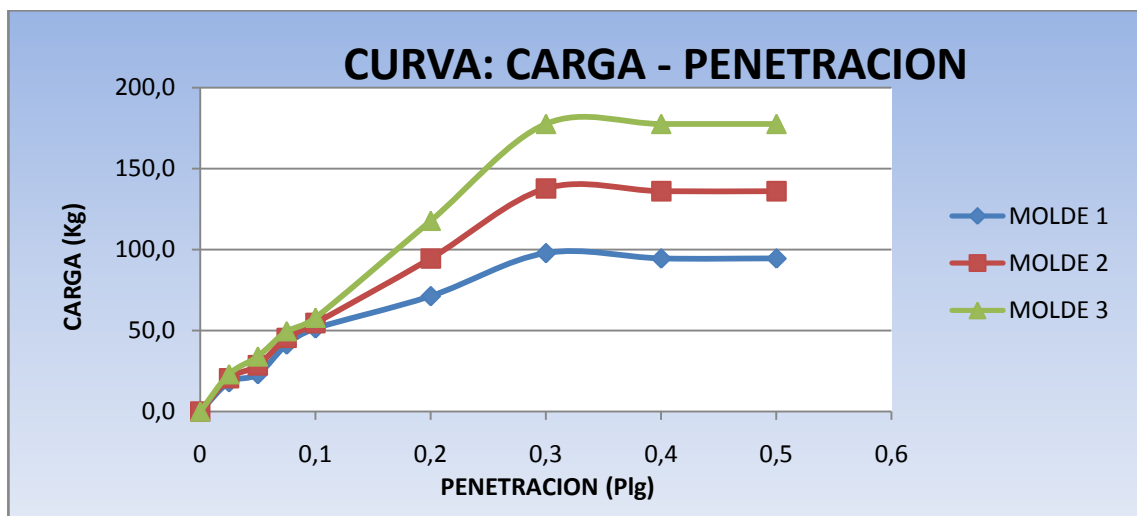
C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.
			ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		18,0	0,9		20,5	1,1		23,0	1,2	
0,05	1,27		23,0	1,2		28,5	1,5		34,0	1,8	
0,075	1,9		41,3	2,1		45,5	2,3		49,6	2,6	
0,1	2,54	1360	51,3	2,6	3,8	54,6	2,8	4,0	57,9	3,0	4,3
0,2	5,08	2040	71,2	3,7	3,5	94,5	4,9	4,6	117,8	6,1	5,8
0,3	7,62		97,8	5,1		137,7	7,1		177,6	9,2	
0,4	10,16		94,5	4,9		136,1	7,0		177,6	9,2	
0,5	12,7		94,5	4,9		136,1	7,0		177,6	9,2	

Fuente: Elaboración propia

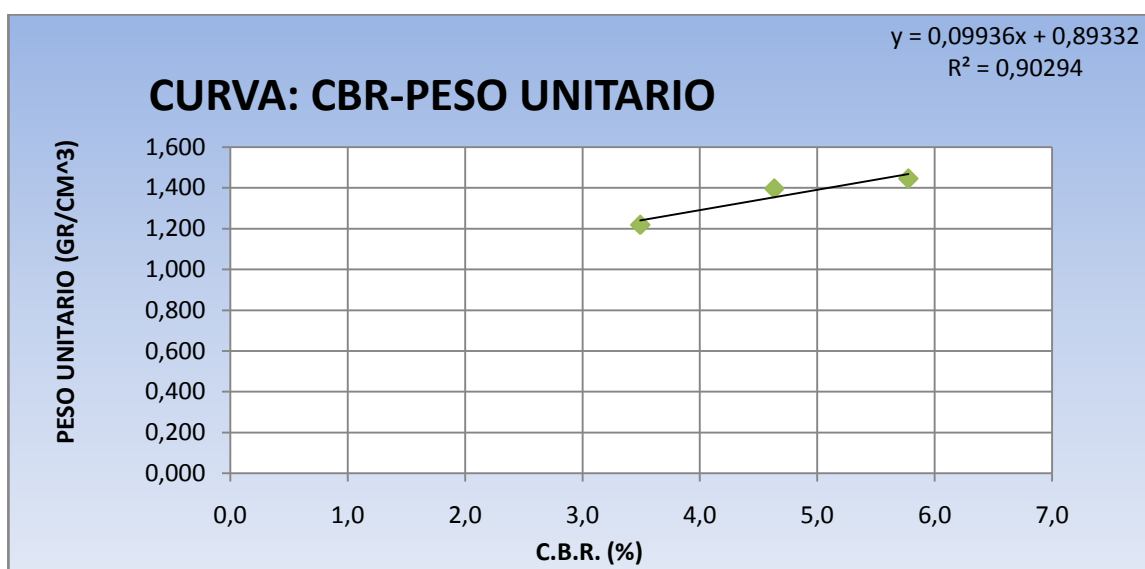
TABLA 4.81. CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 7 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,5	1,219
4,6	1,397
5,8	1,446

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.40. Curva Carga VS Penetración Suelo 3 al 7 % Emulsión

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.41. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 7 % de la Emulsión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.82. CBR al 100% y 95 % Suelo 3 al 7 % de la Emulsión

CBR 100% D.máx
7%
CBR 95% D.Máx.
6%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.14CBR: SUELO 3 TORRECILLAS AL 9 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.83. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 3 al 9 % de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 56,56	IP 22,84	Clasificación. a-7-5(16)		Humedad. Optima. 22,57			D. Máx. 1,54	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10689,65		10635	12252,1		12289	12752		12450
Peso Molde	5910,5		5911	6910,5		6911,5	7258		7262
Peso muestra húmeda	4779,15		4724	5341,6		5377	5494		5188
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,488		1,471	1,664		1,675	1,711		1,616
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	67,3	64,4	62,6	56,2	55,2	61,2	101	100,4	100
Peso muestra seca + tara	58,45	55,89	55,2	49,52	48,67	53,76	90,76	90,12	89,78
Peso del agua	8,85	8,51	7,4	6,68	6,53	7,44	10,24	10,28	10,22
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	39,54	37,24	36,69	30,02	29,68	34,97	46,26	45,42	54,38
Contenido humedad %	22,38	22,852	20,169	22,252	22	21,275	22,136	22,63	18,79367
Promedio cont. Humedad	22,62		20,169	22,13		21,275	22,38		18,79367
Peso Unit.muestra seca	1,214		1,2243	1,362		1,3808	1,398		1,360086

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.84. Expansión del suelo 3 con el 9 % de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,3	0,73	0	6,55	0,655	0	7,9	0,79	0
2	10,5	1,05	1,7998	9,23	0,923	1,5073	10,24	1,024	1,316085
3	11,56	1,156	2,396	10,8	1,08	2,3903	12,56	1,256	2,620922
4	12,23	1,223	2,7728	12	1,2	3,0652	13,25	1,325	3,008999

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.85. CBR. Suelo 3 al 9 % de la Emulsión asfáltica

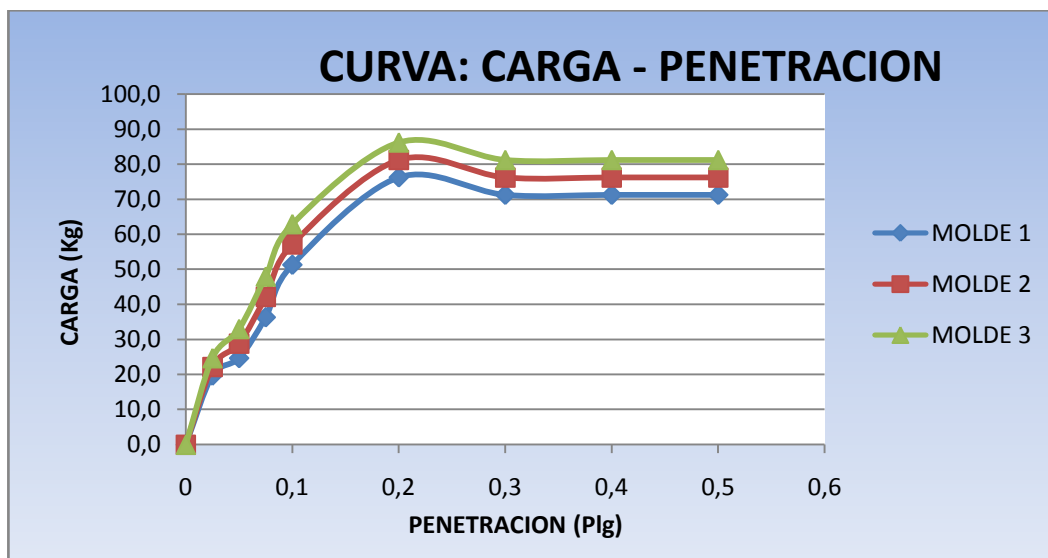
C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.
			ENSAYO		CORREG	ENSAYO		CORREG	ENSAYO		CORREG
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		19,7	1,0		22,2	1,1		24,7	1,3	
0,05	1,27		24,7	1,3		28,8	1,5		33,0	1,7	
0,075	1,9		36,3	1,9		42,1	2,2		48,0	2,5	
0,1	2,54	1360	51,3	2,6	3,8	57,1	3,0	4,2	62,9	3,3	4,6
0,2	5,08	2040	76,2	3,9	3,7	81,2	4,2	4,0	86,2	4,5	4,2
0,3	7,62		71,2	3,7		76,2	3,9		81,2	4,2	
0,4	10,16		71,2	3,7		76,2	3,9		81,2	4,2	
0,5	12,7		71,2	3,7		76,2	3,9		81,2	4,2	

Fuente: Elaboración propia

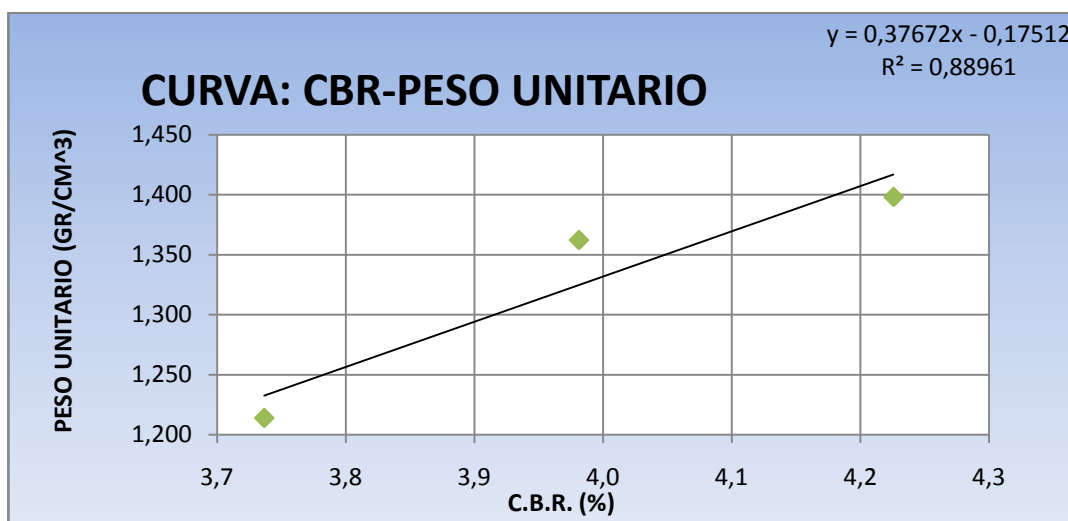
TABLA 4.86. CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 9 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,7	1,214
4,0	1,362
4,2	1,398

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.42. Curva Carga VS Penetración Suelo 3 al 9 % Emulsión

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.43. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 9 % de la Emulsión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.87. CBR al 100% y 95 % Suelo 3 al 9 % de la Emulsión

CBR 100% D.máx
4%
CBR 95% D.Máx.
3%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.15CBR: SUELO 3 TORRECILLAS AL 12 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.88. Contenido de Humedad y Peso Unitario Suelo 3 al 12 % de Emulsión

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)									
Muestra 2	LL 56,56	IP 22,84	Clasificación. a-7-5(16)		Humedad. Optima. 22,62			D. Máx. 1,53	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10629,5		10634	12272,1		12279	12712		12750
Peso Molde	5910,5		5911	6910,5		6911,5	7258		7262
Peso muestra húmeda	4719		4723	5361,6		5367	5454		5488
Volumen de la muestra	3211		3211	3211		3211	3211		3211
Peso Unit. Muestra Húm.	1,470		1,471	1,670		1,671	1,699		1,709
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	64,7	64,78	62,21	57,5	54,25	60,45	100,67	100	100,48
Peso muestra seca + tara	56,56	56,24	54,8	50,67	48,21	53,76	90,75	90,1	89,6
Peso del agua	8,14	8,54	7,41	6,83	6,04	6,69	9,92	9,9	10,88
Peso de tara	18,91	18,65	18,51	19,5	18,99	18,79	44,5	44,7	35,4
Peso de la muestra seca	37,65	37,59	36,29	31,17	29,22	34,97	46,25	45,4	54,2
Contenido humedad %	21,62	22,719	20,419	21,912	20,67	19,131	21,449	21,81	20,0738
Promedio cont. Humedad	22,17		20,419	21,29		19,131	21,63		20,0738
Peso Unit.muestra seca	1,203		1,2215	1,377		1,403	1,397		1,423395

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.89. Expansión del suelo 3 con el 12 % de Emulsión Asfáltica

EXPANSION									
TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
1	7,56	0,756	0	6,8	0,68	0	8	0,8	0
2	10,8	1,08	1,8223	9,35	0,935	1,4342	10,3	1,03	1,293588
3	11,79	1,179	2,3791	11	1,1	2,3622	12,88	1,288	2,744657
4	12,55	1,255	2,8065	12,56	1,256	3,2396	13,3	1,33	2,980877

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.90. CBR. Suelo 3 al 12 % de la Emulsión asfáltica

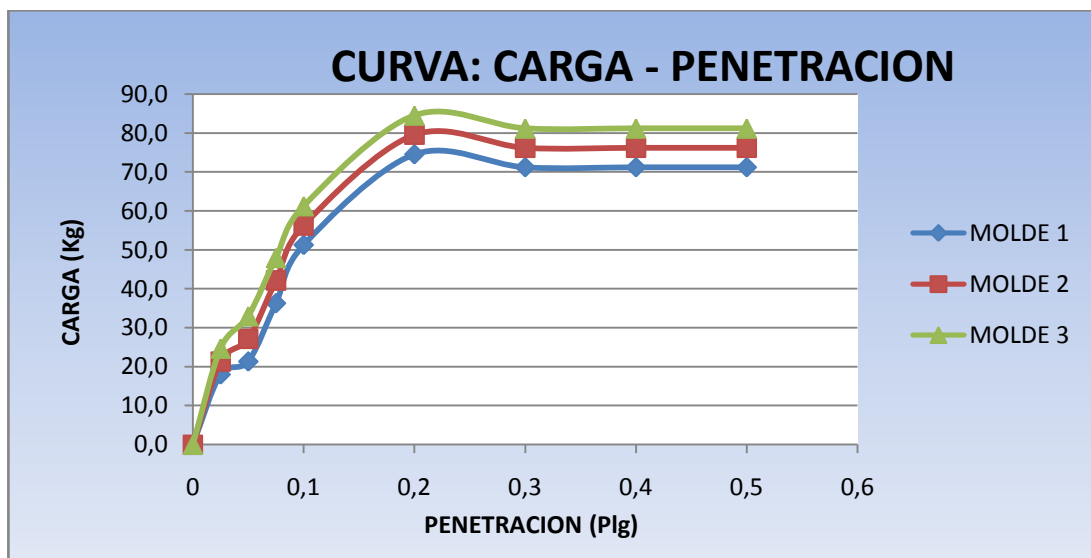
C.B.R.											
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.	CARGA		C.B.R.
			ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG		ENSAYO	CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	%
0	0		0,0	0		0,0	0		0,0	0	
0,025	0,63		18,0	0,9		21,4	1,1		24,7	1,3	
0,05	1,27		21,4	1,1		27,2	1,4		33,0	1,7	
0,075	1,9		36,3	1,9		42,1	2,2		48,0	2,5	
0,1	2,54	1360	51,3	2,6	3,8	56,3	2,9	4,1	61,3	3,2	4,5
0,2	5,08	2040	74,6	3,9	3,7	79,6	4,1	3,9	84,5	4,4	4,1
0,3	7,62		71,2	3,7		76,2	3,9		81,2	4,2	
0,4	10,16		71,2	3,7		76,2	3,9		81,2	4,2	
0,5	12,7		71,2	3,7		76,2	3,9		81,2	4,2	

Fuente: Elaboración propia

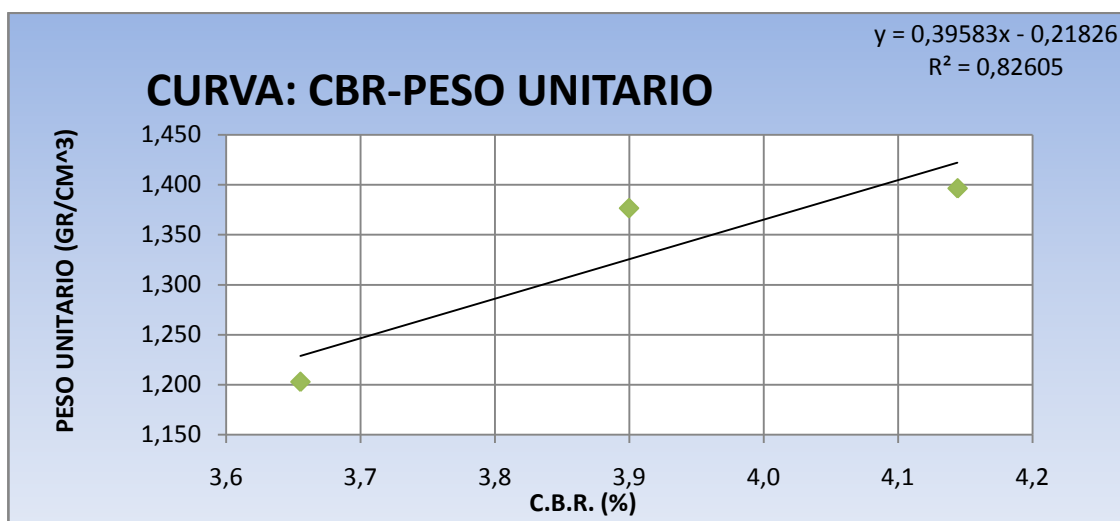
TABLA 4.91. CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 12 % de Emulsión

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
3,7	1,203
3,9	1,377
4,1	1,397

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.44. Curva Carga VS Penetración Suelo 3 al 12 % Emulsión

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.45. Curva CBR VS Peso Unitario Suelo 3 al 12 % de la Emulsión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.92. CBR al 100% y 95 % Suelo 3 al 12 % de la Emulsión

CBR 100% D.máx
3%
CBR 95% D.Máx.
3%

Fuente: Elaboración propia

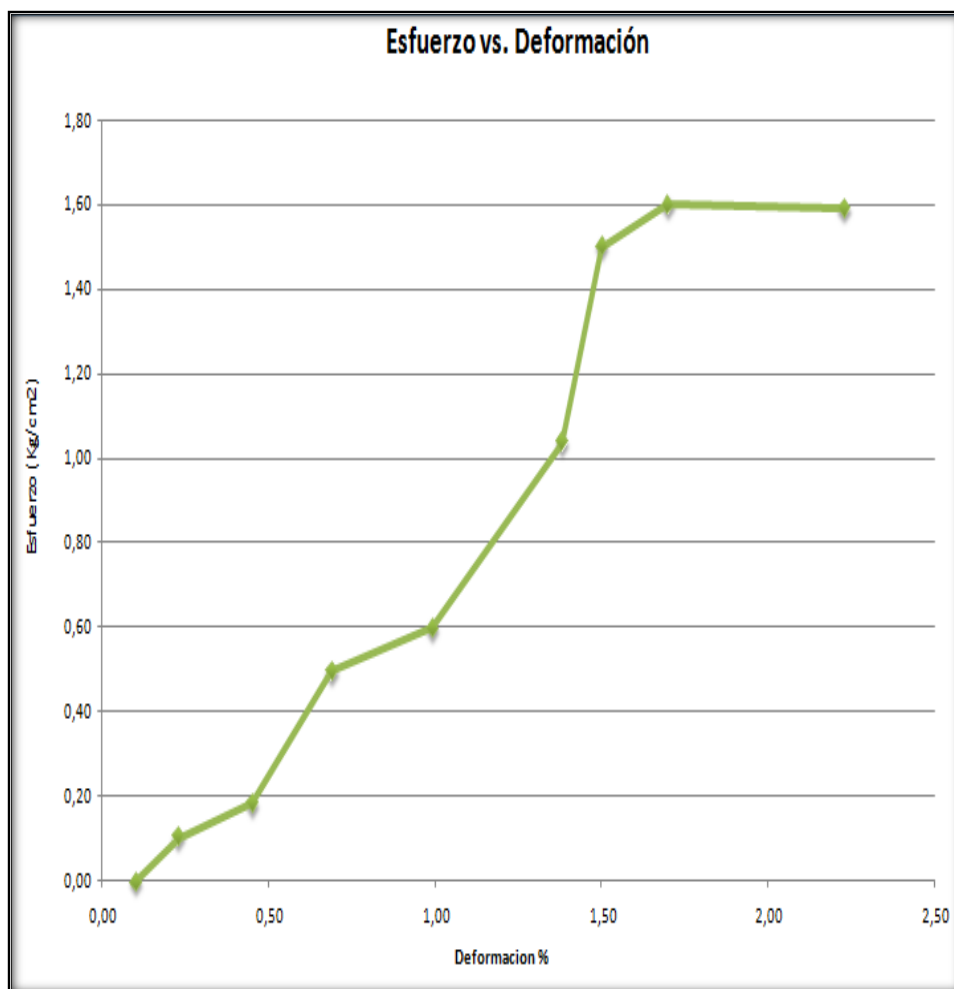
4.2.3. COMPRESIÓN SIMPLE A DIFERENTES PORCENTAJES DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.2.3.1 SUELO 1 AL 3 % DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

TABLA 4.93. Resistencia a Compresión Simple Suelo 1 al 3 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		EL PORTILLO						
Diámetro		4,97		cm.				
Alt. Inicial		10		cm.				
Área		19,40		cm ²				
Volumen		194,00		cm ³				
P. Húmedo		340,25		gr.				
P. Unitario		1,75		gr/cm ³				
Alt. Final		10,00		cm				
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,23	0,00230	0,99770	19,44	20	2,041	0,10	0,23
0,05	0,45	0,00450	0,99550	19,49	35	3,571	0,18	0,45
0,075	0,69	0,00690	0,99310	19,53	95	9,694	0,50	0,69
0,1	0,99	0,00990	0,99010	19,59	115	11,735	0,60	0,99
0,2	1,38	0,01380	0,98620	19,67	200	20,408	1,04	1,38
0,3	1,5	0,01500	0,98500	19,70	290	29,592	1,50	1,50
0,4	1,7	0,01700	0,98300	19,74	310	31,633	1,60	1,70
0,5	2,23	0,02230	0,97770	19,84	310	31,633	1,59	2,23
						Qu máx.	1,60 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.46. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 1 al 3%**Emulsión Asfáltica**

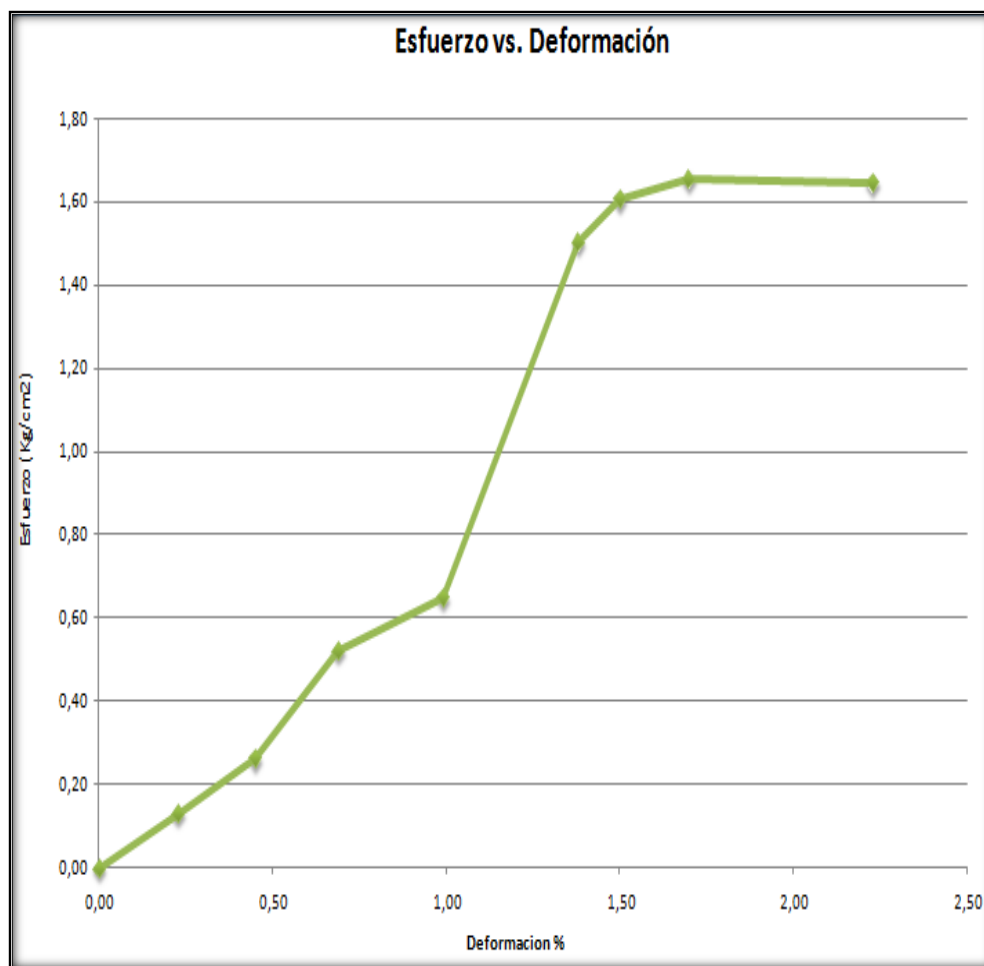
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2 COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 1 AL 5 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.94. Resistencia a Compresión Simple Suelo 1 al 5 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		EL PORTILLO						
Diámetro		4,97		cm.				
Alt. Inicial		10		cm.				
Área		19,40		cm ²				
Volumen		194,00		cm ³				
P. Húmedo		348,25		gr.				
P. Unitario		1,80		gr/cm ³				
Alt. Final		10,00		cm				
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,23	0,00230	0,99770	19,44	25	2,551	0,13	0,23
0,05	0,45	0,00450	0,99550	19,49	50	5,102	0,26	0,45
0,075	0,69	0,00690	0,99310	19,53	100	10,204	0,52	0,69
0,1	0,99	0,00990	0,99010	19,59	125	12,755	0,65	0,99
0,2	1,38	0,01380	0,98620	19,67	290	29,592	1,50	1,38
0,3	1,5	0,01500	0,98500	19,70	310	31,633	1,61	1,50
0,4	1,7	0,01700	0,98300	19,74	320	32,653	1,65	1,70
0,5	2,23	0,02230	0,97770	19,84	320	32,653	1,65	2,23
						Qu máx.	1,65 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.47. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 1 al 5%**Emulsión Asfáltica**

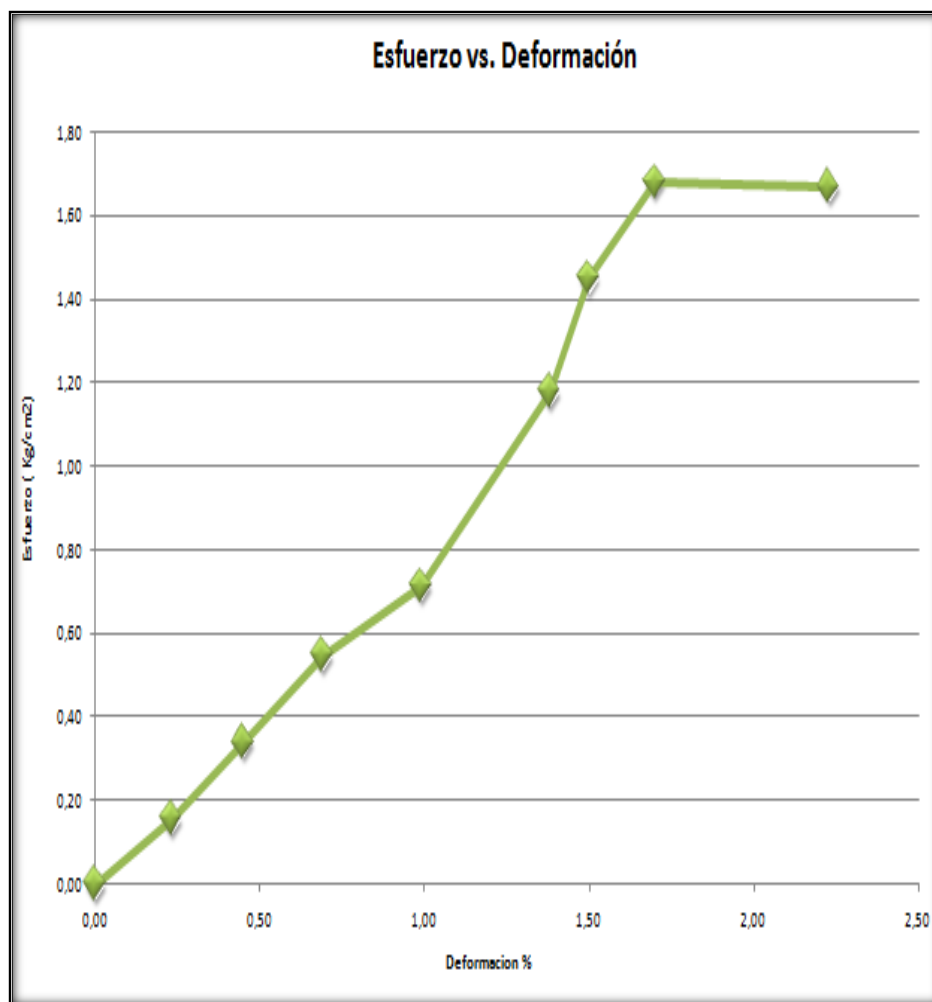
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.3 COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 1 AL 7 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.95. Resistencia a Compresión Simple Suelo 1 al 7 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		EL PORTILLO						
Diámetro	4,97	cm.						
Alt. Inicial	10	cm.						
Área	19,40	cm ²						
Volumen	194,00	cm ³						
P. Húmedo	348,25	gr.						
P. Unitario	1,80	gr/cm ³						
Alt. Final	10,00	cm						
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm ²)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm ²)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,23	0,00230	0,99770	19,44	30	3,061	0,16	0,23
0,05	0,45	0,00450	0,99550	19,49	65	6,633	0,34	0,45
0,075	0,69	0,00690	0,99310	19,53	105	10,714	0,55	0,69
0,1	0,99	0,00990	0,99010	19,59	137	13,980	0,71	0,99
0,2	1,38	0,01380	0,98620	19,67	227	23,163	1,18	1,38
0,3	1,5	0,01500	0,98500	19,70	280	28,571	1,45	1,50
0,4	1,7	0,01700	0,98300	19,74	325	33,163	1,68	1,70
0,5	2,23	0,02230	0,97770	19,84	325	33,163	1,67	2,23
					Qu máx.		1,68 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.48. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 1 al 7%**Emulsión Asfáltica**

Fuente: Elaboración propia

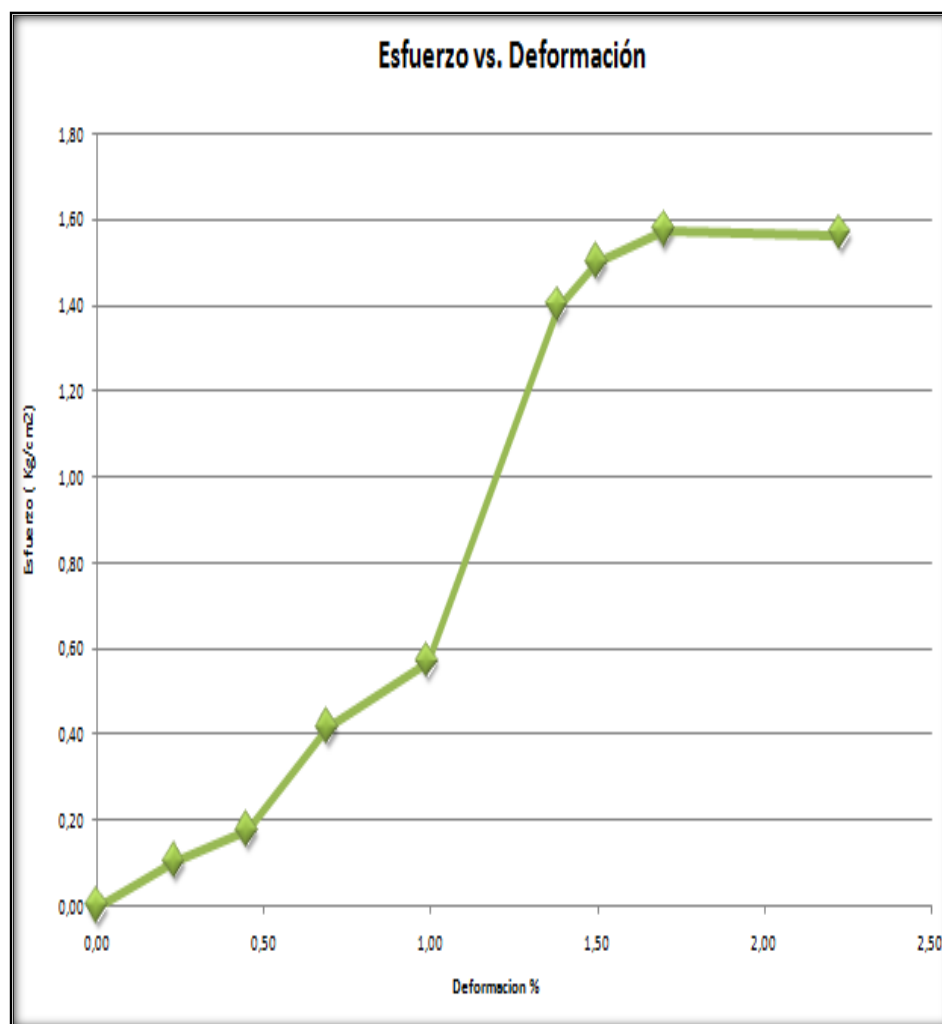
4.2.3.4 COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 1 AL 9 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.96. Resistencia a Compresión Simple Suelo 1 al 9 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		EL PORTILLO						
Diámetro	4,97	cm.						
Alt. Inicial	10	cm.						
Área	19,40	cm ²						
Volumen	194,00	cm ³						
P. Húmedo	348,25	gr.						
P. Unitario	1,80	gr/cm ³						
Alt. Final	10,00	cm						
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,23	0,00230	0,99770	19,44	20	2,041	0,10	0,23
0,05	0,45	0,00450	0,99550	19,49	34	3,469	0,18	0,45
0,075	0,69	0,00690	0,99310	19,53	80	8,163	0,42	0,69
0,1	0,99	0,00990	0,99010	19,59	110	11,224	0,57	0,99
0,2	1,38	0,01380	0,98620	19,67	270	27,551	1,40	1,38
0,3	1,5	0,01500	0,98500	19,70	290	29,592	1,50	1,50
0,4	1,7	0,01700	0,98300	19,74	305	31,122	1,58	1,70
0,5	2,23	0,02230	0,97770	19,84	305	31,122	1,57	2,23
						Qu máx.	1,58 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

**GRAFICA 4.49. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 1 al 9 %
Emulsión Asfáltica**



Fuente: Elaboración propia

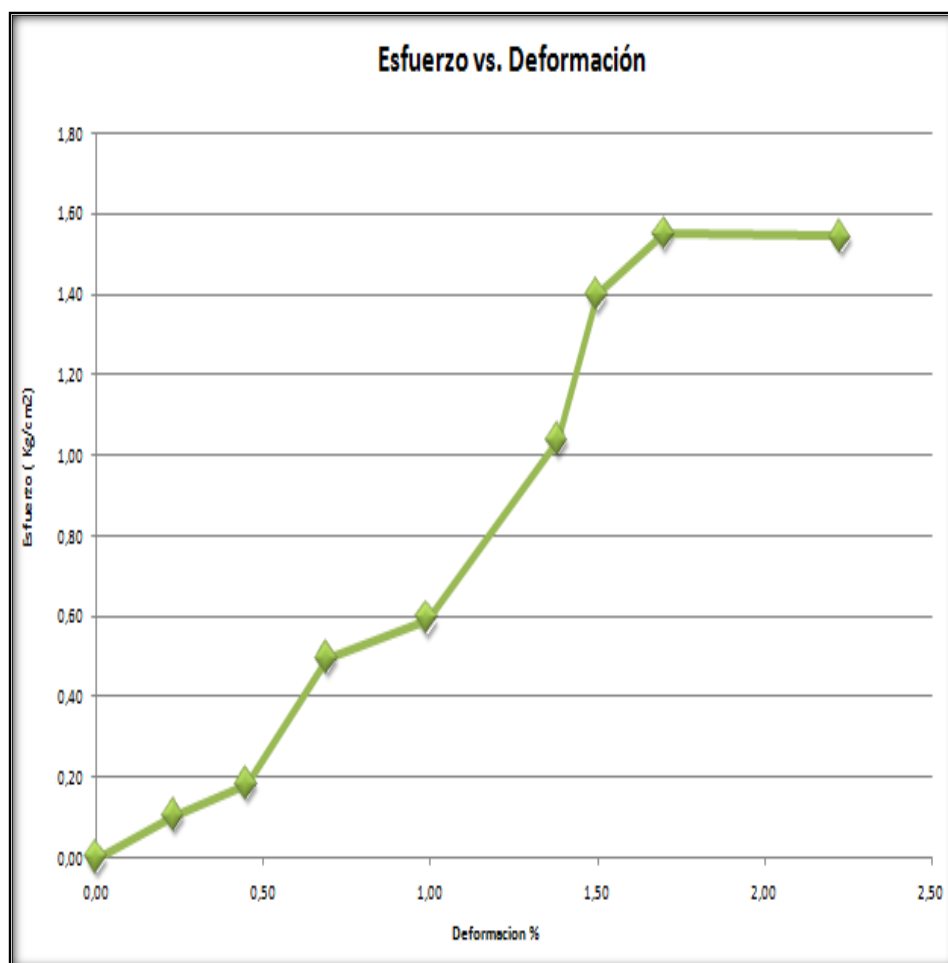
4.2.3.5. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 1 AL 12 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.97. Resistencia a Compresión Simple Suelo 1 al 12 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		EL PORTILLO						
Diámetro	4,97	cm.						
Alt. Inicial	10	cm.						
Área	19,40	cm ²						
Volumen	194,00	cm ³						
P. Húmedo	348,25	gr.						
P. Unitario	1,80	gr/cm ³						
Alt. Final	10,00	cm						
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,23	0,00230	0,99770	19,44	20	2,041	0,10	0,23
0,05	0,45	0,00450	0,99550	19,49	35	3,571	0,18	0,45
0,075	0,69	0,00690	0,99310	19,53	95	9,694	0,50	0,69
0,1	0,99	0,00990	0,99010	19,59	114	11,633	0,59	0,99
0,2	1,38	0,01380	0,98620	19,67	200	20,408	1,04	1,38
0,3	1,5	0,01500	0,98500	19,70	270	27,551	1,40	1,50
0,4	1,7	0,01700	0,98300	19,74	300	30,612	1,55	1,70
0,5	2,23	0,02230	0,97770	19,84	300	30,612	1,54	2,23
						Qu máx.	1,55 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

**GRAFICA 4.50. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 1 al 12 %
Emulsión Asfáltica**



Fuente: Elaboración propia

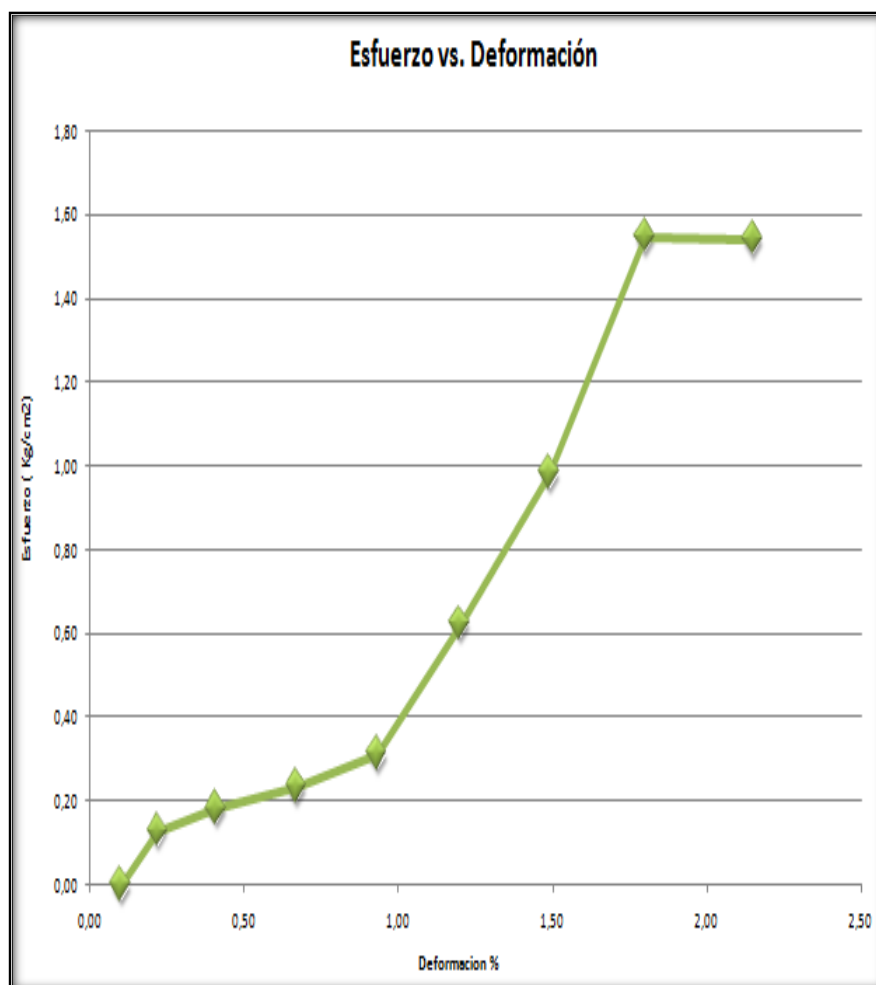
4.2.3.6. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 2 AL 3 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.98. Resistencia a Compresión Simple Suelo 2 al 3 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		FINAL COLON						
Diámetro	4,97	cm.						
Alt. Inicial	10	cm.						
Área	19,40	cm ²						
Volumen	194,00	cm ³						
P. Húmedo	495,8	gr.						
P. Unitario	2,56	gr/cm ³						
Alt. Final	10,00	cm,						
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	25	2,551	0,13	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	35	3,571	0,18	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	45	4,592	0,24	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	60	6,122	0,31	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	120	12,245	0,62	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	190	19,388	0,98	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	300	30,612	1,55	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	300	30,612	1,54	2,15
						Qu máx.	1,55 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

**GRAFICA 4.51. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 2 al 3 %
Emulsión Asfáltica**



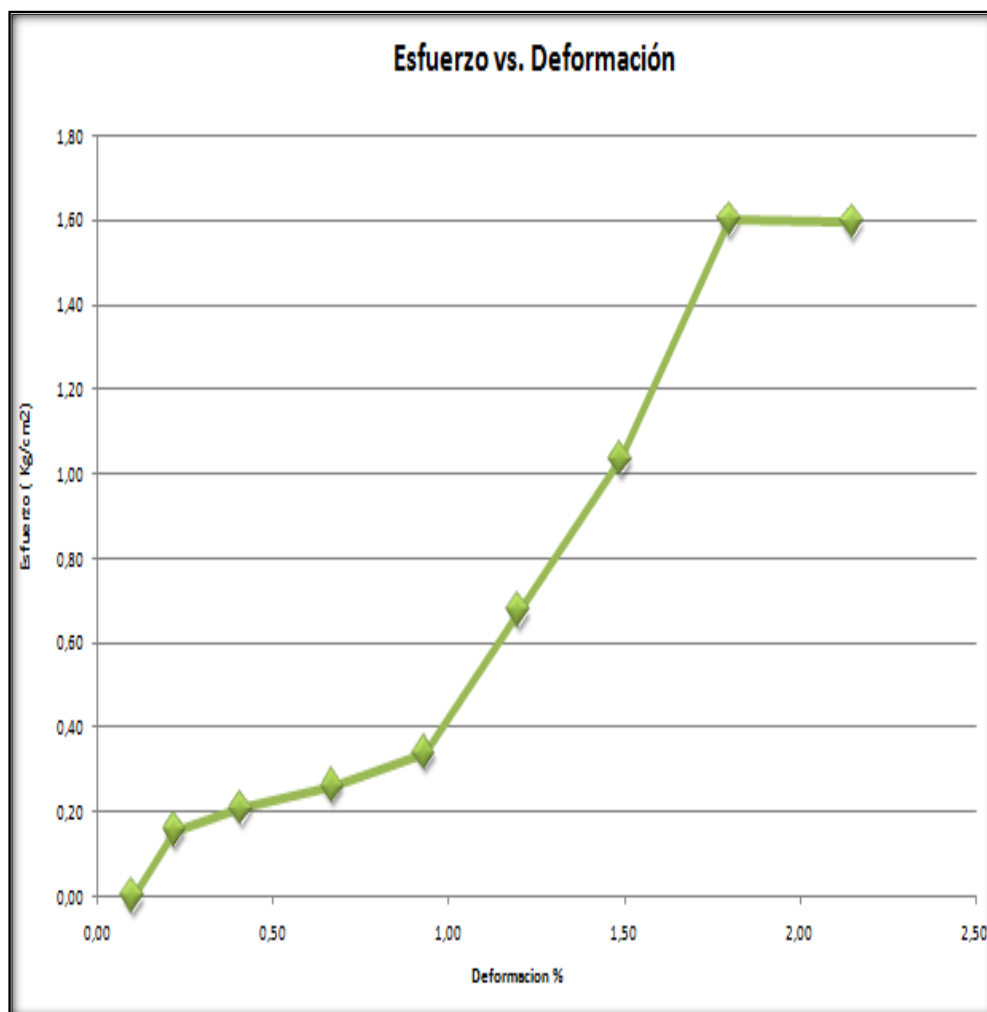
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.7 COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 2 AL 5 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.99. Resistencia a Compresión Simple Suelo 2 al 5 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		FINAL COLON						
Diámetro	4,97		cm.					
Alt. Inicial	10		cm.					
Área	19,40		cm ²					
Volumen	194,00		cm ³					
P. Húmedo	495,8		gr.					
P. Unitario	2,56		gr/cm ³					
Alt. Final	10,00		cm,					
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	30	3,061	0,16	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	40	4,082	0,21	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	50	5,102	0,26	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	65	6,633	0,34	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	130	13,265	0,68	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	200	20,408	1,04	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	310	31,633	1,60	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	310	31,633	1,60	2,15
						Qu máx.	1,60 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.52. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 2 al 5 %**Emulsión Asfáltica**

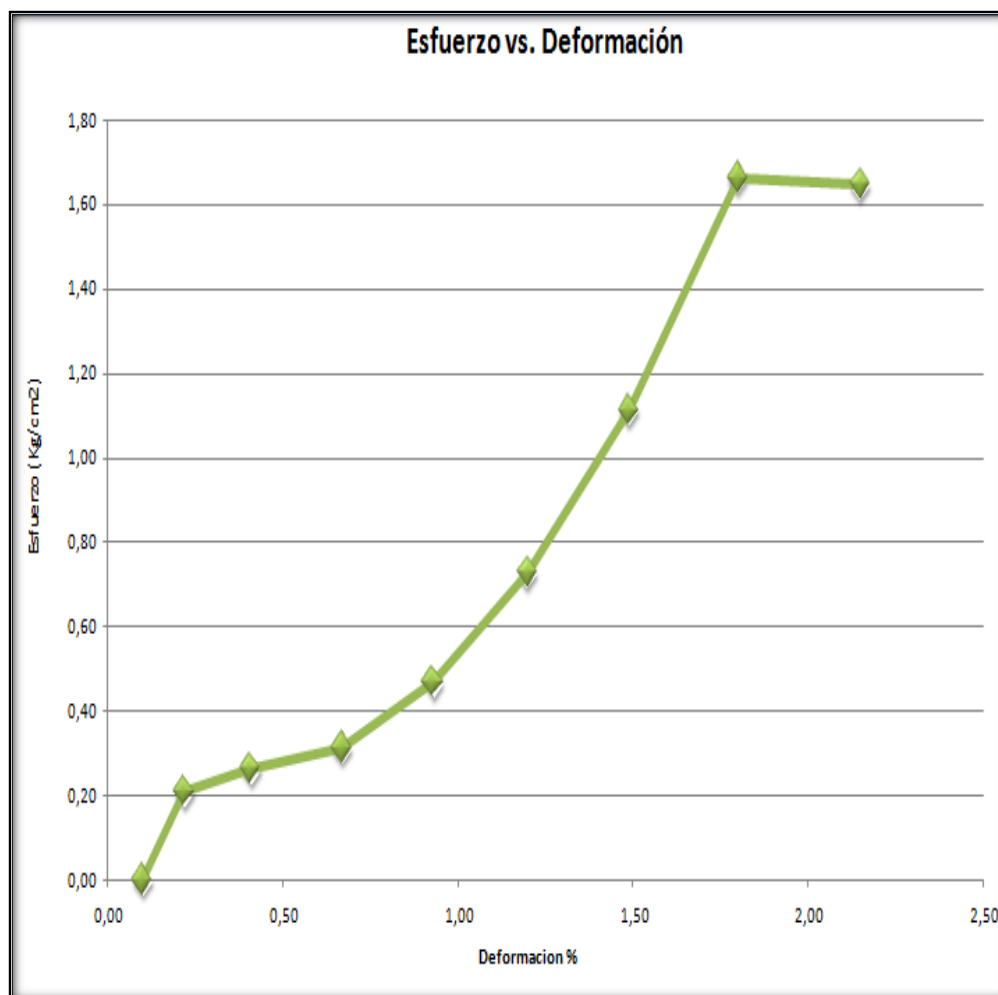
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.8. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 2 AL 7 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.100. Resistencia a Compresión Simple Suelo 2 al 7 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		FINAL COLON						
Diámetro	4,97	cm.						
Alt. Inicial	10	cm.						
Área	19,40	cm ²						
Volumen	194,00	cm ³						
P. Húmedo	495,8	gr.						
P. Unitario	2,56	gr/cm ³						
Alt. Final	10,00	cm						
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	40	4,082	0,21	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	50	5,102	0,26	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	60	6,122	0,31	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	90	9,184	0,47	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	140	14,286	0,73	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	215	21,939	1,11	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	322	32,857	1,66	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	320	32,653	1,65	2,15
							Qu máx.	1,66 (Kg/cm2)

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.53. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 2 al 7 %**Emulsión Asfáltica**

Fuente: Elaboración propia

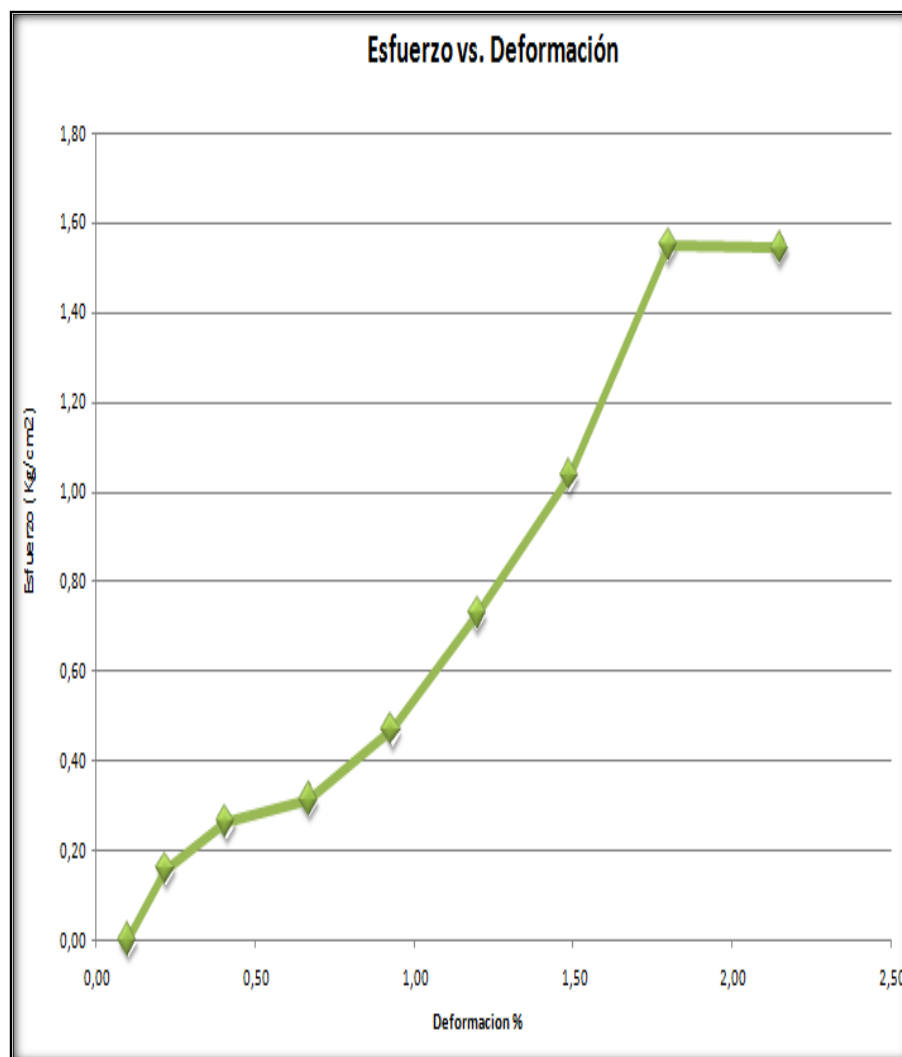
4.2.3.9. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 2 AL 9 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.101. Resistencia a Compresión Simple Suelo 2 al 9 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		FINAL COLON						
Diámetro		4,97					cm.	
Alt. Inicial		10					cm.	
Área		19,40					cm ²	
Volumen		194,00					cm ³	
P. Húmedo		495,8					gr.	
P. Unitario		2,56					gr/cm ³	
Alt. Final		10,00					cm,	
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	30	3,061	0,16	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	50	5,102	0,26	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	60	6,122	0,31	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	90	9,184	0,47	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	140	14,286	0,73	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	200	20,408	1,04	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	300	30,612	1,55	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	300	30,612	1,54	2,15
						Qu máx.	1,55 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

**GRAFICA 4.54. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 2 al 9 %
Emulsión Asfáltica**



Fuente: Elaboración propia

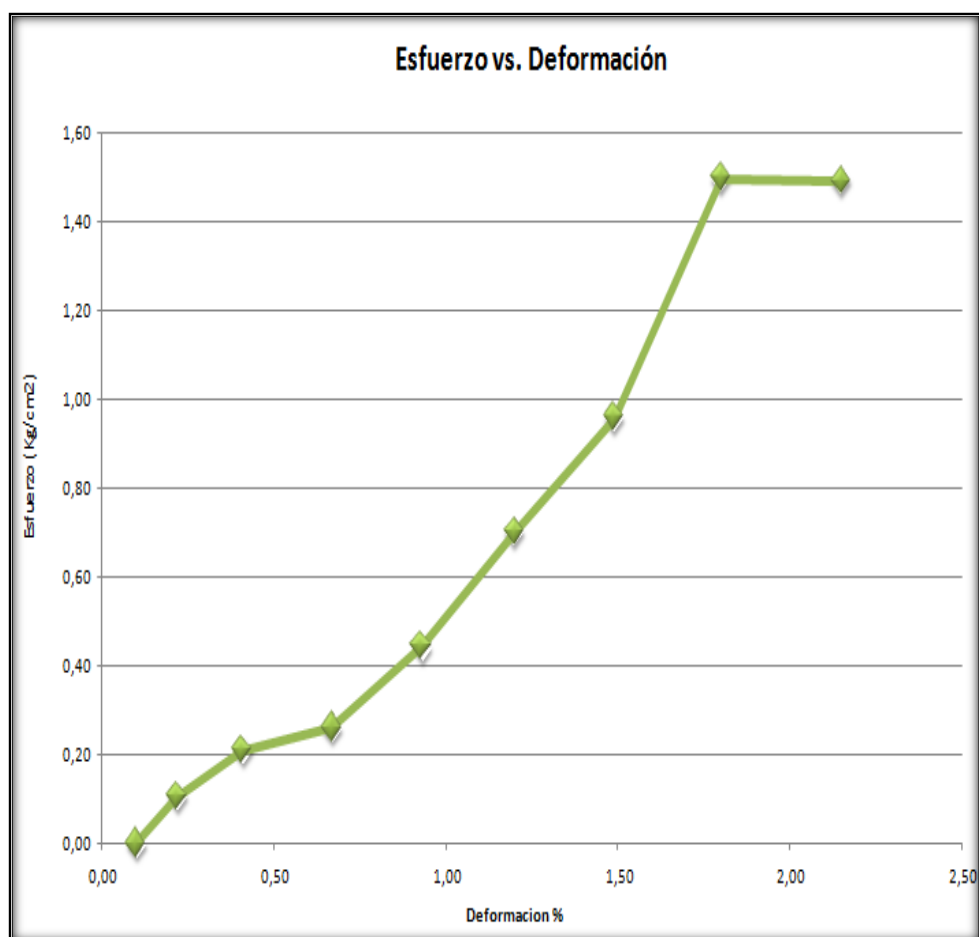
4.2.3.10. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 2 AL 12 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.102. Resistencia a Compresión Simple Suelo 2 al 12 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		FINAL COLON						
Diámetro		4,97		cm.				
Alt. Inicial		10		cm.				
Área		19,40		cm ²				
Volumen		194,00		cm ³				
P. Húmedo		495,8		gr.				
P. Unitario		2,56		gr/cm ³				
Alt. Final		10,00		cm				
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,1	0,00100	0,99900	19,42	0	0,000	0,00	0,10
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	20	2,041	0,10	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	40	4,082	0,21	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	50	5,102	0,26	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	85	8,673	0,44	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	135	13,776	0,70	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	185	18,878	0,96	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	290	29,592	1,50	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	290	29,592	1,49	2,15
						Qu máx.	1,50 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

**GRAFICA 4.55. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 2 al 12 %
Emulsión Asfáltica**



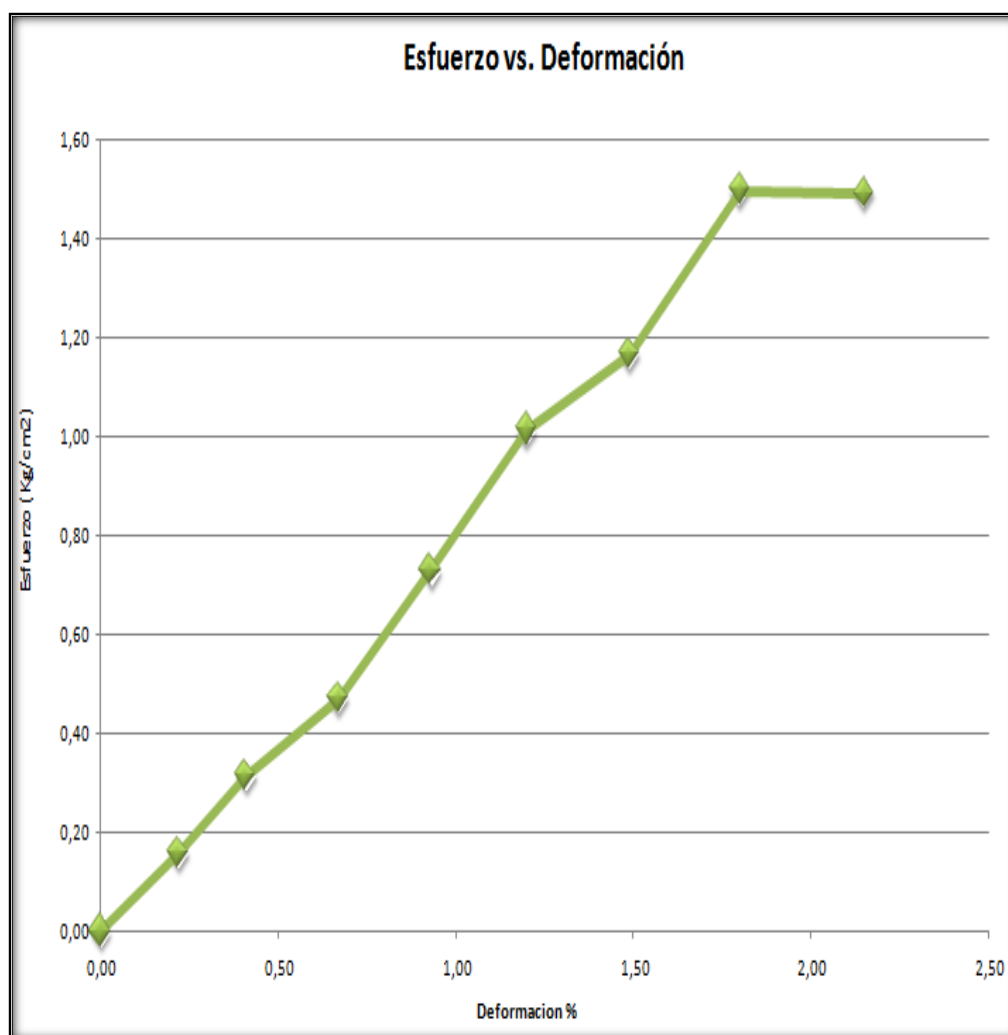
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.11. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 3 AL 3 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.103. Resistencia a Compresión Simple Suelo 3 al 3 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		Torrecillas						
Diámetro	4,97	cm.						
Alt. Inicial	10	cm.						
Área	19,40	cm ²						
Volumen	194,00	cm ³						
P. Húmedo	498,56	gr.						
P. Unitario	2,57	gr/cm ³						
Alt. Final	10,00	cm,						
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	30	3,061	0,16	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	60	6,122	0,31	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	90	9,184	0,47	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	140	14,286	0,73	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	195	19,898	1,01	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	225	22,959	1,17	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	290	29,592	1,50	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	290	29,592	1,49	2,15
						Qu máx.		1,50 (Kg/cm2)

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.56. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 3 al 3 %**Emulsión Asfáltica**

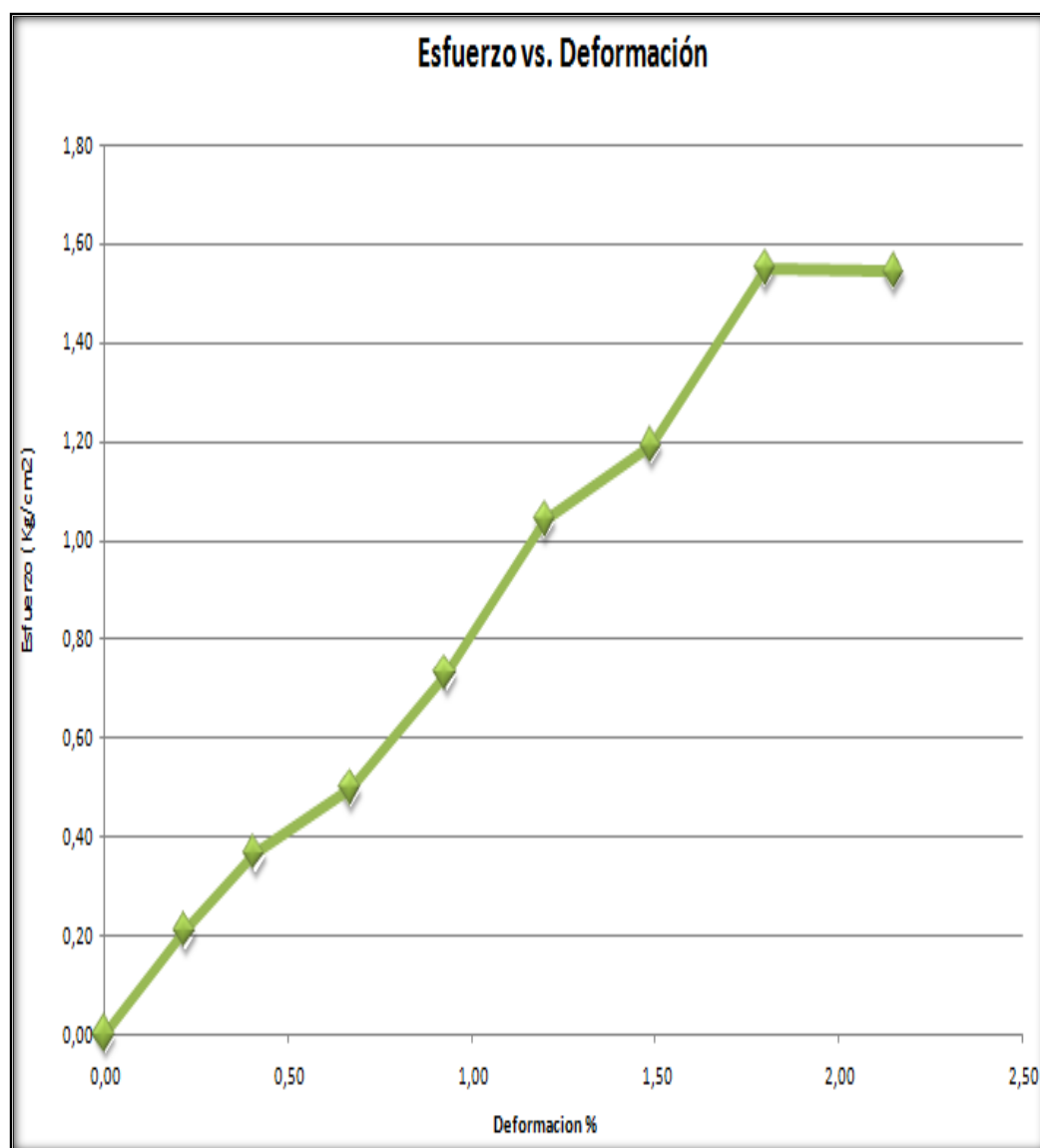
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.12 COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 3 AL 5 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.104. Resistencia a Compresión Simple Suelo 3 al 5 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		Torrecillas						
Diámetro		4,97				cm.		
Alt. Inicial		10				cm.		
Área		19,40				cm ²		
Volumen		194,00				cm ³		
P. Húmedo		498,56				gr.		
P. Unitario		2,57				gr/cm ³		
Alt. Final		10,00				cm		
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	40	4,082	0,21	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	70	7,143	0,37	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	95	9,694	0,50	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	140	14,286	0,73	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	200	20,408	1,04	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	230	23,469	1,19	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	300	30,612	1,55	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	300	30,612	1,54	2,15
						Qu máx.	1,55 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.57. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 3 al 5 %**Emulsión Asfáltica**

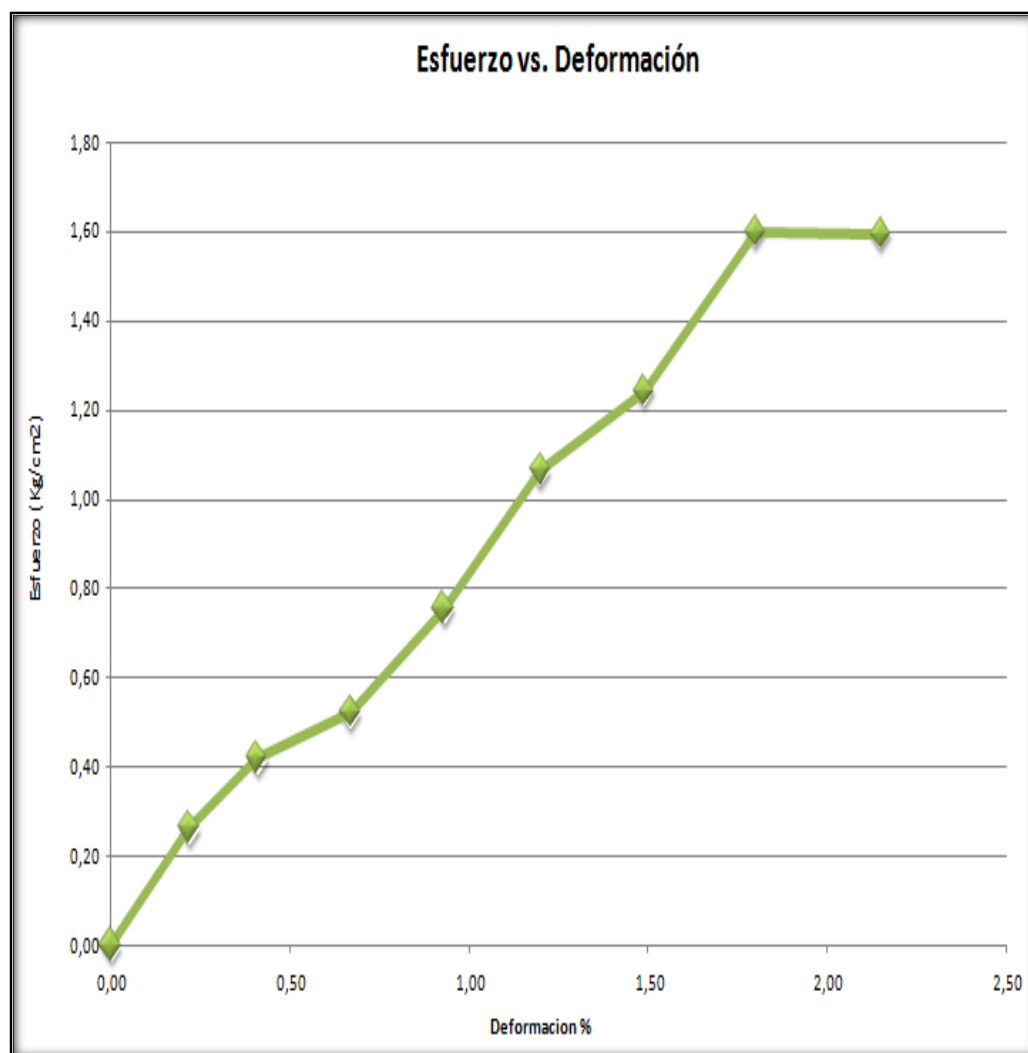
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.13. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 3 AL 7 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.105. Resistencia a Compresión Simple Suelo 3 al 7 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL							
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE							
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica					
MUESTRA:		Torrecillas					
Diámetro	4,97	cm.					
Alt. Inicial	10	cm.					
Área	19,40	cm ²					
Volumen	194,00	cm ³					
P. Húmedo	498,56	gr.					
P. Unitario	2,57	gr/cm ³					
Alt. Final	10,00	cm					
PENETRACION							
Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,22	0,00220	0,99780	19,44	50	5,102	0,26	0,22
0,41	0,00410	0,99590	19,48	80	8,163	0,42	0,41
0,67	0,00670	0,99330	19,53	100	10,204	0,52	0,67
0,93	0,00930	0,99070	19,58	145	14,796	0,76	0,93
1,2	0,01200	0,98800	19,64	205	20,918	1,07	1,20
1,49	0,01490	0,98510	19,69	240	24,490	1,24	1,49
1,8	0,01800	0,98200	19,76	310	31,633	1,60	1,80
2,15	0,02150	0,97850	19,83	310	31,633	1,60	2,15
					Qu máx.		1,60 (Kg/cm2)

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.58. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 3 al 7 %**Emulsión Asfáltica**

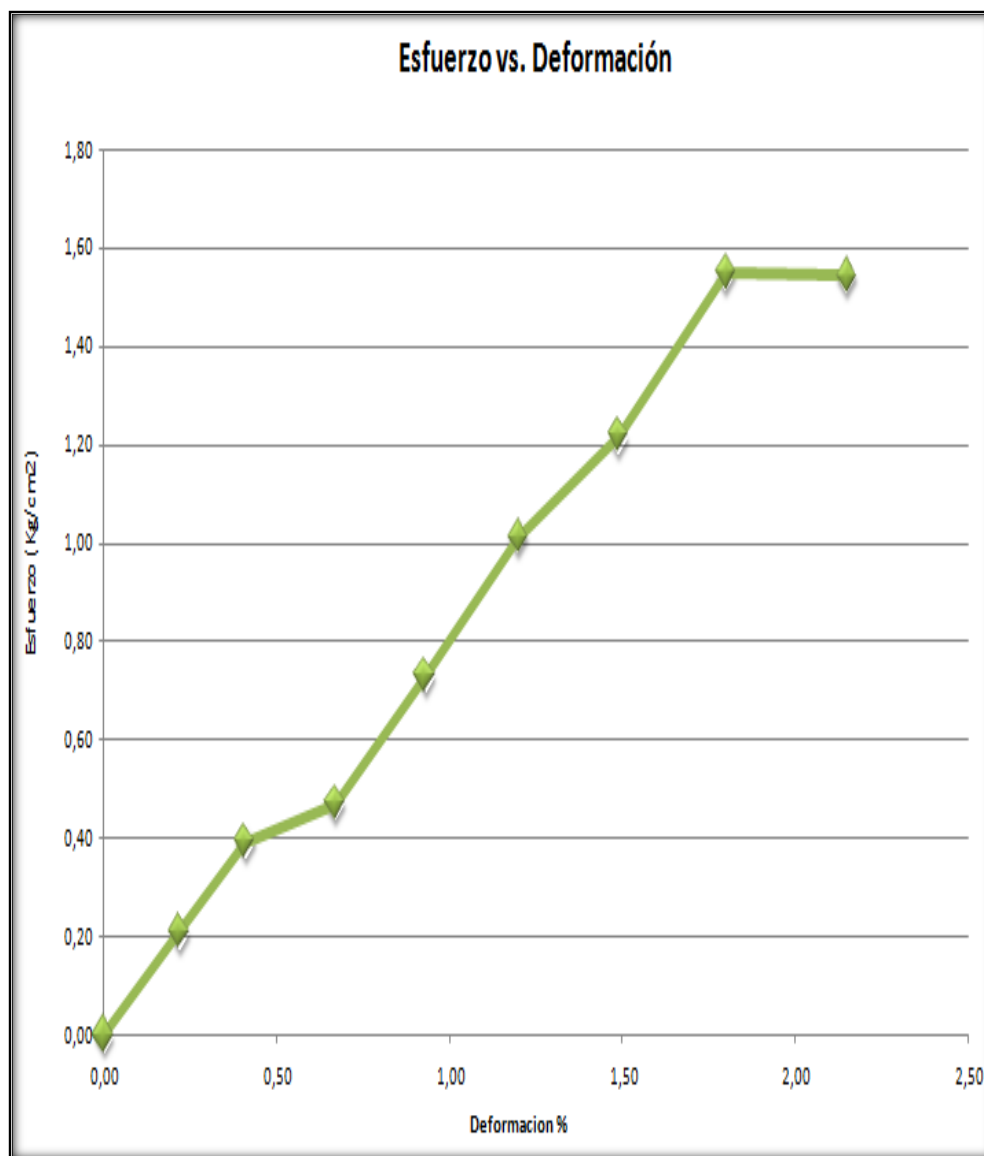
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.14 COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 3 AL 9 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.106. Resistencia a Compresión Simple Suelo 3 al 9 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla- Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		Torrecillas						
Diámetro		4,97		cm.				
Alt. Inicial		10		cm.				
Area		19,40		cm ²				
Volumen		194,00		cm ³				
P. Húmedo		498,56		gr.				
P. Unitario		2,57		gr/cm ³				
Alt. Final		10,00		cm,				
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	40	4,082	0,21	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	75	7,653	0,39	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	90	9,184	0,47	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	140	14,286	0,73	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	195	19,898	1,01	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	235	23,980	1,22	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	300	30,612	1,55	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	300	30,612	1,54	2,15
						Qu máx.	1,55 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.59. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 3 al 9 %**Emulsión Asfáltica**

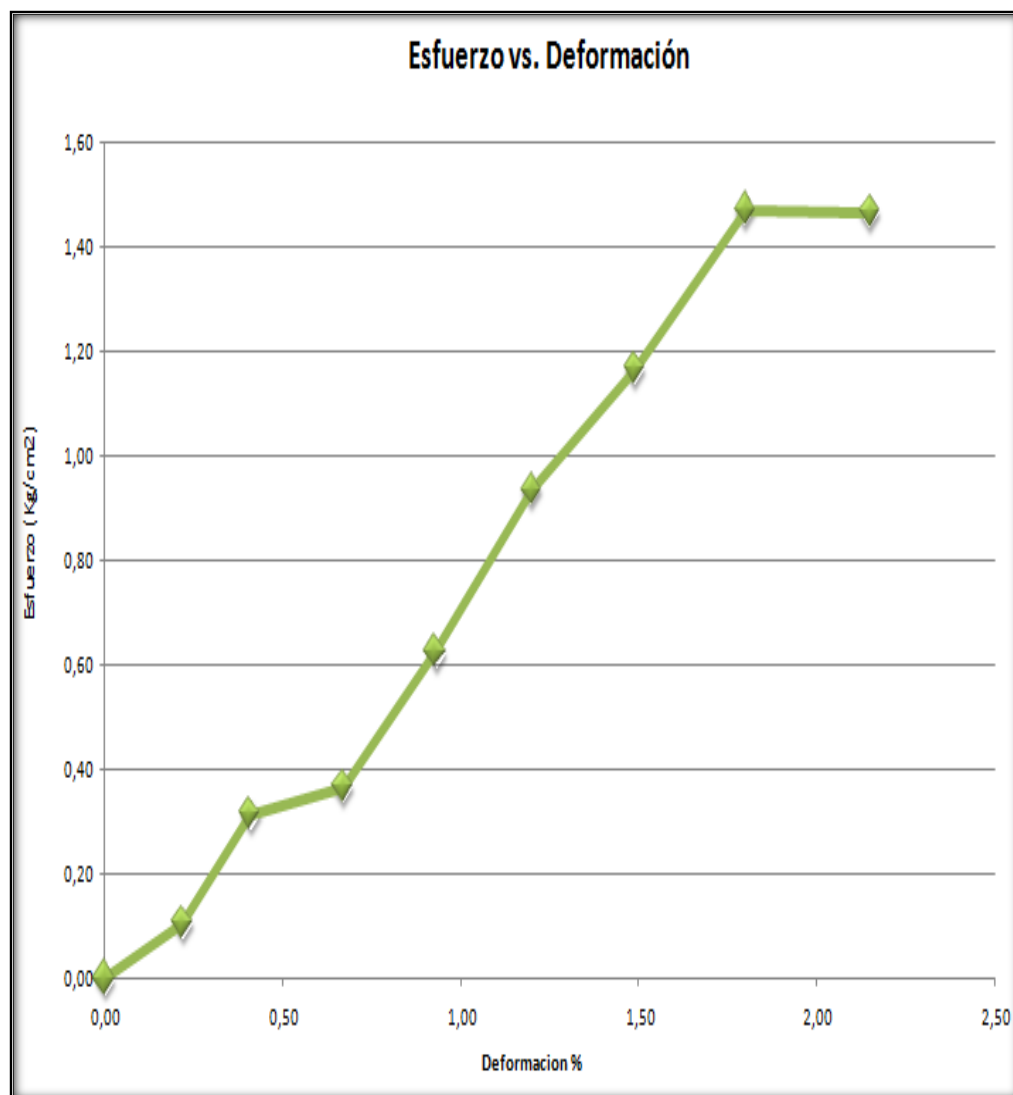
Fuente: Elaboración propia

4.2.3.15. COMPRESIÓN SIMPLE SUELO 3 AL 12 % DE LA EMULSIÓN

TABLA 4.107. Resistencia a Compresión Simple Suelo 3 al 12 % de Emulsión

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL								
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE								
PROYECTO:		Estudio del Comportamiento Mecánico Suelo Arcilla-Emulsión Asfáltica						
MUESTRA:		Torrecillas						
Diámetro		4,97		cm.				
Alt. Inicial		10		cm.				
Área		19,40		cm ²				
Volumen		194,00		cm ³				
P. Húmedo		498,56		gr.				
P. Unitario		2,57		gr/cm ³				
Alt. Final		10,00		cm				
PENETRACION								
Pulg	Δh (m.m.)	ε	1-ε	Ac (cm2)	C (Nw)	C (kg)	σ (Kg/cm2)	ε %
0	0	0,00000	1,00000	19,40	0	0,000	0,00	0,00
0,025	0,22	0,00220	0,99780	19,44	20	2,041	0,10	0,22
0,05	0,41	0,00410	0,99590	19,48	60	6,122	0,31	0,41
0,075	0,67	0,00670	0,99330	19,53	70	7,143	0,37	0,67
0,1	0,93	0,00930	0,99070	19,58	120	12,245	0,63	0,93
0,2	1,2	0,01200	0,98800	19,64	180	18,367	0,94	1,20
0,3	1,49	0,01490	0,98510	19,69	225	22,959	1,17	1,49
0,4	1,8	0,01800	0,98200	19,76	285	29,082	1,47	1,80
0,5	2,15	0,02150	0,97850	19,83	285	29,082	1,47	2,15
					Qu máx.		1,47 (Kg/cm2)	

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4.60. Curva Esfuerzo VS Deformación Suelo 3 al 12 %**Emulsión Asfáltica**

Fuente: Elaboración propia

4.3. BRIQUETAS DE SUELO-EMULSIÓN ASFÁLTICA CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO OBTENIDO DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.3.1 SUELO HIELO-DESHIELO

TABLA 4.108. Dimensiones de las briquetas suelo-emulsión asfáltica primer método

Nº de Muestra	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	Volumen (cm ³)
1	9	16,3	63,62	1036,96
2	10	11,7	78,54	918,92
3	9,8	11,5	75,43	867,44
4	10	11	78,54	863,94
5	10	11	78,54	863,94
6	9,8	11	75,43	829,73
7	10	11,5	78,54	903,21
8	9,8	11,7	75,43	882,53
9	10	11	78,54	863,94
10	10	11	78,54	863,94

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.109. Ciclos del % de Desgaste de las briquetas suelo-emulsión asfáltica hielo-deshielo

PRIMER CICLO			SEGUNDO CICLO		
Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste	Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste
2440	2389,7	2,06	2389,7	2325,5	2,69
1928,3	1885,6	2,21	1885,6	1840,33	2,40
1945,3	1887,6	2,97	1887,6	1831,44	2,98
1963,8	1911,56	2,66	1911,56	1856,2	2,90
1938,23	1896,25	2,17	1896,25	1850,2	2,43
1960,24	1913,45	2,39	1913,45	1865,34	2,51
1942,7	1897,58	2,32	1897,58	1851,34	2,44
1945,2	1892,23	2,72	1892,23	1838,1	2,86
1930,56	1889,12	2,15	1889,12	1845,23	2,32
1965,24	1909,23	2,85	1909,23	1853,12	2,94

Fuente: Elaboración propia

TERCER CICLO			CUARTO CICLO			QUINTO CICLO		
Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste	Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste	Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste
2325,5	2256,6	2,96	2256,6	2192,18	2,85	2192,18	2138,7	2,44
1840,33	1786,34	2,93	1786,34	1736,23	2,81	1736,23	1678,2	3,34
1831,44	1776,5	3,00	1776,5	1725,25	2,88	1725,25	1664,9	3,50
1856,2	1800,76	2,99	1800,76	1750,21	2,81	1750,21	1709,8	2,31
1850,2	1800,23	2,70	1800,23	1750,34	2,77	1750,34	1700,56	2,84
1865,34	1815,66	2,66	1815,66	1764,34	2,83	1764,34	1712,54	2,94
1851,34	1807,23	2,38	1807,23	1762,34	2,48	1762,34	1715,2	2,67
1838,1	1784,23	2,93	1784,23	1735,29	2,74	1735,29	1688,43	2,70
1845,23	1792,34	2,87	1792,34	1740,23	2,91	1740,23	1689,23	2,93
1853,12	1798,3	2,96	1798,3	1747,28	2,84	1747,28	1697,5	2,85

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 SUELO SATURADO-SECADO

TABLA 4.110. Dimensiones de las briquetas suelo-emulsión asfáltica Segundo método

Nº	DIAMETRO	ALTURA	AREA	volumen
1	9,5	16	70,88218425	1134,11495
2	9,5	11,3	70,88218425	800,968682
3	10	11,5	78,53981634	903,207888
4	10	11,5	78,53981634	903,207888
5	10	11,5	78,53981634	903,207888
6	10	11,3	78,53981634	887,499925
7	9,6	11,5	72,38229474	832,396389
8	9,5	11,5	70,88218425	815,145119
9	9,5	11,5	70,88218425	815,145119
10	10	11,5	78,53981634	903,207888

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.111. Ciclos del % de Desgaste de las briquetas suelo-emulsión asfáltica saturado-secado

PRIMER CICLO			SEGUNDO CICLO		
Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste	Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste
2720	2591,1	4,74	2591,1	2477,45	4,386168037
1854,3	1773,2	4,37	1773,2	1689,65	4,711820438
1913,8	1817,9	5,01	1817,9	1737,7	4,411683811
2002,4	1910,4	4,59	1910,4	1816,5	4,915201005
1915,45	1820,2	4,97	1820,2	1739,25	4,447313482
1925,47	1837,43	4,57	1837,43	1743,2	5,128358631
1955,67	1843,23	5,75	1843,23	1745,87	5,282032085
1913,22	1830,34	4,33	1830,34	1741,78	4,838445316
1916,78	1831,2	4,46	1831,2	1744,4	4,740061162
1915,45	1832,22	4,35	1832,22	1737,32	5,179509011

TERCER CICLO			CUARTO CICLO			QUINTO CICLO		
Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste	Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste	Peso Inicial	Peso Final	% Desgaste
2477,45	2356,34	4,888494	2356,34	2221,41	5,72625343	2221,41	2097,56	5,5752
1689,65	1600,2	5,293995	1600,2	1527,56	4,53943257	1527,56	1456,2	4,6715
1737,7	1658,33	4,567531	1658,33	1583,34	4,52201914	1583,34	1491,56	5,7966
1816,5	1722,32	5,184695	1722,32	1632,78	5,19880162	1632,78	1556,23	4,6883
1739,25	1660,2	4,545062	1660,2	1572,89	5,25900494	1572,89	1496,67	4,8458
1743,2	1663,2	4,589261	1663,2	1580,7	4,96031746	1580,7	1511,21	4,3961
1745,87	1643,3	5,875007	1643,3	1547,44	5,83338404	1547,44	1483,32	4,1436
1741,78	1658,41	4,786482	1658,41	1582,34	4,58692362	1582,34	1508,7	4,6538
1744,4	1669,46	4,296033	1669,46	1582,12	5,23163179	1582,12	1509,56	4,5862
1737,32	1654,44	4,770566	1654,44	1576,32	4,72183941	1576,32	1495,32	5,1385

Fuente: Elaboración propia

4.3. RESULTADOS

TABLA 4.112. Cuadro de Resultados Suelo 1

TABLA DE RESULTADOS SUELO A - 6						
ENSAYO						
CONTENIDO DE HUMEDAD			3,23%			
PESO ESPECIFICO SUELO			2,72 gr/cm3			
LIMITE LIQUIDO			30,21			
LIMITE PLASTICO			12,79			
INDICE DE PLASTICIDAD			17,42			
CLASIFICACION DE SUELO						
SUCS			AASTHO			
Arcilla con baja plasticidad (CL)			A-6(16)			
COMPACTACION T-180						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Humedad Optima %	20,53	19,64	19,34	19,98	21,61	19,32
Densidad máxima gr/cm ³	1,56	1,61	1,65	1,67	1,65	1,57
CBR						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Expansión suelo	2,75%	2,30%	2,30%	2,29%	2,30%	2,36%
CBR 100 % D MAX	6%	8%	9%	10%	8%	7%
CBR 95 % D MAX	5%	7%	8%	9%	7%	6%
COMPRESIÓN SIMPLE						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Resis. a Comp. Simple (Kg./cm ²)	1,55%	1,60%	1,65%	1,68%	1,58%	1,55%

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.113. Cuadro de Resultados Suelo 2

TABLA DE RESULTADOS SUELO A -7- 6						
ENSAYO						
CONTENIDO DE HUMEDAD			3,28%			
PESO ESPECIFICO SUELO			2,91 gr/cm3			
LIMITE LIQUIDO			54,45			
LIMITE PLASTICO			20,08			
INDICE DE PLASTICIDAD			34,37			
CLASIFICACION DE SUELO						
SUCS			AASTHO			
Arcilla con alta plasticidad (CH)			A-7-6 (37)			
COMPACTACION T-180						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Humedad Optima %	22,54	20,65	20,2	20,39	22,46	18,31
Densidad máxima gr/cm³	1,51	1,56	1,61	1,63	1,6	1,51
CBR						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Expansión suelo	2,90%	2,88%	2,87%	2,86%	2,88%	2,92%
CBR 100 % D MAX	5%	7%	8%	8%	7%	4%
CBR 95 % D MAX	4%	6%	7%	7%	6%	3%
COMPRESIÓN SIMPLE						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Resis. a Comp. Simple	1,50%	1,55%	1,60%	1,66%	1,55%	1,50%

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.114. Cuadro de Resultados Suelo 3

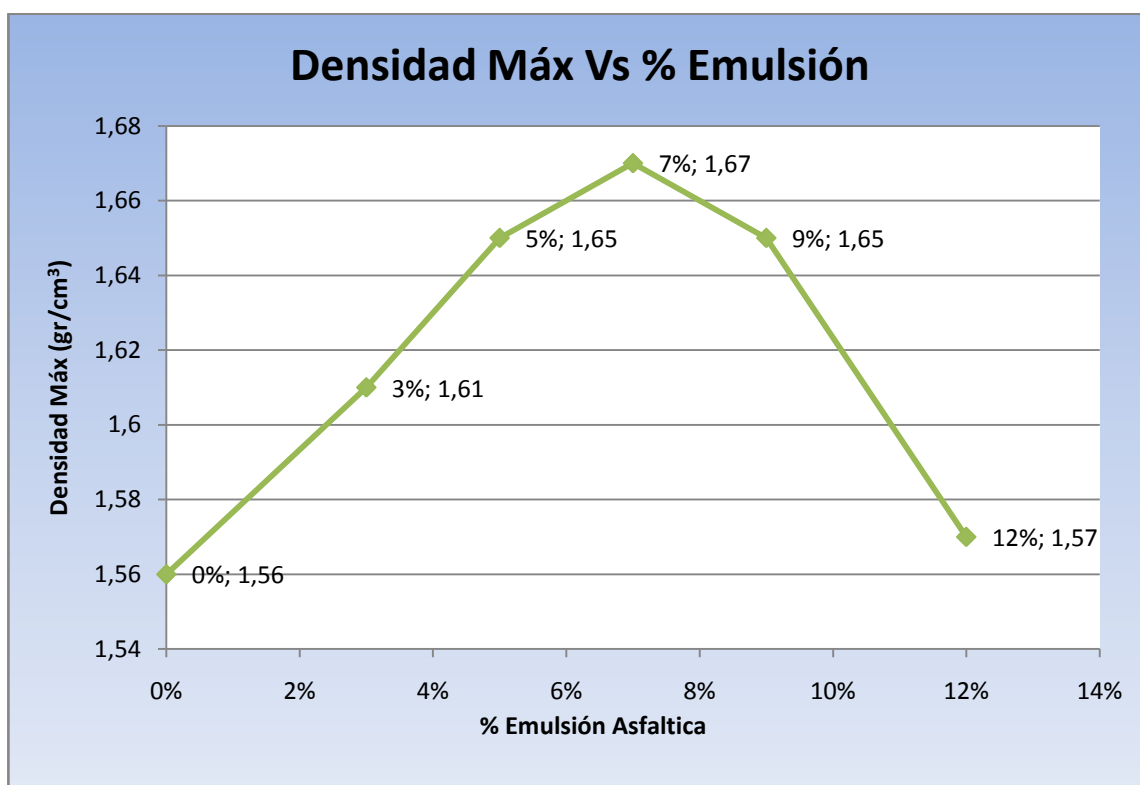
TABLA DE RESULTADOS SUELO A -7-5						
ENSAYO						
CONTENIDO DE HUMEDAD				3,43%		
PESO ESPECIFICO SUELO				2,8		
LIMITE LIQUIDO				56,56		
LIMITE PLASTICO				33,72		
INDICE DE PLASTICIDAD				22,84		
CLASIFICACION DE SUELO						
SUCS				AASTHO		
Limos inorgánicos (MH)				A-7-5(16)		
COMPACTACION T-180						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Humedad Optima %	23,92	21,33	22,21	22,7	22,57	22,62
Densidad máxima gr/cm3	1,53	1,54	1,55	1,56	1,54	1,53
CBR						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Expansión suelo	2,86%	2,81%	2,81%	2,75%	2,78%	2,86%
CBR 100 % D MAX	4%	5%	6%	7%	4%	3%
CBR 95 % D MAX	3%	4%	5%	6%	3%	3%
COMPRESIÓN SIMPLE						
Porcentaje de Emulsión	0%	3%	5%	7%	9%	12%
Resis. a Comp. Simple	1,45%	1,50%	1,55%	1,60%	1,55%	1,47%

Fuente: Elaboración propia

4.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.4.1ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 1 (A-6) COMPACTACIÓN

GRAFICA 4.61. Densidad Máx. VS % Emulsión Asfáltica Suelo 1 (A-6)

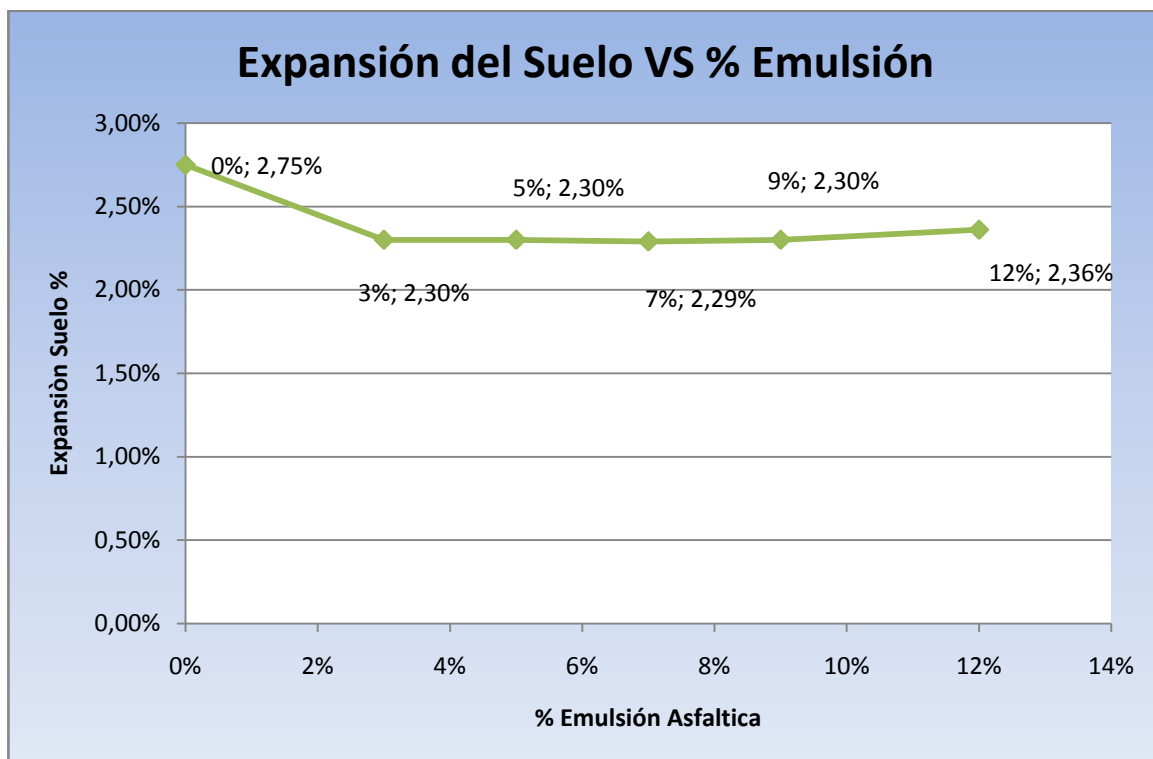


Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.61 podemos mencionar que el comportamiento mecánico del suelo 1 tiene una mejoría agregándole un cierto porcentaje de emulsión asfáltica observando que la densidad máxima mejora hasta el 7 % de dosificación de la emulsión asfáltica y a partir de este porcentaje de emulsión, produce un quiebre empezando a bajar la densidad máxima del suelo en estudio.

4.4.2. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 1 (A-6) “CBR”

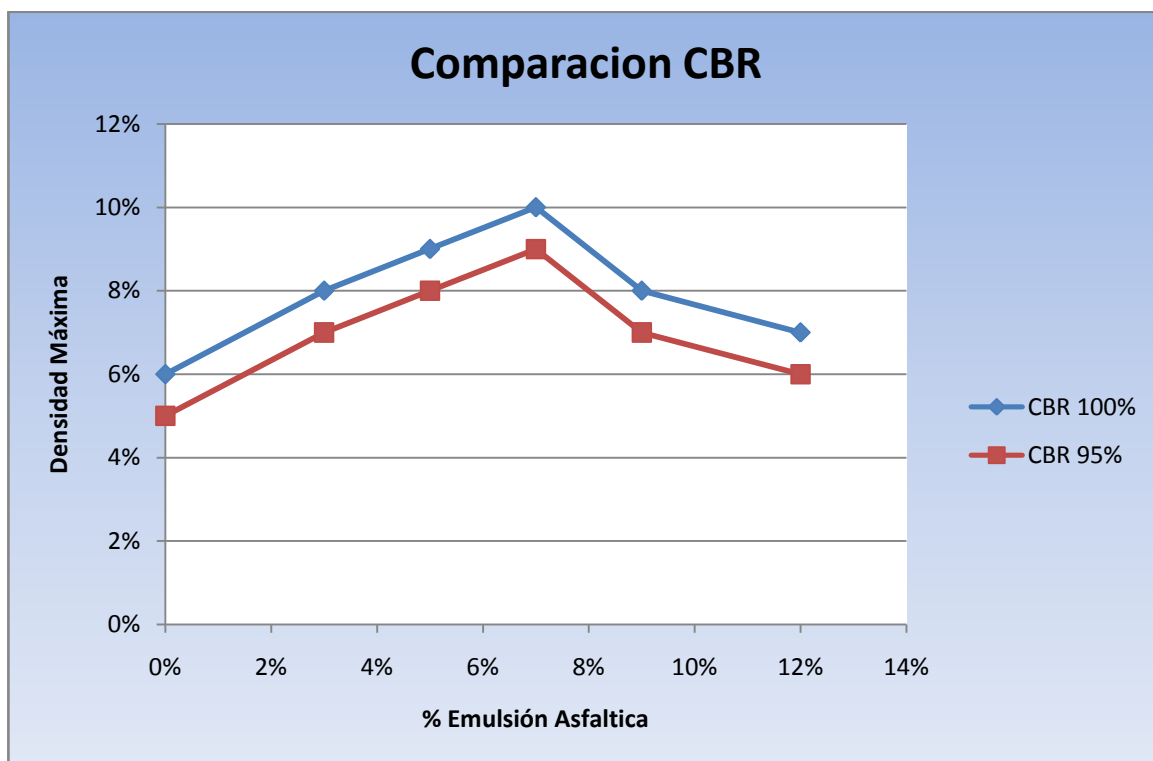
GRAFICA 4.62. Expansión Suelo VS % Emulsión Asfáltica Suelo 1 (A-6)



Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.62 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión a diferentes porcentajes se pudo observar que la expansión del suelo disminuye hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a subir la expansión.

GRAFICA 4.63. Comparación CBR al 100 % y 95 % del Suelo 1 (A-6)

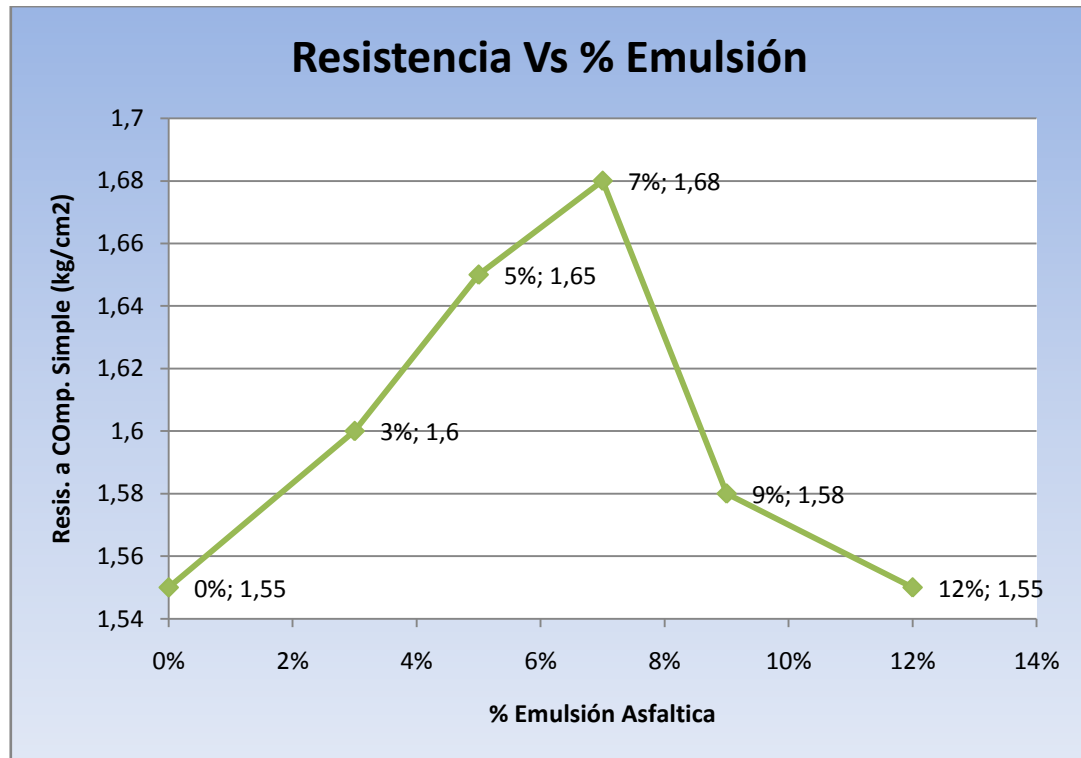


Fuente: Elaboración propia

Según la grafica la 4.63 podemos mencionar que el comportamiento mecánico del suelo 1 tiene un mejoría agregándole un cierto porcentaje de emulsión asfáltica observando que la densidad máxima del CBR al 100% y 95% mejora hasta el 7 % de dosificación de la emulsión asfáltica y a partir de este porcentaje de emulsión, produce un quiebre empezando a bajar la densidad máxima del suelo 1

4.4.3. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 1 (A-6) COMPRESIÓN SIMPLE

GRAFICA 4.64. Resistencia a Comp. Simple VS % Emulsión Asfáltica-Suelo 1 (A-6)

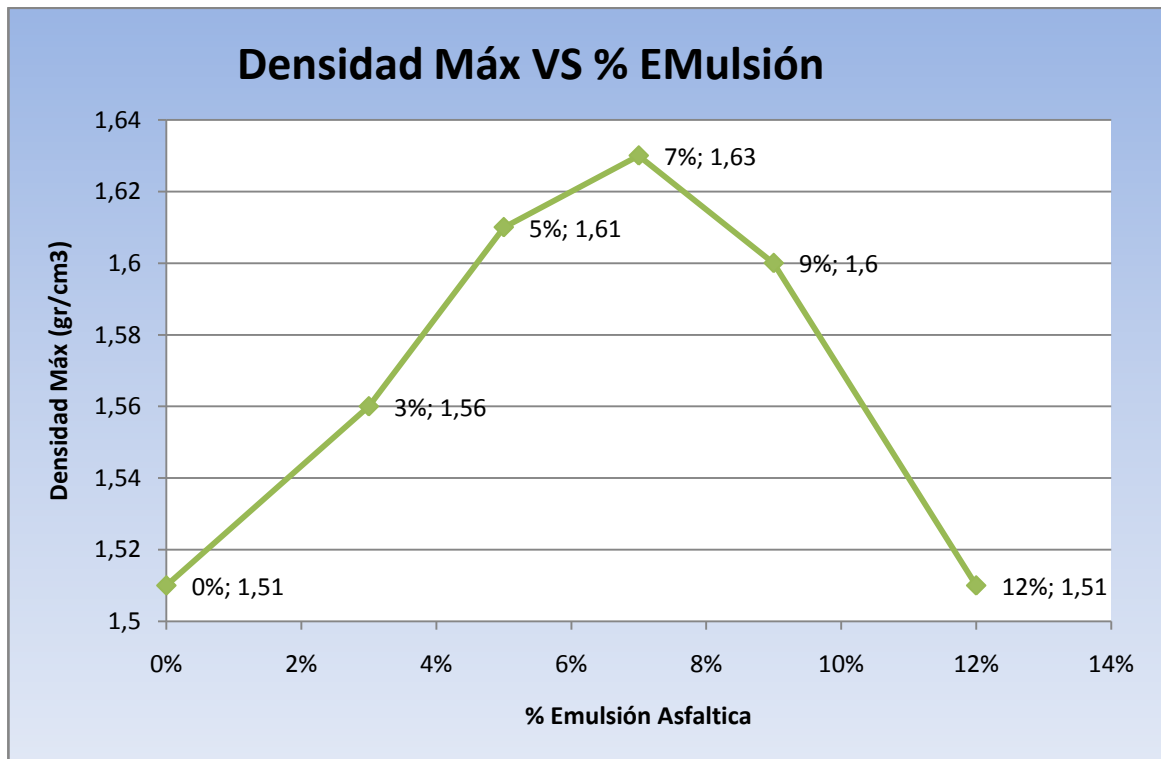


Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.64 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión asfáltica a diferentes porcentajes se pudo observar que la resistencia del suelo aumenta hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a disminuir la resistencia a compresión simple.

4.4.4. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 2 (A-7-6) COMPACTACIÓN

GRAFICA 4.65. Densidad Máx. VS % Emulsión Asfáltica Suelo 2 (A-7-6)

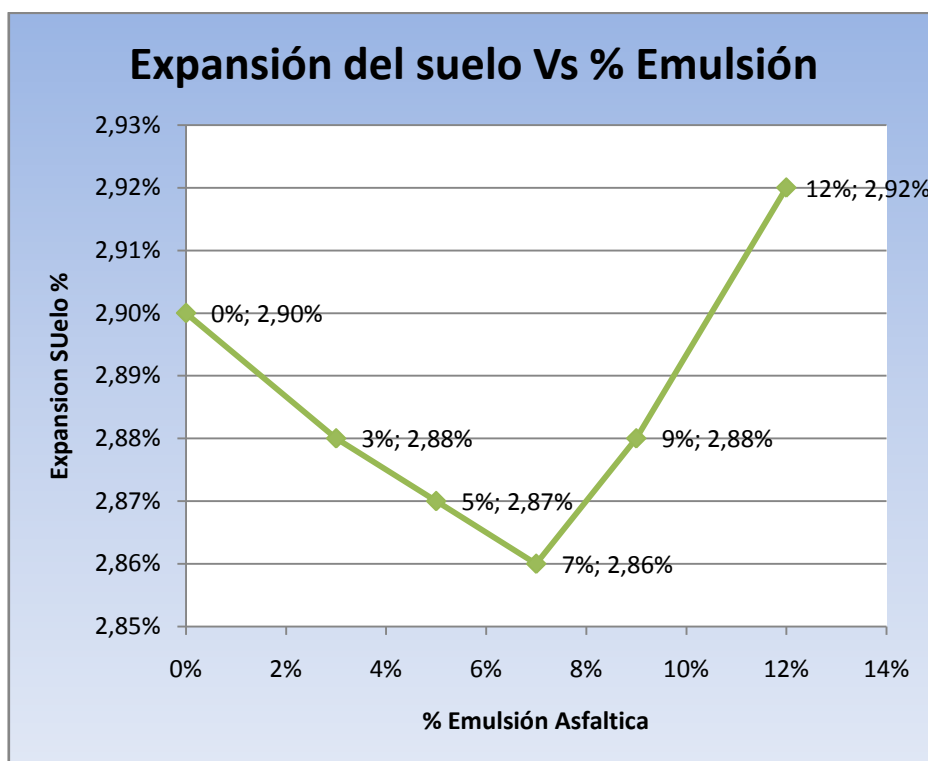


Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.65 podemos mencionar que el comportamiento mecánico del suelo 2 tiene una mejoría agregándole un cierto porcentaje de emulsión asfáltica observando que la densidad máxima mejora hasta el 7 % de dosificación de la emulsión asfáltica y a partir de este porcentaje de emulsión, produce un quiebre empezando a bajar la densidad máxima del suelo en estudio.

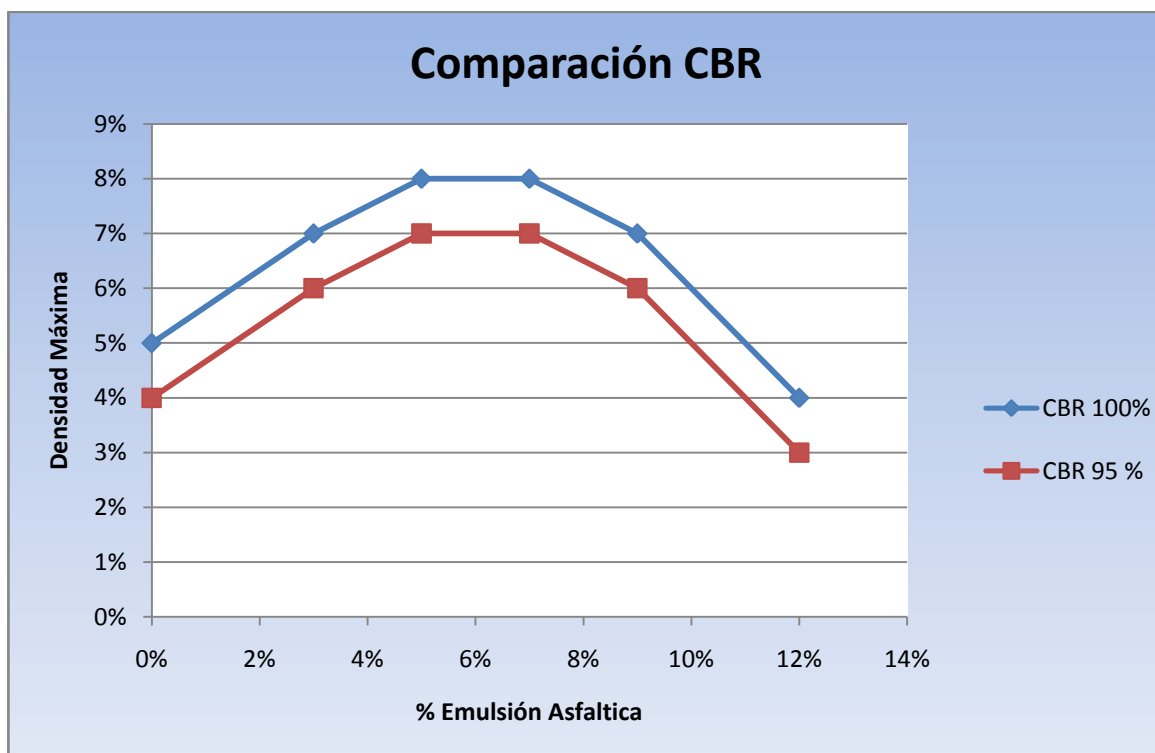
4.4.5. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 2 (A-7-6) CBR

GRAFICA 4.66. Expansión Suelo VS % Emulsión Asfáltica Suelo 2 (A-7-6)



Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.66 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión a diferentes porcentajes se pudo observar que la expansión del suelo disminuye hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a subir la expansión.

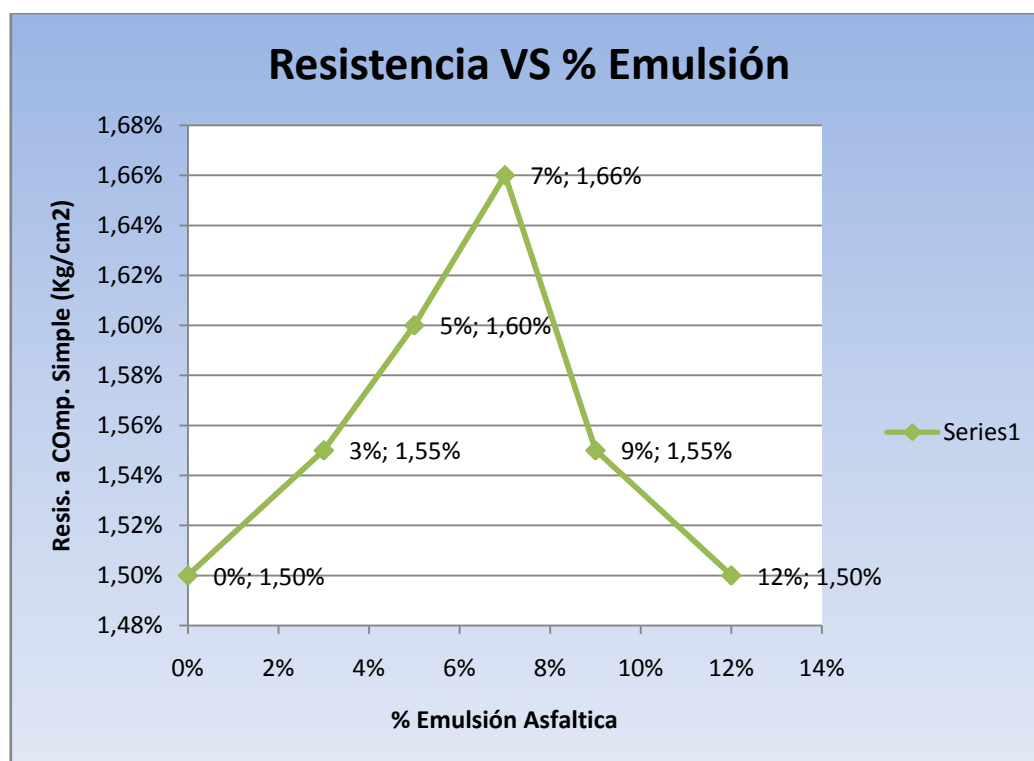
GRAFICA 4.67. Comparación CBR al 100 % y 95 % del Suelo 2 (A-7-6)

Fuente: Elaboración propia

Según la grafica la 4.67. Podemos mencionar que el comportamiento mecánico del suelo 2 tiene un mejoría agregándole un cierto porcentaje de emulsión asfáltica observando que la densidad máxima del CBR al 100% y 95% mejora hasta el 7 % de dosificación de la emulsión asfáltica y se produce una linealidad hasta el 8% a partir de este porcentaje de emulsión, produce un quiebre empezando a bajar la densidad máxima del suelo 2

4.4.6. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 2 (A-7-6) COMPRESIÓN SIMPLE

GRAFICA 4.68. Resistencia a Comp. Simple VS % Emulsión Asfáltica Suelo 2 (A-7-6)

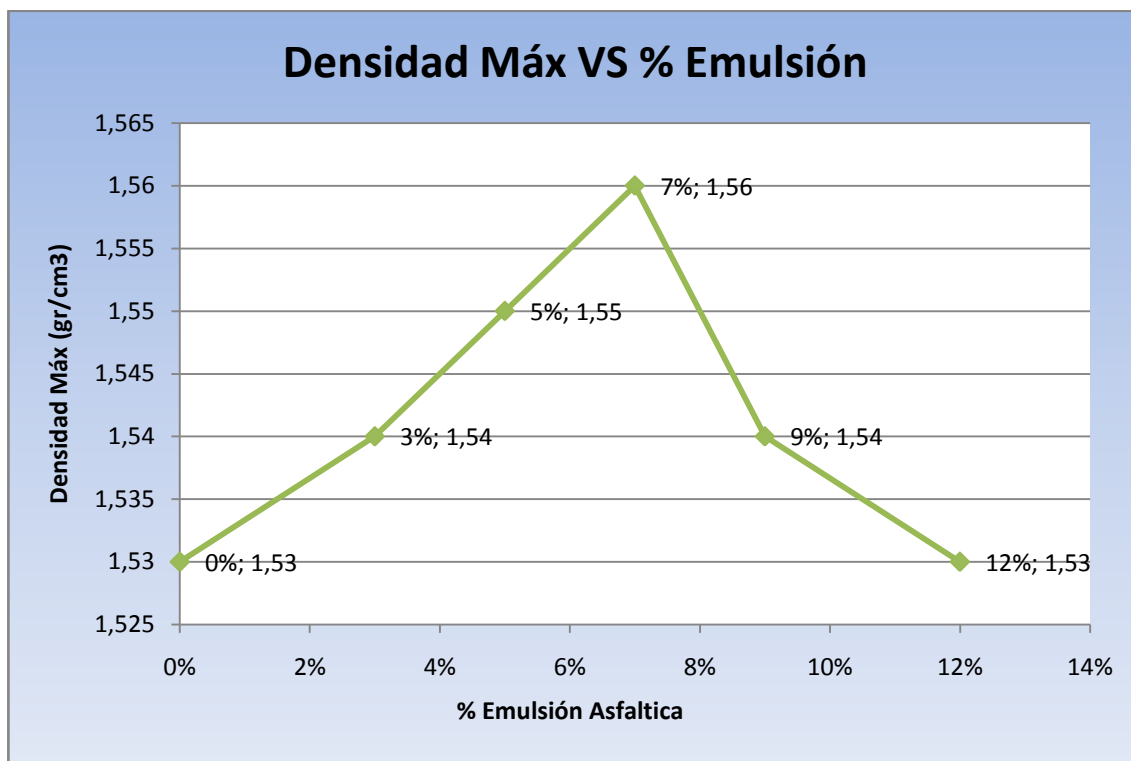


Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.68 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión asfáltica a diferentes porcentajes se pudo observar que la resistencia del suelo aumenta hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a disminuir la resistencia a compresión simple.

4.4.7. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 3 (A-7-5) COMPACTACIÓN

GRAFICA 4.69. Densidad Máx. VS % Emulsión Asfáltica Suelo 3 (A-7-5)

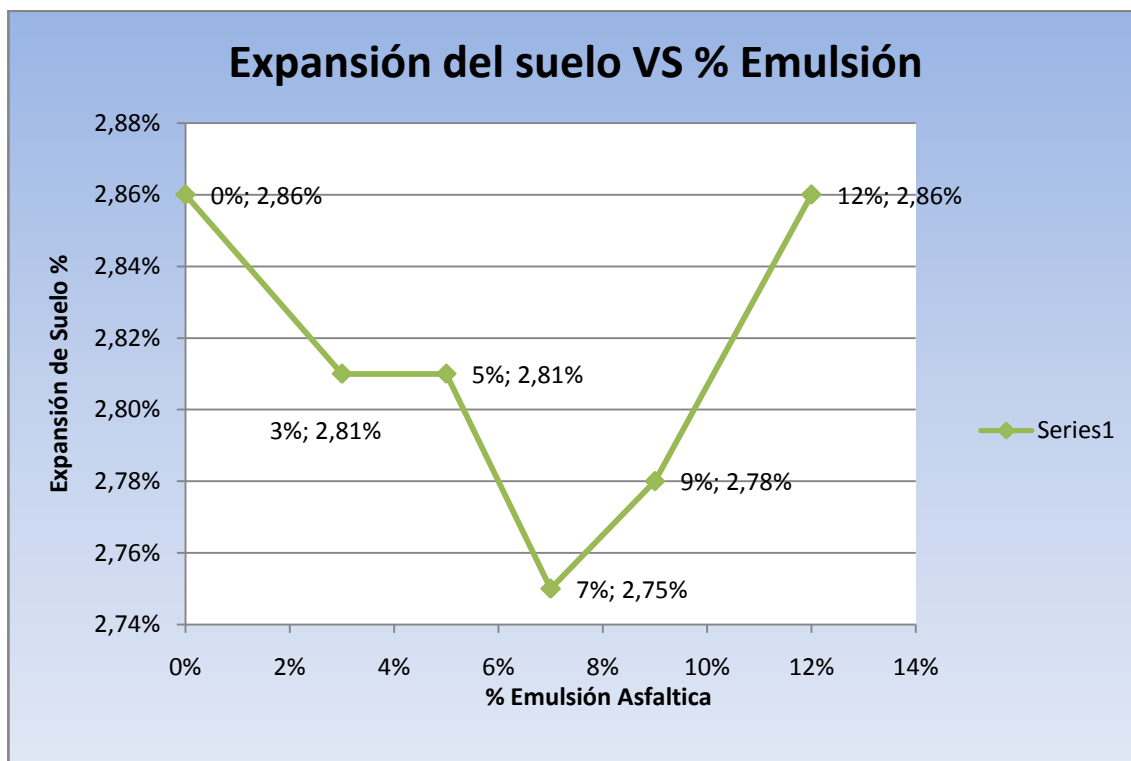


Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.69 podemos mencionar que el comportamiento mecánico del suelo 3 tiene una mejoría agregándole un cierto porcentaje de emulsión asfáltica observando que la densidad máxima mejora hasta el 7 % de dosificación de la emulsión asfáltica y a partir de este porcentaje de emulsión, produce un quiebre empezando a bajar la densidad máxima del suelo en estudio.

4.4.8. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 3 (A-7-5) CBR

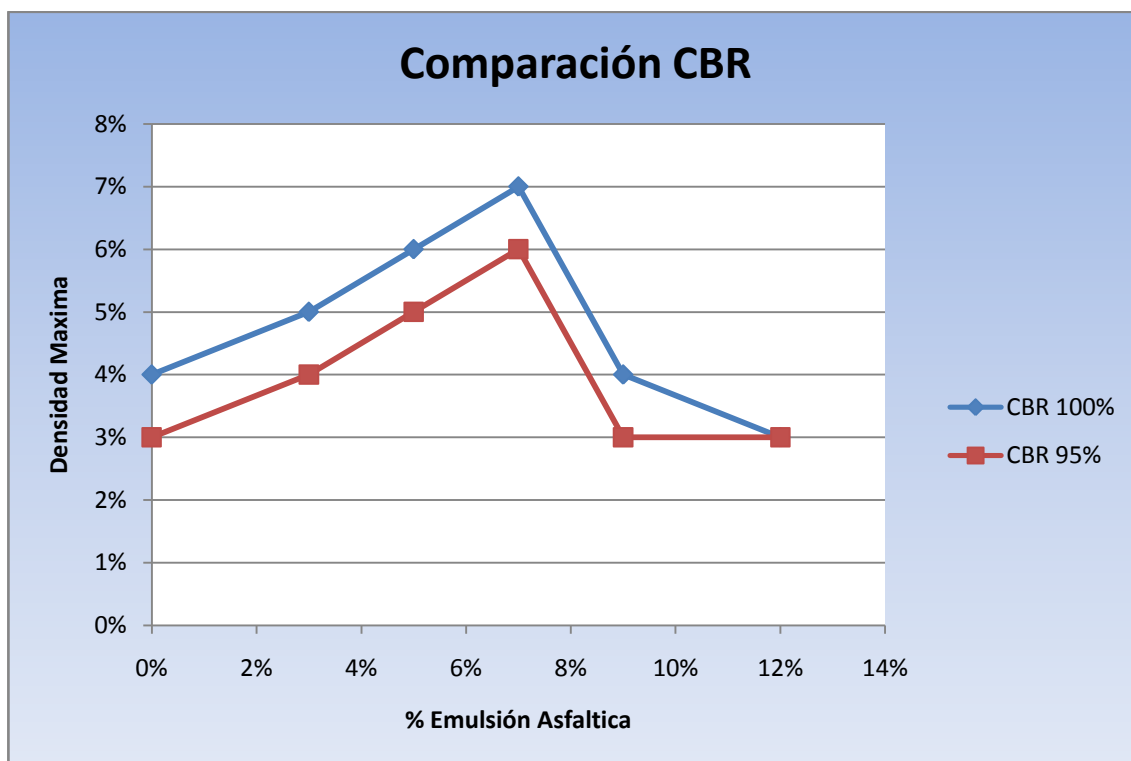
GRAFICA 4.70. Expansión Suelo VS % Emulsión Asfáltica Suelo 3 (A-7-5)



Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.70 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión a diferentes porcentajes se pudo observar que la expansión del suelo disminuye hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a subir la expansión.

GRAFICA 4.71. Comparación CBR al 100 % y 95 % del Suelo 3 (A-7-5)

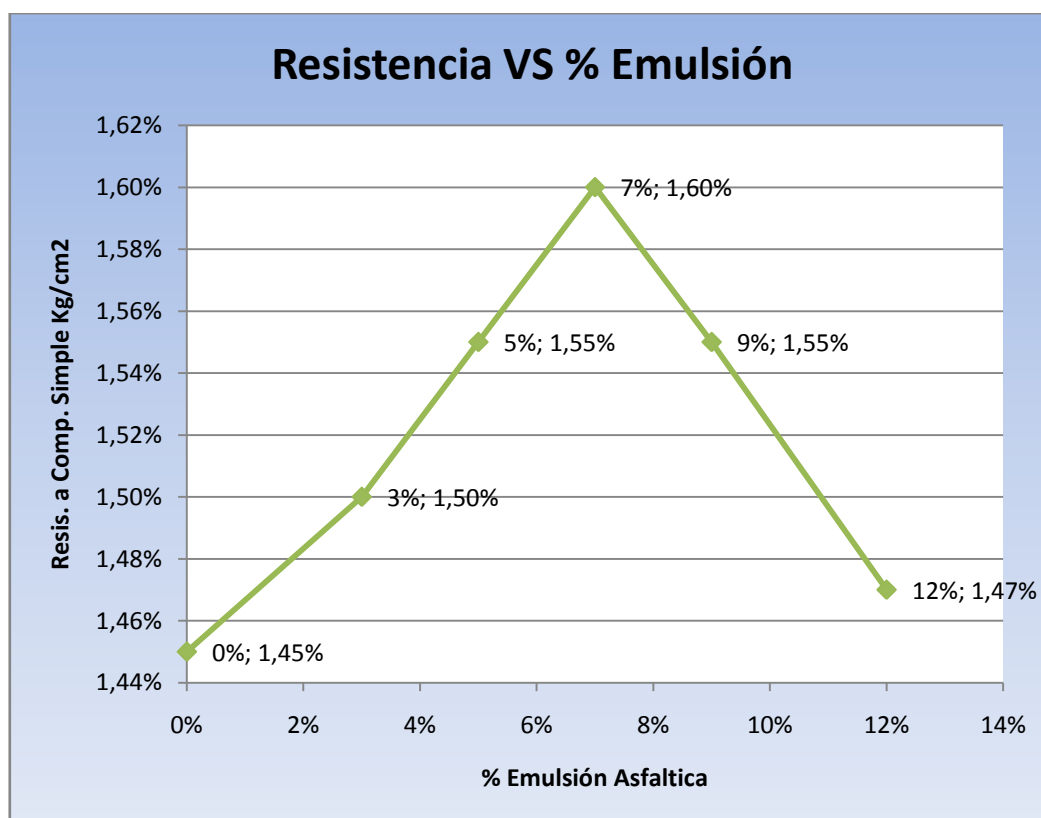


Fuente: Elaboración propia

Según la grafica la 4.71 podemos mencionar que el comportamiento mecánico del suelo 3 tiene un mejoría agregándole un cierto porcentaje de emulsión asfáltica observando que la densidad máxima del CBR al 100% y 95% mejora hasta el 7 % de dosificación de la emulsión asfáltica a partir de este porcentaje de emulsión, produce un quiebre empezando a bajar la densidad máxima del suelo 3

4.4.9. ANÁLISIS GRÁFICAS SUELO 3 (A-7-5) COMPRESIÓN SIMPLE

GRAFICA 4.72. Resistencia a Comp. Simple VS % Emulsión Asfáltica Suelo 3 (A-7-5)

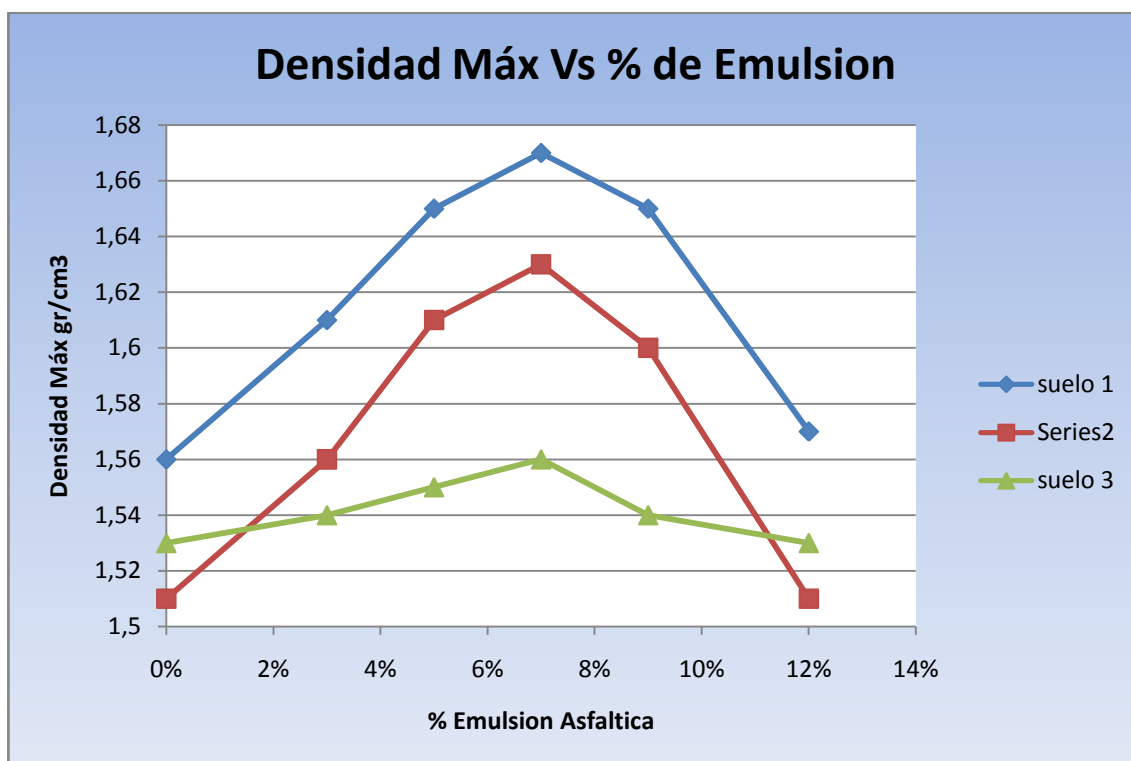


Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.72 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión asfáltica a diferentes porcentajes se pudo observar que la resistencia del suelo aumenta hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a disminuir la resistencia a compresión simple.

4.5. COMPARACIÓN DE GRÁFICAS DE LOS 3 ARCILLAS JUNTAS

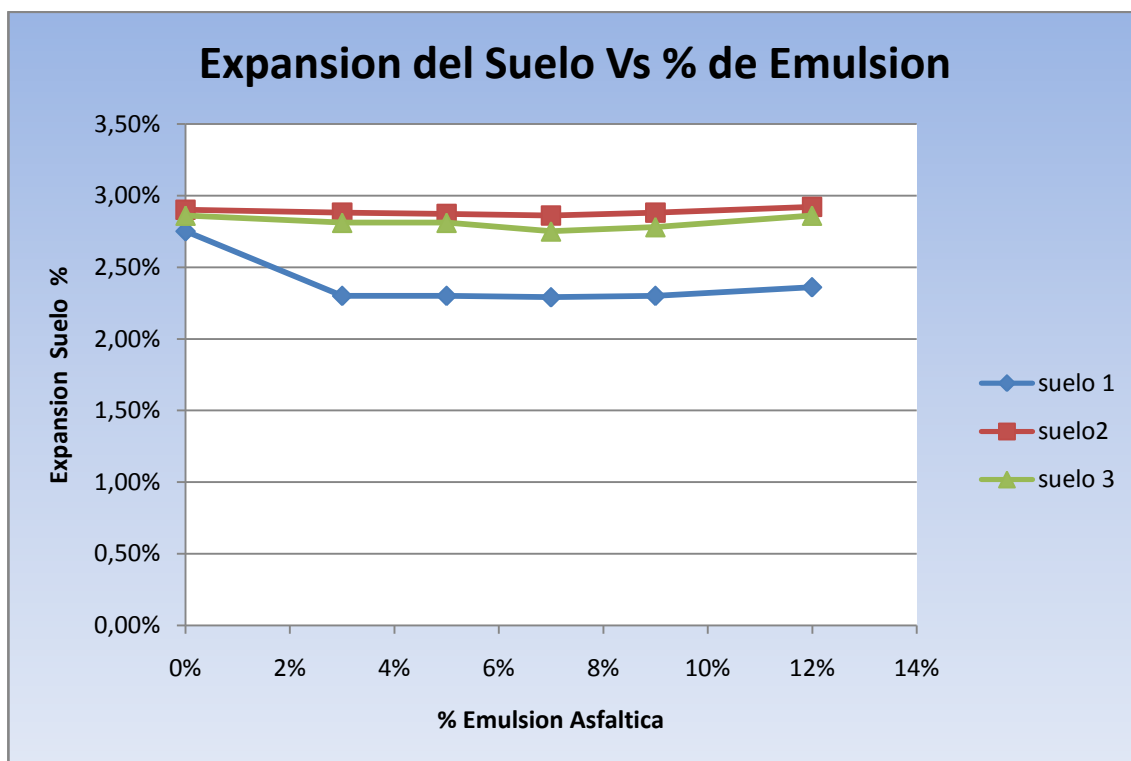
GRAFICA 4.73. Densidad Máx. VS % Emulsión Asfáltica (De los 3 Suelos)



Fuente: Elaboración propia

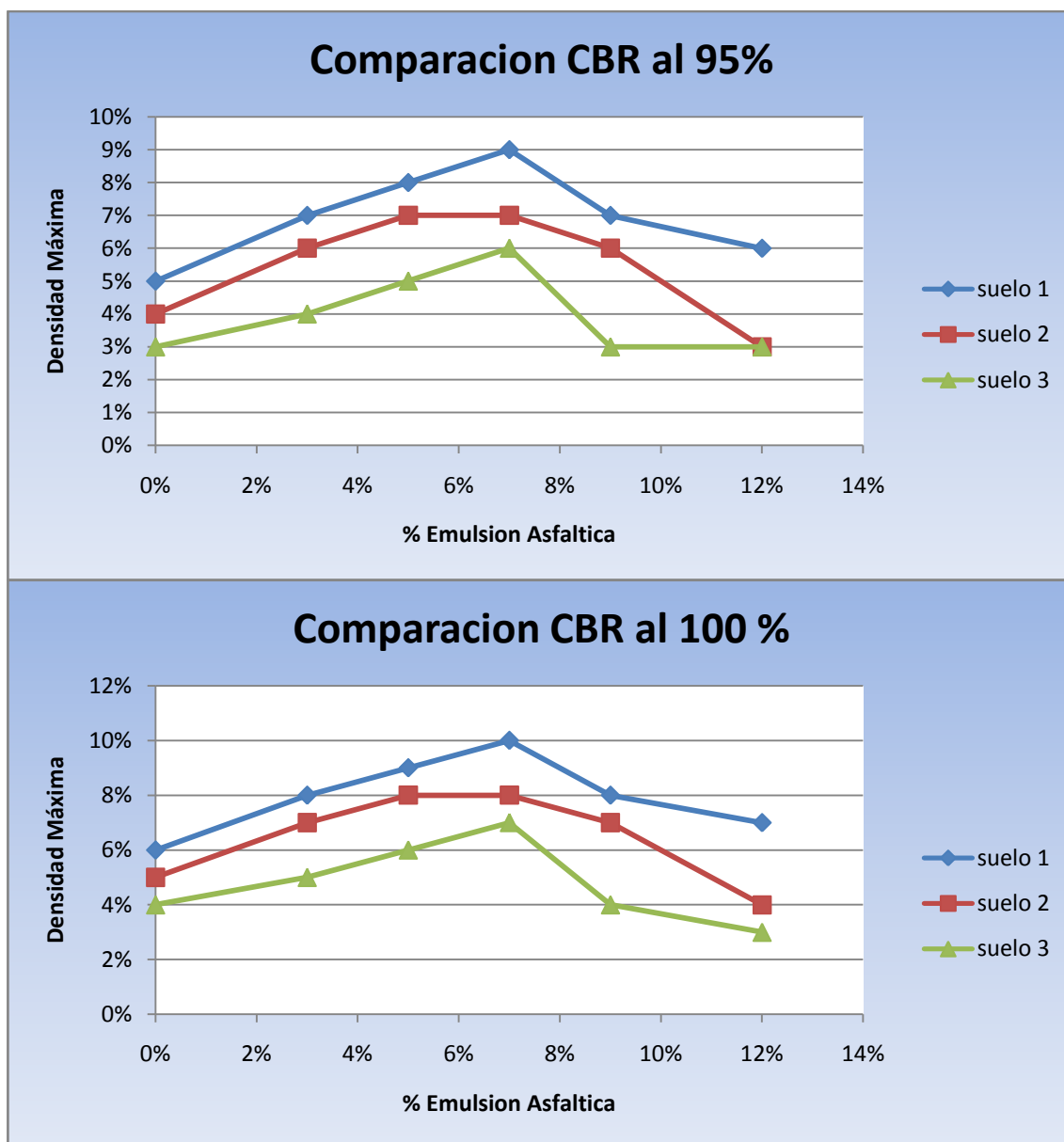
Observando la grafica 4.73. Podemos mencionar que en los 3 suelos se puede verificar que el contenido de porcentaje de emulsión asfáltica óptima es de 7 % para nuestros suelos en estudio y que con ese % se trabajará.

GRAFICA 4.74. Expansión Suelo VS % Emulsión Asfáltica (De los 3 Suelos)



Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.74 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión a diferentes porcentajes se pudo observar que la expansión de los suelos disminuye hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a subir la expansión para los 3 tipos de arcillas, esto quiere decir que el porcentaje óptimo de emulsión es el 7 %.

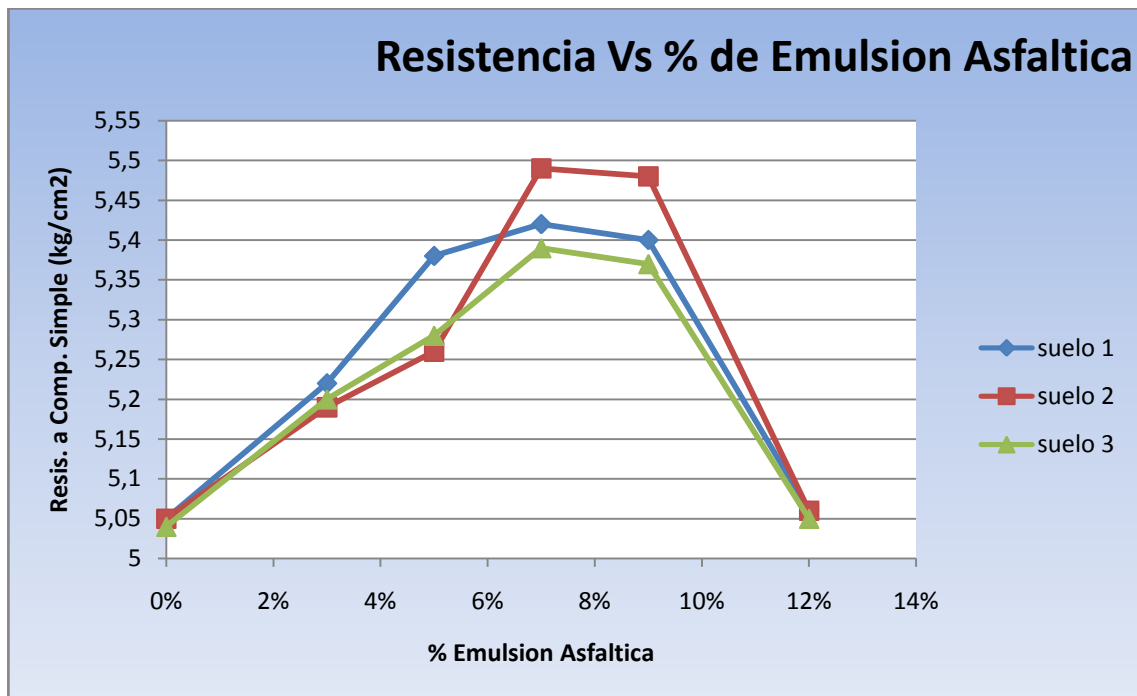
GRAFICA 4.75. Comparación CBR al 100 % y 95 % (De los 3 suelos)

Fuente: Elaboración propia

Según la grafica la 4.75. Podemos mencionar que el comportamiento mecánico de los 3 suelos tiene una mejoría agregándole un cierto porcentaje de emulsión asfáltica observando que la densidad máxima del CBR al 100% y 95% mejora hasta el 7 % de dosificación de la emulsión asfáltica a partir de este porcentaje de emulsión, produce un quiebre empezando a bajar la densidad máxima, viendo que el porcentaje ÓPTIMO de emulsión asfáltica es del 7%.

Observando también las graficas que el comportamiento de acuerdo a las especificaciones específicas de una sub-rasante mejora a partir del 5 % de dosificación de la emulsión asfáltica. Llegando a ahorrar material y costos.

GRAFICA 4.76. Resistencia a Comp. Simple VS % Emulsión Asfáltica
(De los 3 suelos)



Fuente: Elaboración propia

Según la gráfica 4.76 podemos mencionar que al momento de agregar la emulsión asfáltica a diferentes porcentajes se pudo observar que la resistencia de las arcillas aumenta hasta el 7% de emulsión asfáltica pasando este porcentaje empieza a disminuir la resistencia a compresión simple.

En conclusión podemos mencionar que con todos los ensayos realizados y a diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, con el porcentaje que trabaja mejor y por tanto el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica es de 7 %.

Con este porcentaje se trabajara para poder realizar las briquetas de suelo arcilla-emulsión asfáltica, para poder determinar el desgaste del suelo simulando el frenado de los vehículos.

Otra conclusión muy importante podemos mencionar que para una estabilización de una sub-rasante se puede observar que el porcentaje que cumple cabalmente dentro de las especificaciones de cbr de una sub-rasante es la de 5 % de Emulsión asfáltica viendo que puede haber un ahorro económico y de material.

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO LAS BRIQUETAS SUELO ARCILLA - % ÓPTIMO EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.6.1. SUELO HIELO-DESHIELO

TABLA 4.115 ANÁLISIS ESTADÍSTICO HIELO-DESHIELO

Desgaste Total	
	13,01
	13,70
	15,32
	13,66
	12,91
	13,33
	12,30
	13,96
	13,17
	14,43
PROMEDIO	13,58
MEDIANA	13,49
DESVEST	0,854823995
MAX	15,32
MIN	12,30

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior podemos mencionar que realizando un análisis estadístico podemos verificar que se encuentra dentro de los parámetros permitidos para poder así validar estos resultados de acuerdo a la bibliografía.

Observando estos resultados de las briquetas de suelo-emulsión asfáltica se puede mencionar que en el caso de hielo-deshielo existe un desgaste que oscila entre 12 a 14 gr/cm² observando que la emulsión asfáltica trabaja como un buen ligante de los granos del suelo arcilloso mejorando así su capacidad portante.

4.6.1. SUELO SATURADO-SECADO

TABLA 4.116. ANÁLISIS ESTADÍSTICO SUELO SATURADO-SECADO

Desgaste Total	
25,32	
23,59	
24,31	
24,58	
24,07	
23,65	
26,88	
23,20	
23,32	
24,16	
PROMEDIO	24,31
MEDIANA	24,11
DESVEST	1,103839711
MAX	26,88
MIN	23,20

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior podemos mencionar que realizando un análisis estadístico podemos verificar que se encuentra dentro de los parámetros permitidos para poder así validar estos resultados de acuerdo a la bibliografía.

Observando estos resultados de las briquetas de suelo-emulsión asfáltica se puede mencionar que en el caso de saturado-secado existe un desgaste que oscila entre 24 a 26 gr/cm² observando que la emulsión asfáltica trabaja como un buen ligante de los granos del suelo arcilloso mejorando su capacidad.

Se puede verificar que existe un mayor desgaste de las briquetas de suelo arcilla-emulsión asfáltica por parte de la segunda prueba realizada, esto quiere decir que el agua es el más desgastante en un camino de tierra.

4.7. ANÁLISIS ECONOMICO COMPARATIVO ESTABILIZACION DE SUELOS

TABLA 4.117. COMPARACIÓN DE ANÁLISIS DE COSTOS

Estabilización Suelo- Suelo Mejorado PRESUPUESTO GENERAL					
Fecha: 01/jul/2014					
Tipo de cambio: 6,96					
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Estabilización Mecánica (Suelo-Suelo Mejorado)	m ³	1,00	38,51	38,51
2	Estabilización con material bituminoso	m ³	1,00	74,35	74,35

Fuente: Elaboración Propia

- Realizando un análisis costo beneficio se concluye que la estabilización Suelo con emulsión asfáltica resulta tener un costo más elevado que la estabilización suelo – suelo mejorado, pero en función a la vida útil del proyecto resulta que la estabilización suelo- emulsión asfáltica ahorra gastos de mantenimiento dentro la vida útil del proyecto e inclusive ayuda en la mitigación de polvo.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales presentadas a continuación fueron realizadas tras haber finalizado satisfactoriamente este trabajo, el cual está basado en la evaluación del comportamiento mecánico arcilla-emulsión asfáltica.

- Se realizó el análisis comparativo del comportamiento de las arcillas naturales y las mismas estabilizadas con emulsión asfáltica llegando a una conclusión que mejora el comportamiento mecánico de los suelos arcillosos para la aplicabilidad en nuestro medio en la conservación y mantenimiento de caminos de tierra.
- En conclusión podemos mencionar que con todos los ensayos realizados con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, pudimos sacar un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica siendo como resultado de 7 %.
- Con este porcentaje se trabajó para poder realizar las briquetas de suelo arcilla-emulsión asfáltica, determinando el desgaste del suelo simulando el frenado de los vehículos en caminos de tierra
- Realizando un análisis costo beneficio se concluye que la estabilización Suelo con emulsión asfáltica resulta tener un costo más elevado que la estabilización suelo – suelo mejorado, pero en función a la vida útil del proyecto resulta que la estabilización suelo- emulsión asfáltica ahorra gastos de mantenimiento dentro la vida útil del proyecto e inclusive ayuda en la mitigación de polvo.
- Como recomendación principal podemos mencionar que se puede abarcar un rango menor de porcentaje óptimo de la emulsión para estabilización entre 5 y 7 % de emulsión cumple satisfactoriamente para la construcción de sub-rasantes de acuerdo a las especificaciones técnicas de la misma y realizar un estudio más a fondo.
- Es importante manejar correctamente los valores de la densidad máxima y la humedad optima porque gracias a estos datos se puede realizar con mayor precisión las briquetas de suelo y tener un mejor manejo del suelo en estudio.

- Las Emulsiones Asfálticas son muy óptimas para la utilización en los diferentes tipos de estabilización con suelos arcillosos debido a que mejoran las características mecánicas de los suelos.
- Se determinó las principales características y propiedades físico-mecánicas del material arcilloso a ser utilizado mediante los ensayos respectivos, sin la adición de la emulsión asfáltica observando que está dentro de las características físico-mecánicas de los suelos arcillosos.
- Finalmente se concluye que el efecto positivo de la emulsión puede contribuir para la mejoría del comportamiento mecánico de los suelos usados. Entretanto, el uso de las emulsiones asfálticas aplicadas en la construcción de carreteras todavía exige mayores investigaciones principalmente en las condiciones de cura y de ensayos que se reflejen las condiciones de campo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Como una de las recomendaciones principales para el proceso de esta investigación es la de tener un buen conocimiento conceptual de los diferentes tipos de estabilización y las emulsiones Asfálticas.
- Debido al mecanismo de fraguado, estas emulsiones comúnmente no logran una estabilidad aceptable con el agregado pétreo del asfalto, por ello son aplicables principalmente a caminos secundarios en los que la carga vehicular no es regular ni posee alto peso.
- Es recomendable tener precaución al momento de manipular la Emulsión Asfáltica y tener en cuenta la temperatura por el rompimiento de esta tiene.
- No permita que la emulsión asfáltica se congele. Esto produce la rotura de la emulsión separando el asfalto del agua. El resultado será dos capas una de asfalto, otra de agua-en el tanque, ninguna de las cuales será adecuada para el consumo deseado además será difícil vaciar el tanque.

- Una emulsión que cumple con las especificaciones de calidad, puede estar almacenada durante más de un año, si se recircula sistemáticamente para mantenerla homogénea.
- Como recomendación principal podemos mencionar que se puede abarcar un rango menor de porcentaje óptimo de la emulsión para estabilización entre 5 y 7 % de emulsión y realizar un estudio más a fondo.
- Es importante manejar correctamente los valores de la densidad máxima y la humedad optima porque gracias a estos datos se puede realizar con mayor precisión las briquetas de suelo y tener un mejor manejo del suelo en estudio.
 - La sub-rasante puede estar constituida por suelos en su estado natural, o por estos con algún proceso de mejoramiento tal como la estabilización mecánica, estabilización físico - química con aditivos tales como el cemento Portland, la cal, el asfalto entre otros.
 - Cuando los materiales encontrados en las zonas cercanas a la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos mecánica y químicamente.