



ESTABILIZACION DE SUELOS PARA PAVIMENTOS

Introducción.-

Cuando un suelo presenta resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes inadmisibles por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y conserva además esta condición bajo los efectos climatológicos normales en la localidad, se dice

que el suelo es estable.

El suelo natural posee a veces la composición granulométrica y la plasticidad así como el grado de humedad necesario para que, una vez apisonado, presente las características mecánicas que lo hacen utilizable como firme de un camino.

Los métodos empleados en la antigüedad para utilizar los suelos en la construcción eran empíricos y, como las demás actividades artesanas, se transmitían de generación en generación. Los conocimientos en la actualidad sobre este campo se basan principalmente en estudios sistemáticos con fundamento científico corroborado mediante la experimentación.

En general puede decirse que todos los suelos pueden ser estabilizados, pero si la estabilización ha de lograrse por aportaciones de otros suelos o por medios de otros elementos (por ejemplo cemento, cal, cloruro de sodio) el costo de la operación puede resultar demasiado alto si el suelo que se trata de corregir no posee determinadas condiciones.

Entre las aplicaciones de un suelo modificado o estabilizado se encuentran la mejora de los suelos granulares susceptibles a las heladas y el tratamiento de los suelos limosos y/o arcillosos para reducir los cambios de volumen.

Estabilización de Suelos.-

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad. Las tres formas de lograrlo son las siguientes:

- **Estabilización Física:**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

- Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso pero por sí sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- Geotextiles
- Vibroflotación (Mecánica de Suelos)
- Consolidación Previa

- **Estabilización Química:**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

- **Cal**: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- **Cemento Portland**: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- **Productos Asfálticos**: es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- **Cloruro de Sodio**: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Cloruro de Calcio**: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Escorias de Fundición**: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Polímeros**: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

- **Hule de Neumáticos:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Estabilización Mecánica:**

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- **Compactación:** este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

Estabilización con Cal.-

La cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo como estabilizador de suelos y se han cuantificados sus magníficos resultados.

Cuando tenemos arcillas muy plásticas podemos disminuir dicha plasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma asociados a la variación en los contenidos de humedad con el solo hecho de agregarle una pequeña proporción de cal.

Este es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.

Es recomendable no usar mas del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión.

Se ha determinado que al mezclar la arcilla con cal apagada los iones de calcio sustituyen algunos iones metálicos presentes en la película de agua que rodea a la partícula de arcilla y que son responsables de los cambios volumétricos, además, si el suelo tratado contiene suficiente sílice y alúmina estos pueden reaccionar formando silicatos de calcio y alúmina. Estos silicatos tienen un gran poder cementante, lo que implica que al agregar cal también se logra aumentar la resistencia del suelo.

Como especificamos anteriormente, la dosificación dependerá del tipo de arcilla, se agregará de 1% al 6% de cal por peso seco. Este porcentaje debe determinarse en el laboratorio, pero lo más común en la mayoría de los casos se requiere de un porcentaje cerca del 3%.

Procedimiento Constructivo:

La capa inferior a la que se va a estabilizar, deberá estar totalmente terminada, el mezclado puede realizarse en una planta adecuada o en campo, obteniéndose mejores resultados en el primer caso, la cual puede agregarse en forma de lechada, a granel o en sacada. Si se

agrega en forma de lechada, ésta se disuelve en el agua de compactación, la que se incrementa en un 5%.

Cuando se efectúa el mezclado en el campo, el material que se va a mejorar deberá estar disgregado y acamellonado, se abre una parte y se le agrega el estabilizador distribuyéndolo en el suelo para después hacer un mezclado en seco, se recomienda agregar una ligera cantidad de agua para evitar los polvos. Después de esto se agrega el agua necesaria y se tiende la mezcla debiendo darle un curado de hasta 48 horas de acuerdo con el tipo de arcilla de que se trate.

Se tiende la mezcla y se compacta a lo que marca el proyecto para después aplicarle un curado final, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un ligero rocío. Se recomienda no estabilizar cuando amenace lluvia o cuando la temperatura ambiente sea menor a 5 ° C, además se recomienda que la superficie mejorada se abra al tránsito vehicular en un tiempo de 24 a 48 horas.

Estabilización con Cemento.-

El cemento mezclado con el suelo mejora las propiedades de éste desde el punto de vista mecánico.

Siendo los suelos por lo general un conjunto de partículas inertes granulares con otras activas de diversos grados de plasticidad, la acción que en ellos produce el cemento es doble. Por una parte actúa como conglomerante de las gravas, arenas y limos desempeñando el mismo papel que en el hormigón. Por otra parte, el hidrato de calcio, que se forma al contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio que por su gran afinidad con el agua roban algunas de las moléculas de ésta interpuestas entre cada dos laminillas de arcilla. El resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y de la plasticidad así como un aumento en la resistencia y en la durabilidad.

Se pueden utilizar todos los tipos de cementos, pero en general se emplean los de fraguado y endurecimiento normales. En algunos casos, para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables los cementos de alta resistencia y si las temperaturas son bajas se puede recurrir a cementos de fraguado rápido o al cloruro de calcio como aditivo.

Este tipo de estabilización es de uso cada vez más frecuente y consiste comúnmente en agregar cemento Portland en proporción de un 7% a un 16% por volumen de mezcla.

Al mejorar un material con cemento Portland se piensa principalmente en aumentar su resistencia, pero además de esto, también se disminuye la plasticidad, es muy importante para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%.

Casi todos los tipos de suelo que encontramos pueden estabilizarse con cemento con excepción de los que contienen altos porcentajes de materia orgánica. Por otra parte, los suelos de arcilla o limo requerirán un mayor porcentaje de cemento para lograr los resultados esperados.

Por lo general, la capa que se estabiliza tiene un espesor de 10 a 15cms. y podrá coronarse con una capa de rodadura de poco espesor

(ya sea para tránsito ligero o medio); también podrá servir de apoyo a un pavimento rígido o flexible de alta calidad.

Para la utilización del cemento, lo que tiene verdadera importancia es que el suelo no contenga materias que perjudiquen el fraguado o la resistencia. Interesa también para la economía de la obra limitar el porcentaje de cemento necesario y prever el comportamiento de las arcillas.

En este orden hay que tomar en cuenta las aptitudes intrínsecas del suelo para la estabilización como son la Granulometría, lo que implica que los suelos a mejorarse no deben contener piedras de tamaño superior a 60mm (es decir, que el porcentaje que pasa por el tamiz #200 sea menor del 50%); y la Plasticidad, lo que determinará la calidad de las arcillas, estableciendo un Límite Líquido menor de 50% (<40%) y un Índice de Plasticidad menor de 25% (<18%).

El éxito de la estabilización con cemento depende de tres factores:

- Contenido apropiado de cemento
- Contenido apropiado de humedad
- Adecuada compactación

Por estos las mezclas deben ser sometidas a diversos ensayos como son el de compactación, durabilidad y compresión que aparte de su objeto específico servirán para dosificar el cemento que se empleará en la mezcla.

Dosificación del Cemento:

Si mediante el análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg se ha procedido a la clasificación del suelo de acuerdo a la H.R.B. (HighwayResearchBoard o Departamento de Investigación Sobre Carreteras) se puede adoptar la dosificación de cemento de la siguiente tabla:

TIPOS DE SUELO	SUELOS ESTABILIZADO	SUELO - CEMENTO
A-1 y A-3	3-8	5-8
Límite de A-3 y A-2	5-10	6-10
Límite de A-2 y A-4	7-12	9-14
A-5 y A-6	8-15	No económico
A-7	10-16	

Existen dos formas o métodos para estabilizar con cemento Pórtland, una es la llamada estabilización del *tipo flexible*, en el cual el porcentaje de cemento varía del 1 al 4%, con esto solo se logra disminuir la plasticidad y el incremento en la resistencia resulta muy bajo, las pruebas que se les efectúan a este tipo de muestras son semejantes a las que se hacen a los materiales estabilizados con cal.

Otra forma de mejorar el suelo con cemento, se conoce como *estabilización rígida*, en ella el porcentaje de cemento varía del 6 al 14%, este tipo de mejoramiento es muy común en las bases, ya que resulta muy importante que éstas y la carpeta presenten un módulo

de elasticidad semejante, ya que con ello se evita una probable fractura de la carpeta, ya que ambos trabajan en conjunto; para conocer el porcentaje óptimo a emplear se efectúan pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento.

Ensayos a Realizarse:

- Lo primero que hay que hacer es identificar el suelo. Se deben realizar sondeos para determinar los diferentes tipos de suelos, ya que cada tipo requerirá diferentes dosificaciones de cemento.
- Determinación del contenido mínimo de cemento y la humedad óptima de compactación, con lo siguiente:
- Se toma una muestra de suelo, se seca y se pulveriza hasta que pase por el tamiz #4 para los suelos finos y se mezcla con diferentes contenidos de cemento (entre 8% y 16% por volumen).
- Para cada contenido de cemento se preparan 4 probetas compactadas a densidad máxima, dos para la prueba de humedad y secado y dos para la prueba de resistencia a la compresión a diferentes edades. Todas se dejan fraguar en cámara fría por 7 días.
- Pasados los 7 días, las dos probetas destinadas a la prueba de humedad-secado se sumergen en agua a temperatura ambiente por 5 horas, se sacan y secan al horno a 70°C por 42 horas. Este proceso de inmersión y secado se repite hasta un máximo de 12 veces y luego de cada ciclo una de las probetas se pesa y se le determina el grado de absorción a la otra, se limpia pasándole un cepillo metálico enérgicamente, eliminando todo el material suelto y luego de pesa obteniéndose el porcentaje de material disgregado después de cada ciclo.

Las probetas destinadas a la prueba de compresión se someten a la misma después que éstas tengan de uno a cuatro días de curado. Siempre la resistencia debe aumentar con el tiempo.

La dosificación mínima de cemento será la que cumpla con lo siguiente:

- La pérdida máxima de material disgregado durante los 12 ciclos de inmersión-secado será:

14% para los suelos A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3

10% para los suelos A-4, A-5, A-2-6 y A-2-7

7% para los suelos A-6 y A-7

- La resistencia a la compresión debe aumentar con la edad y con el contenido de cemento.
- El cambio volumétrico en cualquier momento de la prueba de humedad-secado no debe ser superior a un 2% del volumen inicial.
- El contenido de humedad en todo tiempo no debe ser mayor que el necesario para llenar los vacíos de la probeta en el momento de ser fabricada.

Procedimiento Constructivo:

- Limitación de la Zona de Trabajo:

La zona de trabajo deberá limitarse de acuerdo con la disponibilidad de equipos de compactación, debido a que cada tramo deberá terminarse antes de que la mezcla comience a ganar resistencia.

Se despeja la zona del camino de piedras grandes, plantas y materia orgánica, se excava hasta encontrar terreno firme que servirá de apoyo a la base. La resistencia del cimiento determinada deberá contar con un CBR de al menos 20%.

- Pulverización del Suelo:

Si además de suelo nativo se utiliza suelo de aportación, éste deberá esparcirse sobre la superficie en cantidad suficiente para lograr la proporción adecuada de la mezcla, posteriormente se procede a escarificar y mezclar los materiales, procurando una mezcla homogénea.

Si solo se usa suelo nativo se procede a cortar el material a la profundidad de la capa a estabilizar, para esto se pasa varias veces el escarificador o discos de arado rotatorio.

Si el suelo es arcilloso, presentará resistencia a pulverizarse, por lo que será necesario romper los terrones antes de pulverizarlo; si está muy húmeda formará una masa pastosa difícil de mezclar lo que encarecerá el proceso; y si es arenoso conviene humedecerlo antes de echarle el cemento para que éste no pase por los huecos a la parte inferior en detrimento de la dosificación en el resto de la capa.

En todo caso, el material se reducirá al mínimo tamaño sin romper las partículas ya que los grumos o terrones no tendrán cemento y se convertirán en elementos débiles del firme ya estabilizado.

Una vez pulverizado el suelo se reconstruye el perfil para que quede con las dimensiones dadas antes de la operación.

- Distribución del Cemento:

La distribución del cemento se puede hacer mecánicamente, pero la forma más adecuada para lograr una distribución uniforme es haciéndolo manualmente y utilizando el cemento en fundas no a granel.

Conviene comenzar la distribución del cemento a una hora del día en que la temperatura no sea inferior a los 5°C y se espere que vaya en aumento; se hará de tal modo que la cantidad de cemento por unidad de superficie responda aproximadamente a la dosificación establecida.

Si se hacen por sacos, éstos se colocarán en hileras y filas regulares con la separación necesaria para la dosificación. Luego se abren los sacos o fundas y se deposita el cemento en el lugar en que se hallan formando pequeños montones.

Como el cemento se agrega de acuerdo a un porcentaje por volumen entonces, podemos determinar el volumen de suelo a estabilizar en cada tramo:

$$V = L \times A \times E$$

Donde:

V = el volumen del suelo a estabilizar

L = la longitud del tramo

A = el ancho de la franja

E = el espesor de la capa

Conocido el volumen de suelo lo multiplicamos por el porcentaje de cemento y obtenemos el volumen total de cemento. Conocida la cantidad de fundas de cemento a usar el área sobre la que se va a distribuir entonces podemos hacer la distribución, colocando las fundas equidistantes una de otra. Luego se esparce el cemento de forma uniforme y se procede a mezclar.

- Mezclado Uniforme:

La mezcla deberá ser homogénea y para lograrlo se debe pasar varias veces el escarificador hasta la profundidad deseada, también se usarán discos rotatorios de arado hasta que se determine un mezclado total.

Hay dos tipos de mezcla: Mezcla en Seco y Mezcla Húmeda. La Mezcla Seca consiste en una vez distribuido el cemento se procede a mezclarlo con el suelo hasta lograr la homogeneidad requerida. La Mezcla Húmeda es la más usada y es en la que a la mezcla se le adiciona agua.

- Adición del Agua:

El agua es un elemento esencial para hidratar el cemento y para facilitar la compactación, al ésta entrar en contacto con el cemento en poco tiempo se producirá una reacción química y desprendimiento de calor; esto a su vez provocará evaporación del agua incorporada, de modo que para lograr mantener la humedad óptima de compactación a la mezcla se agregará un 3% de agua adicional al porcentaje óptimo obtenido en laboratorio para éste tipo de suelo.

La distribución del agua debe ser uniforme en toda la extensión de la zona cuidándose de que no quede depositada en huecos. Después de esto, se hará una pasada de las herramientas o máquinas de que se disponga para que la mezcla quede removida hasta lograr que sea homogénea comprobándose el contenido de agua para que por defecto o por exceso no difiera de la humedad óptima en más del 10%. Tras esta operación, como después de cada una de las operaciones parciales se restituye el perfil a las dimensiones previstas.

- Compactación:

Inmediatamente se comienza la consolidación de la capa formada hasta lograr una densidad igual cuando menos a la Proctor. La compactación se realiza partiendo de los bordes hacia el centro excepto en las curvas con peralte.

Durante la compactación debe mantenerse el contenido de agua dentro de los límites. Como casi siempre los suelos que se estabilizan son finos, el compactador adecuado es el pata de cabra. Cuando el suelo que se estabiliza es grava-arena, entonces el rodillo adecuado es aquel que cuenta con un rolo vibrador y llantas en el eje motor.

A continuación de la última pasada de la máquina que se emplee es preciso que la niveladora restituya el perfil si éste ha quedado ondulado. En tal caso es preciso humedecer de nuevo el suelo suelto y volver a compactarlo.

- Terminación:

Una vez completada la compactación se procede a perfilar la superficie dejando la pendiente transversal o bombeo deseada, luego se da un par de pasadas de un rodillo liso de 3 a 12 tons., dependiendo del tipo de suelo.

- Curado:

El agua es muy importante en el proceso de endurecimiento del cemento; por lo tanto, debemos preservarla evitando su evaporación, para ello, se debe hacer un riego asfáltico en proporción de 0.15 a 0.30gls/m², el cual se puede hacer con RC-2 o emulsión de rompimiento rápido.

Si la capa estabilizadora va a servir a un tránsito ligero o medio entonces se colocará la capa de rodadura que puede consistir en un doble tratamiento superficial. Si va a servir de apoyo a un pavimento de alta calidad se aconseja que el mismo se construya después de que el cemento haya alcanzado un alto grado de resistencia.

Herramientas o Maquinarias:



Excavadora Empujadoras o `Bulldozer'Traílla Escarificador



Niveladora Rodillo Vibrador



Apisonadora Rodillo Liso

Estabilización con Cloruro de Sodio.-

El principal uso de la sal es como matapolvo en bases y superficies de rodamiento para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.

La sal común es un producto higroscópico; es decir, es capaz de absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, de ahí que sea un efectivo matapolvo al mantener la capa con un alto contenido de humedad.

Se puede utilizar en forma de salmuera o triturada. La dosificación es de 150grs/m² por cada centímetro de espesor de la capa estabilizada contando con un máximo de 8cms.

Para mezclar es más adecuado el uso de rastras con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o

las lluvias, la superficie debe rociarse con 450grs de sal por cada metro cuadrado.

Estabilización con Cloruro de Calcio.-

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, su costo es mayor, pero se prefiere debido al efecto oxidante del cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y reduce el polvo.

Se puede utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I
- En hojuelas o pelotillas o Tipo II

La dosificación es de 7 a 10 libras del tipo I o de 5.6 a 8 libras del Tipo II por tonelada de suelo. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio.

Estabilización o Mejoramiento con Productos Asfálticos.-

El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de la destilación del petróleo. Para eliminarle los solventes volátiles y los aceites y para ser mezclado con material pétreo deberá calentarse a temperaturas que varían de 140 a 160° C, el más común que se emplea en la actualidad es el AC-20. Este tipo de producto tiene la desventaja de que resulta un poco más costoso y que no puede mezclarse con pétreos húmedos.

En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable, en este tipo de productos se encuentra en suspensión con el agua, además se emplea un emulsificante que puede ser el sodio o el cloro, para darle una cierta carga a las partículas y con ello evitar que se unan dentro de la emulsión; cuando se emplea sodio, se tiene lo que se conoce como *emulsión aniónica* con carga negativa y las que tienen cloro son las *emulsiones catiónicas* que presentan una carga positiva, siendo estas últimas las que presentan una mejor resistencia a la humedad que contienen los pétreos.

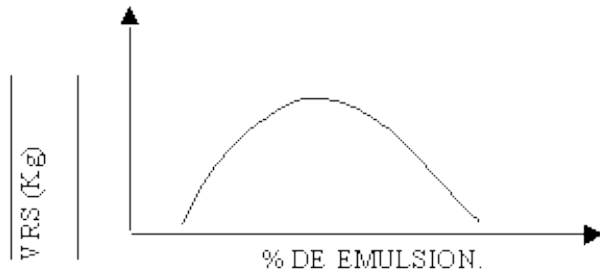
Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. *Una emulsión asfáltica* es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos.

Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava si el material pétreo no es afín con

el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática de 11.340 Kg. (140 Kg/cm²).

Después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60° C, se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35mm registrándose la carga máxima en Kg., se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.



El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No se debe hacer la estabilización cuando hay mucho viento, menos de 5° C o lluvia. También se puede estabilizar con ácido fosfórico y fosfatos; fosfato de calcio (yeso), resinas y polímeros.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de bitumen, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de bitumen utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el bitumen no deben exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.