



1.1. GENERALIDADES.-

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de la meteorología. Estos dos factores, junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que el firme sufra un proceso de progresivo deterioro. Este envejecimiento y deterioro del firme conlleva una disminución paulatina en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación.

Una técnica para la conservación o la rehabilitación del pavimento es el reciclado del pavimento flexible, que se realiza sobre materiales deteriorados que han perdido en gran medida sus propiedades iniciales, aunque en casos muy especiales puede actuarse también sobre materiales en condiciones de servicio para mejorar sus características. El reciclado es, en unos casos, una alternativa al fresado y reposición de firmes, o a la reconstrucción, y en otros, constituye un aprovechamiento de los materiales fresados, que de otra manera irían a vertedero.

El reciclado de pavimento flexible supone en primer lugar un aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra. Los materiales envejecidos pueden ser reutilizados mediante una técnica adecuada de forma que son nuevamente válidos para la construcción del firme. Con este tipo de técnicas, en las operaciones de conservación se puede disminuir mucho la demanda de materiales (áridos, betún, etc.), se elimina la necesidad de encontrar canteras y vertederos próximos a la obra, se mejoran los rendimientos de fabricación.

El reciclado de firmes existentes comprende una serie de técnicas constructivas tendientes al aprovechamiento integral de materiales envejecidos de firmes y pavimentos que desde la crisis energética de los años setenta vienen empleándose cada vez con más profusión en la rehabilitación estructural de los firmes de carretera. En el caso del reciclado realizado in situ se ha producido en la última década un significativo desarrollo en los equipos y en los sistemas constructivos empleados en su ejecución, con máquinas específicas para esa labor, que han permitido a su vez el desarrollo y potenciación de estas técnicas.



1.2. ANTECEDENTES.-

En los últimos años, en un mundo cada vez más contaminado y con un deterioro medio ambiental creciente, la prevención de los recursos naturales se ha convertido en una preocupación general en todos los sectores productivos del mundo.

Ante este reto, la industria de la construcción ha sido pionera en el desarrollo de técnicas para la reutilización de los materiales de desperdicio que genera, en primer lugar, por la gran cantidad de residuos que se desprenden de los procesos constructivos, y en segundo, por lo que la gran mayoría de ellos son reutilizables, tal es el caso de los materiales generados cuando se retira pavimento flexible de las carreteras durante su reparación o rehabilitación.

El reciclado de materiales en la construcción y rehabilitación de carreteras, es un buen camino para disminuir el consumo de materiales nuevos y al mismo tiempo reducir la explotación de las canteras. Al reciclar las capas bituminosas y aprovechar el ligante que contienen, se logra disminuir el consumo de betún.

Las razones para optar por la solución del reciclado son varias. Normalmente se trata de firmes agrietados o fisurados, prácticamente agotados, bien por volumen de tráfico pesado soportado que les ha llevado al final de su vida útil de servicio, o bien por problemas de drenaje y plasticidad de los suelos inferiores que han contaminado las capas del firme que se pretende rehabilitar. El reciclado, como se ha dicho anteriormente, es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del firme que ya han estado en servicio: materiales que han perdido algunas de sus propiedades iniciales por el uso y envejecimiento (cohesión, textura, composición, geometría,...), pero que tienen el potencial de ser reutilizados para integrar nuevas capas de firme. Los procedimientos de construcción y conservación de carreteras consumen fundamentalmente dos tipos de recursos: naturales y energía. Mediante la aplicación de los reciclados, se reduce el consumo de ambos recursos y se disminuyen los vertidos de todos estos materiales, evitando el correspondiente impacto ambiental. Se trata, en definitiva, de que la carretera integre, en la medida de lo posible, las funciones de cantera y vertedero. Es una alternativa, frente a las tradicionales a tener en cuenta, para rehabilitar carreteras que necesiten un incremento de su capacidad soporte y que presenten problemas de deterioro debido a las diferentes acciones producidas por el tráfico, el clima, vida útil escasa etc.



1.3. JUSTIFICACIÓN.-

La mayoría de las técnicas de conservación o rehabilitación de pavimentos asfálticos presentan varios problemas uno de esos es la notable contaminación del medio ambiente debido a que los materiales deteriorados o envejecidos son llevados a vertedero y en reemplazo de esos se utiliza nuevos de cantera lo que provoca un gran impacto ambiental, con el reciclado de pavimento flexible se puede evitar en cierta medida este problema, ya que los materiales asfálticos son reutilizados para mejorar las características y propiedades del firme.

Con el pavimento flexible reciclado se puede realizar la estabilización de capas inferiores del paquete estructural siempre y cuando hayan presentado ciertas fallas estructurales, este proceso puede reducir el espesor de la capa estabilizada y mejorar sus propiedades y características, no solo puede reducir el espesor de esta capa si no también el espesor de la carpeta asfáltica.

Con la reducción del espesor de la capa estabilizada se consigue invertir menos material en esta capa, con lo que se lograría que el material sobrante pueda ser utilizado para otro tramo de carretera que esté considerado para su rehabilitación.

El mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de las carreteras son actividades que se debe tener muy en cuenta para el desarrollo de la sociedad, porque con una carretera en buen estado se consigue menor tiempo de viaje en el transporte de pasajeros y carga lo que provoca en cierta medida el ahorro de combustible, a todo esto el reciclado de pavimento flexible es una técnica muy importante para la rehabilitación de carreteras por que se extrae el pavimento dañado y se reemplaza por uno nuevo además de que la capa inferior a la carpeta asfáltica es estabilizada mejorando sus características y propiedades, con lo que podemos lograr mayor tiempo de vida útil a las carreteras.

Con relación a otras técnicas de rehabilitación de pavimentos el reciclado de pavimento flexible puede llegar a ser más económico por que los materiales son reutilizados y no se necesita de la extracción y transporte de materiales de canteras.



Este trabajo está enfocado en poder obtener mayor conocimiento sobre el mejoramiento de carreteras pavimentadas a través de esta técnica de reciclado de pavimento flexible de manera que se pueda aplicar en nuestro medio con mayor frecuencia para así poder romper los esquemas clásicos de rehabilitación y mejoramiento de carreteras.

Los resultados que se espera es mejorar las características del material de capa base como el CBR, la capacidad portante del material y otros, de manera que con esto se pueda reducir el espesor de la capa de rodadura y así demostrar que esta técnica de mejoramiento de carreteras de pavimento flexible pueda ser viable en nuestro medio.

1.4. OBJETIVOS.-

1.4.1. Objetivo General.-

El objetivo es analizar el reciclado de pavimentos flexibles en su proceso, ejecución y viabilidad en nuestro medio de manera que este proceso pueda incorporarse en el mejoramiento de las características de los materiales de capa base, formando una capa estabilizada.

1.4.2. Objetivos Específicos.-

Realizar una recopilación de información sobre la utilización del reciclado y la utilización en conformación de capas de pavimento.

Descripción de tipos de fallas en carreteras de pavimento flexible.

Descripción de la maquinaria y equipo apto para el reciclado de pavimento flexible.

Ventajas que propone esta técnica para la rehabilitación de carreteras.

Realizar los ensayos de laboratorio previos para el análisis de la estabilización, así como también los ensayos y procedimientos de laboratorio correspondientes a la estabilización de la mezcla.

Comparar los resultados obtenidos de la estabilización de acopio para capa base con los resultados del material estabilizado con material reciclado de capa de rodadura.



1.5. ALCANCE.-

En principio se menciona los problemas que presentan las carreteras de pavimento flexible y a la vez una solución la que podría ser el reciclado de pavimento flexible como material estabilizante para una capa base. Además se describe las ventajas que tiene este método de rehabilitación de carreteras, como la reutilización de materiales, que es importante en nuestro medio. También se menciona las mejoras que se pueden lograr con este método en comparación con otros.

Se establecen los objetivos del estudio tanto generales como específicos ya que estos son importantes para lo que se pretende realizar, porque de estos depende el desarrollo del proyecto.

Por otra parte se describirá la conformación estructural de los pavimentos flexibles, también las características y propiedades de los mismos, así como también las fallas y problemas que se originan en el paquete estructural, los métodos más usuales empíricos y racionales de dimensionamiento de espesores de capas de pavimento.

También se mencionara y se describirá los métodos más comunes de rehabilitación y mejoramiento de pavimentos flexibles, algunas técnicas de mantenimiento de carreteras pavimentadas.

El capítulo de reciclado de pavimentos flexibles es uno de los más importantes ya que uno de los objetivos es obtener mayor conocimiento sobre el reciclado de pavimentos flexibles, es por eso que en este capítulo se describirá el procedimiento para el reciclado de pavimentos tanto en frío como en caliente, además se describirá la maquinaria apta para el reciclado características y funcionamiento.

También este capítulo constara de una parte muy importante que son las ventajas que propone esta técnica para el mejoramiento de carreteras y la viabilidad en nuestro medio.

La aplicación práctica concentra la parte más importante del presente estudio como es la aplicación del reciclado y estabilización del material de capa base, con esto lo que se busca es mejorar las características y propiedades del material deteriorado, además contemplara



todos los ensayos de laboratorio correspondientes para la clasificación y estabilización del material reciclado.

En esta parte también se comparara los resultados obtenidos del análisis de la estabilización del material reciclado con el material de acopio para capa base a ser estabilizado.

Por último se describirá las conclusiones a las que se ha llegado en este estudio donde se ve si se logró conseguir los objetivos planteados y los resultados que esperados, cabe mencionar que es otro de los capítulos más importantes.

Se mencionara si se logró obtener conocimiento sobre esta técnica de rehabilitación de pavimentos, también realizara la comparación de los resultados obtenidos. Y también se determinara si este método es aplicable y viable en nuestro medio.



2.1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.-

2.1.1. Definición de pavimento flexible.-

El pavimento flexible también conocido como pavimento de asfalto es una estructura formada por varias capas como lo son la sub-rasante, la sub base, la base y la carpeta asfáltica; cada una con una función determinada, las cuales en conjunto tienen los siguientes propósitos:

- a) Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito. El pavimento flexible debe estar constituido de manera tal que las cargas, producidas por el tránsito, no provoquen deformaciones de ningún tipo en su estructura, siendo de mucha importancia el espesor que el mismo tenga.
- b) Tener la impermeabilidad necesaria. Este pavimento debe ser lo suficientemente impermeable para impedir la infiltración que puede darse por parte del agua, afectando la capacidad soporte del suelo. De esto se concluye que es de mucha importancia la existencia de un drenaje adecuado.
- c) Resistir la acción destructora de los vehículos. El pavimento debe ser resistente respecto al desgaste y desprendimiento de partículas que se obtiene como consecuencia del paso de los vehículos.
- d) Resistir los agentes atmosféricos. Como un efecto continuo de su presencia, los agentes atmosféricos provocan la meteorización y alteración de los materiales que componen el pavimento, reflejándose este problema, en la vida económica y útil del mismo. Por lo tanto deben procurarse materiales de mayor calidad y resistentes a los agentes físicos y químicos.
- e) Poseer una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y comodidad hacia el tránsito de vehículos. La superficie del pavimento, debe proporcionar un aspecto agradable, seguro y confortable, de manera que el deslizamiento de los vehículos sea óptimo. Esta superficie, que debe ser lisa, también debe ser antideslizante en caso de estar húmeda.
- f) Ser flexible para adaptarse a ciertas fallas de la base o sub-base. La flexibilidad del pavimento es muy importante en caso de presentarse asentamiento en alguna de sus



capas; pudiendo así adaptarse a las pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

2.1.2. Estructura del pavimento flexible.-

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base, las cuales se encuentran conformadas por materiales que deben llenar las especificaciones requeridas. La calidad de estas capas va disminuyendo con la profundidad.

La estructura de pavimento transfiere la carga de tránsito desde la superficie hasta la subrasante. La carga aplicada por una rueda se reduce dentro de la estructura a medida que ésta se reparte en una superficie mayor. El pavimento generalmente está compuesto por varias capas de material, con distintas propiedades de resistencia. Cada capa tiene el objetivo de distribuir la carga que recibe desde la parte superior, a un área mayor en la parte inferior. Las capas ubicadas en la parte superior de la estructura están sujetas a tensiones mayores que aquellas en la parte inferior, y por lo tanto requieren de un material más resistente.

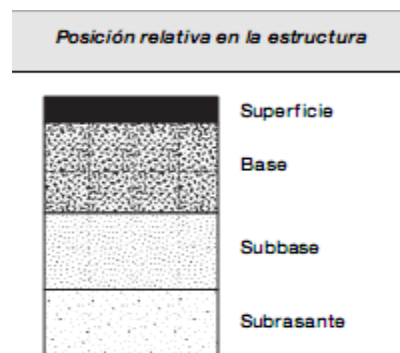


Fig. Estructuración típica de pavimentos flexibles.

2.1.3. Funciones de las distintas capas de pavimento.-

2.1.3.1. Sub-Base.-

La función de la sub base, en un pavimento flexible, es puramente económica, buscando así obtener un espesor utilizando el material más barato posible. Podría construirse dicho espesor con materiales de alta calidad como en el caso de la base, pero usualmente se hace



aquella más delgada y se sustituye en parte por la sub base que es de menor calidad, trayendo como resultado un aumento en el espesor total del pavimento, pues es un hecho que cuando menor es la calidad del material utilizado, mayor será el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Otra función de la sub base es la de servir de transición entre la base y la sub rasante; ya que el material de la base es granular más o menos grueso y el de la sub base es más fino que le anterior, de esta manera sirve como filtro para evitar que el material de la base se incruste en la sub rasante. La sub-base sirve también para absorber las deformaciones que provienen de la subrasante y que pueden ser perjudiciales para el pavimento en general.

Así también son los cambios volumétricos asociados a los cambios de humedad. La sub base sirve también como drenaje para desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terracería.

De las funciones mencionadas anteriormente, la estructural y la económica son las que más se proyectan en la construcción de pavimentos, el resto dependen de las circunstancias y de los materiales con los que se cuente para la sub-base. Generalmente las dos cualidades que se buscan en el material de sub-base son: la resistencia friccionante y la capacidad de drenaje; teniendo cada una, en su razón de ser, la importancia de su preferencia. La resistencia friccionante contribuirá a la resistencia en conjunto del pavimento, garantizando buen comportamiento en cuanto a deformabilidad se refiere, como resultado de una buena compactación. La capacidad de drenaje, igualmente importante, es necesaria debido a la doble función que realiza tanto con el agua que se infiltra de la superficie, como la que asciende por capilaridad.

Los espesores de sub-base, son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 a 15 cm como la dimensión mínima constructiva. Los materiales consistirán en materiales de tipo granular con las siguientes propiedades mínimas: un valor soporte (CBR) del 30% sobre muestra saturada y compactada al 100% del Proctor Modificado u otra compactación que el diseñador especifique; un índice plástico (IP) no mayor de 9 y un límite líquido (LL) no mayor de 40. Los materiales de sub-base deben ser



de fácil compactación para alcanzar la densidad máxima determinada. En el caso de que contengan gravas o rocas, éstas no deben ser mayores de los $2/3$ del espesor de la sub base.

Cuando la compactación de la sub-base resulte difícil por falta de finos, pueden seguirse dos alternativas: se le agregan los finos o, si ésta operación resulta cara en valor y/o trabajo, deben buscarse otros bancos de material que reúnan las especificaciones.

Cuando existan alternativas para el uso de varios bancos, dentro de los límites razonables de acarreo y/o calidad, se escogerá el que disponga de menor porcentaje de material que pase el tamiz 200, que tenga mayor CBR y menor índice plástico (IP).

Es muy importante que los bancos de materiales para sub-base, llenen las especificaciones requeridas y se encuentren libres de materia vegetal, basura o terrones de arcillas y otras materias perjudiciales. Debe tenerse presente y tomar en cuenta que un gran número de fallas en los pavimentos se debe a sub-bases que no llenan las especificaciones requeridas, que han sido mal compactadas o que se han contaminado debido a la falta de un adecuado drenaje o por falta de control de la sub rasante.

2.1.3.2. Base.-

Su función primordial es la de proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub base y sub rasante, en una intensidad adecuada. Esta también reduce el espesor de la carpeta más costosa. Muchas veces la base también debe trabajar como la sub base, respecto a la doble función de drenaje mencionada anteriormente.

Básicamente el material que constituye a la base, en el pavimento flexible, debe ser friccionante y provisto de vacíos.

La primera garantizará la resistencia adecuada y la permanencia de dicha resistencia con la variación de las condiciones que se puedan presentar, como podría ser el contenido de agua. Es lógico que no basta sólo con emplear material friccionante para garantizar la resistencia deseada, es necesaria también una compactación adecuada, necesaria para adquirir la compacidad y trabazón estructural requerida para una buena base. Los materiales utilizados para la base suelen someterse a procesos exigentes para su aprobación como lo es la



trituration, producing favorable effects for the resistance and deformability of the structure to be built, since particles with convenient shapes for a suitable rearrangement are obtained; in addition, other specifications must be met, so it is necessary to sieve the material.

The thicknesses of the bases are very variable according to the project to be treated, but it is usually considered that 12 or 15 centimeters is the minimum thickness that is convenient to build.

The materials of gravel or crushed stone, come from the exploitation of mines, of rock or natural stones. The materials retained in the No. 4 sieve, are added coarse; those that pass the No. 4 sieve, are added fine; and those that pass the No. 200 sieve, form the mineral filler. The filler material must be free of deleterious or talcous substances, possess bonding properties, such that they allow a good compaction and contribute to form a base layer that is well bonded and dense.

The fines, together with the mineral filler, must have a liquid limit less than 25, a plastic index less than 9, and the percentage that passes the No. 200 sieve must be equal to or less than that which passes the No. 40 sieve. In the case that it is necessary to add filler material, to adjust to the graduation requirements or to obtain a satisfactory cohesion of the material, the entire material of the base must be mixed uniformly.

Materials based on sand - clay, are mixtures that, when properly proportioned, have considerable resistance to disintegration, when they have been compacted with the optimum moisture at their maximum density. In these conditions they reach a high support value above 80% CBR. To maintain these characteristics, it is necessary to prime them immediately after construction, although later a surface course will be placed. They are considered very good bases as long as they maintain their characteristics of maximum density and optimum moisture, but they are deficient when they lose moisture beyond reasonable limits, since they disintegrate rapidly and lose in a noticeable way their support value. If they are not properly protected, with good drainage, sub-drainage and a surface course, they give excellent results and their construction is economical.



Lo óptimo a requerir de estos materiales es que si son arenas, sean duras, angulosas y preferiblemente silíceas; si son arcillas, deberán ser de calidad uniforme y estar libres de terrones, materias vegetales y sustancias dañinas.

La fracción que pasa por el tamiz No. 200, será menor del 50% de la fracción que pasa el tamiz No. 40. Además de los requisitos anteriores, la base terminada debe tener un valor soporte arriba del 80%, un límite líquido no mayor de 25 y un índice plástico igual o menor de 9.

En resumen, la base debe proporcionar una superficie de rodadura adecuada, con textura y color conveniente, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito. Es muy importante mencionar que esta capa debe impedir, hasta donde sea posible, la infiltración del agua al interior del pavimento.

2.1.3.3. Superficie o Capa de Rodadura.-

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

La capa de rodadura también contribuye a aumentar la capacidad de soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros).

2.2. FACTORES QUE AFECTAN Y CAUSAN DETERIORO A LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.-

En el mundo, los caminos se construyen bajo cualquier condición ambiental: desde climas desérticos con altas temperaturas a regiones altamente lluviosas tipo tundra glacial. Sin importar la condición ambiental, todos los proyectos de caminos se diseñan con el mismo objetivo de resistir las cargas de tráfico, utilizando el principio mecanicista de transferencia de carga (generada en la superficie) hacia las capas inferiores de la estructura, de tal forma que la subrasante pueda resistir el tránsito sin sufrir deformaciones. Las condiciones ambientales, y las cargas de tráfico proyectadas, son los dos principios fundamentales que definen los requerimientos estructurales en cualquier tipo de pavimento.



2.2.1. Condiciones Ambientales.-

Las condiciones ambientales afectan a los caminos básicamente en 2 formas:

2.2.1.1. La Superficie.-

Además del tráfico, las superficies de los caminos están expuestas al sol, viento, lluvia, nieve, y otros elementos naturales. La importancia de estos fenómenos naturales son las consecuencias que producen en las propiedades de ingeniería de la superficie del camino. Estos efectos se manifiestan principalmente en:

- Efectos térmicos que causan los cambios de volumen, producto de la expansión y contracción de materiales por cambios de temperatura. El rango de temperatura diaria que experimenta la superficie del camino es importante. En áreas desérticas, la superficie de un camino de pavimento flexible (negro) puede experimentar un rango de temperaturas de 50°C entre las primeras horas de la mañana y el mediodía. Por otro lado, las superficies de caminos que se ubican dentro del Círculo Ártico permanecen enterradas bajo la nieve en el invierno, manteniendo una temperatura relativamente constante.
- Efectos de congelamiento, que producen el fenómeno llamado hinchamiento. Ciclos repetitivos de hielo y deshielo causan un mayor daño a las superficies de los caminos.
- Efectos de la radiación producen sobre la superficie de los pavimentos lo comúnmente denominado como “insolación”. La radiación ultravioleta aplicada sobre la superficie del pavimento produce la oxidación del asfalto, volviéndolo frágil. Este proceso se conoce como “envejecimiento”.

2.2.1.2. La estructura de pavimento.-

El agua es el principal enemigo de las estructuras de caminos. La saturación con agua hace que los materiales se vuelvan deformables y proporciona una lubricación entre las partículas, al mismo tiempo que las cargas de tráfico son aplicadas. La capacidad de soporte del material en condición seca es siempre mayor que en estado húmedo, y mientras más cohesivo (o arcilloso) sea el material, mayor es la susceptibilidad a la humedad. Además, si el agua presente en la estructura alcanza su punto de congelamiento, se produce una



expansión en volumen de la misma, lo que genera daño considerable. Por lo tanto, la importancia de prevenir el ingreso del agua a la estructura de pavimento, especialmente en los materiales de más baja calidad de las capas inferiores es fundamental.

2.2.2. Cargas de Tráfico.-

El objetivo final de los caminos es permitir el tráfico vehicular. El volumen y tipo de tráfico esperado en un camino determinan los requerimientos geométricos y estructurales de pavimentos. Los ingenieros de transporte trabajan con estadísticas de tráfico proyectados (en términos de: números de vehículos, composición vehicular, y tamaño de los mismos) con el fin de determinar los requerimientos geométricos (alineación, número de pistas, etc.). Los ingenieros de pavimentos necesitan las estadísticas de tráfico proyectado (en términos de: número de vehículos, composición vehicular, y cargas por eje) para determinar los requerimientos estructurales del camino. Por lo tanto, la estimación acertada del tráfico proyectado, tanto en volumen como en tipo de vehículos, es de gran importancia.

Desde el punto de vista del diseño de pavimentos, las características más importantes del tráfico son aquellas que permiten definir la magnitud y frecuencia de las cargas de superficie que el camino puede anticipar durante la vida estimada del pavimento. La carga que es aplicada sobre la superficie del pavimento por la rueda se define por 3 factores:

- La fuerza (en Kilo Newtons, KN) que realmente lleva la rueda. Esta fuerza actúa en conjunto con
- La presión de inflado (en Kilo Pascales, kPa) que determina la “impronta” de la rueda sobre la superficie. Esta impronta define el área de contacto entre el neumático y la superficie. Este es un factor que además depende de la carga, y
- La velocidad de viaje. Esta velocidad define el tiempo en que la superficie del pavimento es cargada y descargada.

Las presiones de inflado de los automóviles de pasajeros típicamente se encuentra en el rango de 180 a 250 kPa, y llevan una carga menor a 3,6 kN por neumático, o 7 kN en un eje. Esta carga es insignificante si se compara con un camión utilizado para el transporte de cargas pesadas, cuyo rango puede variar entre 80 a 130 kN por eje (dependiendo de los límites legales y control de pesos) con presiones de inflado entre 500 a 900 kPa.



Claramente la carga de estos vehículos pesados tendrá un efecto mucho más grande en los requerimientos de resistencia de un pavimento.

2.3. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS.-

2.3.1. Introducción.-

En el pasado, los pavimentos eran mantenidos pero no administrados. La experiencia de los ingenieros en pavimentos, tendían a dictar la selección de las técnicas de Mantenimiento y Rehabilitación (M&R), con poca consideración al costo-ciclo de vida o realizaban la comparación con requerimientos de otros pavimentos en la red vial. En la actual economía, en una infraestructura con pavimento antiguo, un mayor acceso sistemático es necesario para determinar las necesidades y las prioridades del M&R. Las redes del pavimento deben ahora ser administradas, no simplemente mantenidas.

Un Sistema de Administración de Pavimentos (Pavement Management System, PMS), consiste en un método para seleccionar las necesidades de Mantenimiento y Rehabilitación y determinar las prioridades y el tiempo óptimo para repararlo por predicción futura de la condición del pavimento.

CLASIFICACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO

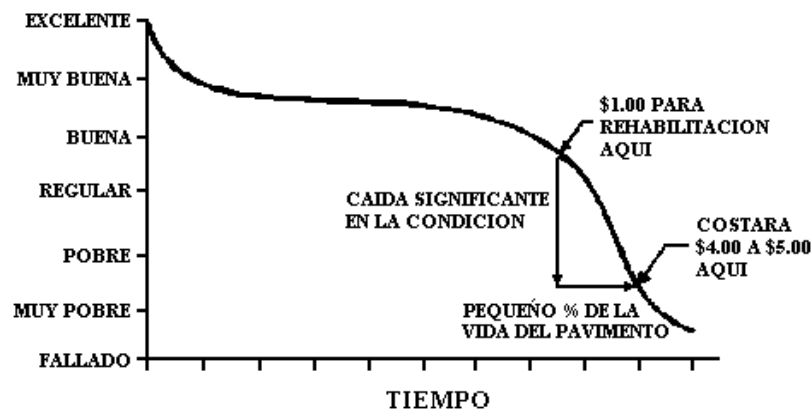


Figura. Ilustración Conceptual del Ciclo de Vida de la Condición del Pavimento
Fuente: Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, M. Y. Shahin, 1994



Las consecuencias del tiempo de un pobre mantenimiento están ilustradas en la Figura. Si el M&R es ejecutado durante las primeras fases de deterioración, antes de un marcado declive en la condición del pavimento, por encima del 50% de los costos de la reparación puede evitarse, además también pueden evitarse períodos largos de cierre del tráfico y desvíos. Un PMS es una valiosa herramienta que alerta al administrador del pavimento del punto crítico por el ciclo de vida de un pavimento.

En un Sistema de Administración de Pavimentos, lo primero que se debe definir es la red de Pavimento que se desea evaluar. Una vez que la red o redes estén identificadas se deben definir los “Tramos y Secciones”. Un Tramo está dividido en una o más secciones uniformes para ejecutar las funciones de administración. Las Secciones se clasifican de acuerdo a su localización geográfica dentro de la red o de acuerdo a cualquier otro factor que se considere pertinente.

2.3.1.1. Tramo.-

Un Tramo es una parte fácilmente identificable de la red de Pavimento y cada tramo tiene características distintas. Por ejemplo, una calle individual o un lote de parqueo podría considerarse como un tramo separado dentro la red vial.

Cada tramo puede identificarse de dos maneras: (1) por descripción alfanumérica denominada “nombre del tramo” y (2) por un código alfanumérico llamado “número del tramo”. Los nombres de las calles son usados típicamente como nombres de tramo.

El número del tramo es un código único que es usado para ayudar a guardar y recuperar los datos de la base de datos. En la selección el código, la revisión de códigos existentes en la agencia es recomendada para asegurar la compatibilidad. También, algunos informes pueden listar el número del tramo y no el nombre del tramo. Por esta razón, abreviando el nombre del tramo como un número del tramo puede hacer el informe más fácil de leer. Por ejemplo, el nombre del tramo “Calle Verde” podría darse el número del tramo “VERDE”; semejantemente pista de aterrizaje 12-30 se daría el número “R1230”.



2.3.1.2. Sección.-

Porque los tramos son típicamente unidades grandes en la red de pavimento, esto hace que no siempre tengan las mismas características a lo largo de toda su área o longitud. Por esta razón es que los tramos son divididos en pequeños componentes denominadas “Secciones” para propósitos evaluativos. Una sección puede ser vista como una pequeña unidad administrativa cuando se considere la aplicación y la selección del tratamiento de Mantenimiento y Rehabilitación. Los factores que se consideran cuando se divide un tramo en secciones son: estructura del pavimento, tráfico, historia constructiva, categoría del pavimento (o clasificación funcional), facilidad de drenaje y hombreras, y su condición.

2.4.FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.-

Antes que nada definiremos como falla, a las condiciones que se presentan en un pavimento, cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado.

2.4.1. Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking).-

Descripción:

Es una serie de grietas interconectada causada por fallas de fatiga de una superficie de concreto asfáltico bajo repetidas cargas de tráfico. El agrietamiento comienza en la superficie asfáltica, donde el esfuerzo de tensión es el más alto bajo la acción de la carga de una rueda. Inicialmente las grietas se propagan a la superficie en una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de un repetitivo tráfico de cargas, las grietas se conectan, formando piezas de ángulo recto que desarrollan la apariencia de piel de cocodrilo. Estas piezas son generalmente < 2 pies (0.6 m) en la cara más ancha.

Las grietas de piel de cocodrilo ocurren solo en áreas que están sujetas a cargas repetitivas, según la ruta de las ruedas. Por tanto, esto no puede ocurrir sobre el área entera a menos que el área entera esté sujeta a un tráfico de cargas repetitivas. (Cuando ocurre sobre toda el área, que no está sujeta a cargas repetitivas, se llama “agrietamiento en bloque”, la cual no está asociada a una anomalía a causa de cargas).

La piel de cocodrilo, es la más usual de las anomalías estructurales y usualmente están acompañadas de un “ruteo” (rutting).

Nivel de Severidad:

L – Fino, son líneas como pelos de cabello que corren paralelas, algunas conectadas, otras no.



M – Adicionalmente se han desarrollado grietas suaves de piel de cocodrilo dentro del área.

H – El área de agrietamiento presenta piezas bien definidas, y puede presentar desprendimientos de material por el tráfico.

Como Medir:

Se mide en unidades de área (pies^2 o m^2). La mayor dificultad es que 2 o los 3 tipos de niveles de severidad pueden presentarse en una misma área. Si estas porciones pueden ser fácilmente distinguibles unas de otras, estos pueden ser medidos separadamente, caso contrario, se toma toda el área y se coloca en el nivel de mayor influencia.

Opciones de Reparación:

L – No haga nada; Sello Superficial; Recubrimiento.

M – Parchado parcial o completo; Recubrimiento; Reconstrucción.

H – Parchado parcial o completo; Recubrimiento; Reconstrucción.

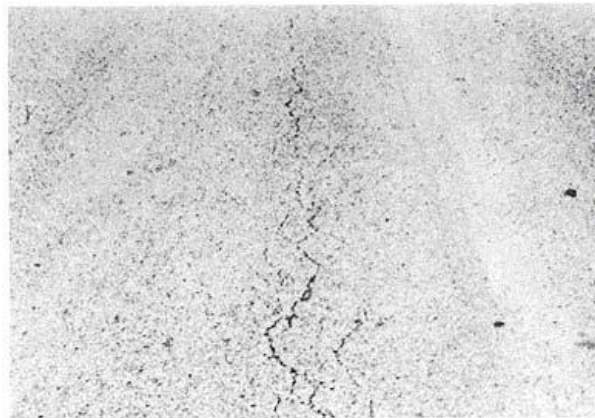


Figura B-1.a. Piel de Cocodrilo Baja-severidad.

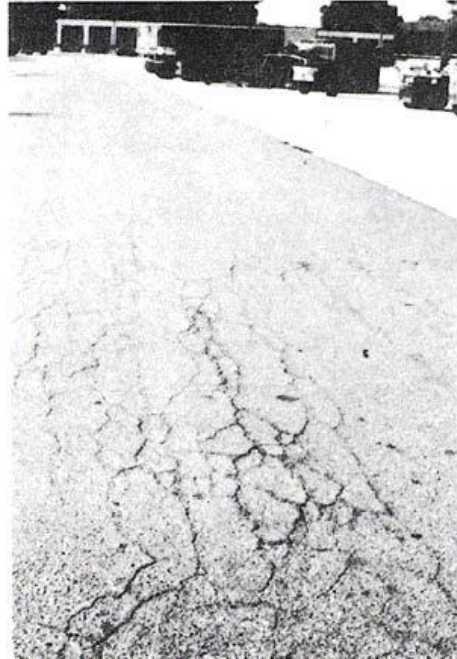


Figura B-1.b. Piel de Cocodrilo Media-severidad.

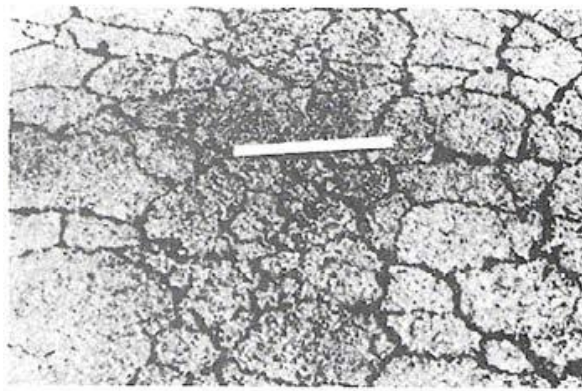


Figura B-1.c. Piel de Cocodrilo Alta-severidad.



2.4.2. Exudación o Sangrado (Bleeding).-

Descripción:

Es una película de material bituminoso sobre la superficie de pavimento, que crea un reflejo brillante superficial que usualmente llega a ser bastante pegajoso. Es causada por exceso de cemento asfáltico o alquitrán en la mezcla; exceso de aplicación en la imprimación bituminosa o bajo contenido de vacíos de aire. Esto ocurre cuando el asfalto llena los vacíos durante la mezcla en caliente y entonces este se expande sobre la superficie del pavimento.

Debido a que este proceso de “Sangrado” no es reversible en clima frío, el asfalto o alquitrán se acumulará sobre la superficie.

Nivel de Severidad:

L – Sangrado muy suave y solo perceptible durante algunos días del año. El asfalto no se pega a los calzados o vehículos.

M – Sangrado ocurre con frecuencia, y el asfalto se pega a los calzados y vehículos durante unas pocas semanas al año.

H – Sangrado frecuente y considerable, el asfalto se pega a los calzados y vehículos durante al menos varias semanas al año.

Como Medir:

Se mide en unidades de área (pies^2 o m^2). Si el “Sangrado” es registrado, el “pulido de agregados” no será registrado cuando se presenten ambos casos.

Opciones de Reparación:

L – No haga nada.

M – Aplique arena / agregado y rodillo

H – Aplique arena / agregado y rodillo



Figura B-2.a. Exudación o Sangrado Baja-severidad.



Figura B-2.b. Exudación o Sangrado Media-severidad.



Figura B-2.c. Exudación o Sangrado Alta-severidad.



2.4.3. Agrietamiento en bloque (Block Cracking)

Descripción:

Las “grietas en bloque”, son grietas interconectadas que dividen el pavimento en piezas rectangulares aproximadamente. Los bloques tienen un rango de tamaño aproximado que van de 1 pies por 1 pies (0.30 m por 0.30 m) a 10 pies por 10 pies (3 m por 3 m). Es causada principalmente por contracción del concreto asfáltico y por acción del ciclo diario de temperaturas (tensión-contracción). Esta no es asociada a cargas. Esta anomalía usualmente indica que el asfalto es significativamente más duro. Además, generalmente ocurre sobre todo al ancho de la porción de pavimento, pero a veces también ocurre solo en áreas sin tráfico.

Nivel de Severidad:

L – Bloques son definidos por grietas de severidad baja.

M – Bloques son definidos por grietas de severidad media.

H – Bloques son definidos por grietas de severidad alta.

Como Medir:

Se mide en unidades de área (pies² o m²). Generalmente ocurre un solo nivel de severidad por área, pero algunas áreas tienen distintos niveles de severidad en cuyo caso se deberán registrar separadamente.

Opciones de Reparación:

L – Sellar grietas sobre 1/8 pulgadas (3.2 mm); Sello Superficial

M – Sellar grietas; Reciclar superficie; Escarificar en caliente y recubrir

H – Sellar grietas; Reciclar superficie; Escarificar en caliente y recubrir

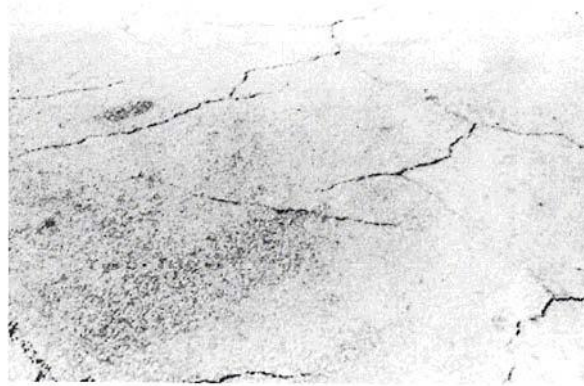


Figura B-3.a. Agrietamiento en bloque Baja-severidad.



Figura B-3.b. Agrietamiento en bloque Media-severidad.



Figura B-3.c. Agrietamiento en bloque Alta-severidad.



2.4.4. Bombeo y Hundimiento (Bumps and Sags).-

Descripción:

Los “Bombeos” son desplazamientos pequeños y localizados hacia arriba de la superficie pavimentada. Estos son diferentes de la anomalía de “empellones” que son causadas por inestabilidad del pavimento. Los “bombeos” pueden ser causados por diferentes factores, como ser:

1. Abolladuras o abultamientos en losas de Concreto de Cemento Portland (PCC) en pavimentos de concreto asfáltico sobre concreto de cemento Portland PCC.
2. Esfuerzos por escarchado (aumento gradual de hielo).
3. Infiltración y reconstitución del material en una grieta en combinación con las cargas de tráfico.

Los “Hundimientos” son desplazamientos pequeños y abruptos hacia abajo de la superficie pavimentada. Distorsiones y desplazamientos que ocurren a lo ancho del área de la superficie pavimentada causan depresiones anchas y/o largas en el pavimento, que son también llamadas “protuberancias”.

Nivel de Severidad:

L – Bombeo o hundimiento causa severidad baja en el “ride quality”.

M – Bombeo o hundimiento causa severidad media en el “ride quality”.

H – Bombeo o hundimiento causa severidad alta en el “ride quality”.

Ride quality: percepción de la calidad de pavimento del conductor de un vehículo cuando pasa sobre ésta anomalía.

Como Medir:

Se mide en unidades de longitud (pies o m). Si el bombeo aparece en una región perpendicular al flujo de tráfico y están espaciadas en menos de 10 pies (3 m), esta anomalía se llama “corrugación”. Si el bombeo ocurre en combinación con una grieta, la grieta es también registrada.

Opciones de Reparación:

L – No haga nada.

M – Molido en frío (Cold mill); Parchado longitudinal superficial, parcial o totalmente.

H – Molido en frío (Cold mill); Parchado profundo superficial, parcial o totalmente; Recubrir.

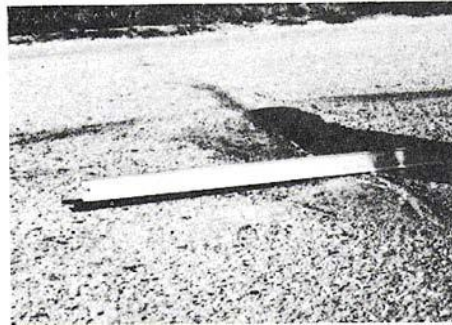


Figura B-4.a. Bombeo y Hundimiento Baja-severidad.

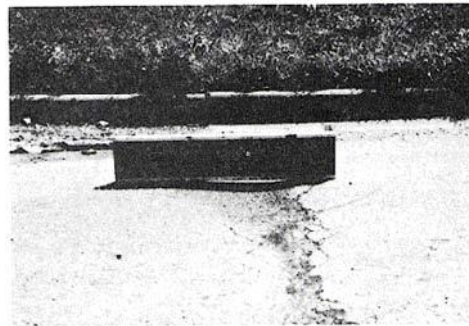


Figura B-4.b. Bombeo y Hundimiento Media-severidad.

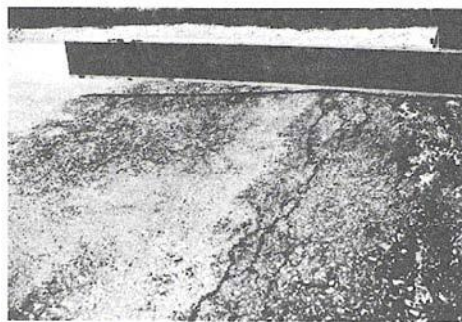


Figura B-4.c. Bombeo y Hundimiento Alta-severidad.



2.4.5. Corrugación (Corrugation).-

Descripción:

La “Corrugación” (también conocida como “tabla de lavado”) es una serie de lomos espaciados (ondas), que ocurren a intervalos regulares, usualmente menores a 10 pies (3 m) a lo largo del pavimento. Estos lomos son perpendiculares a la dirección del tráfico. Este tipo de anomalía es causada por la acción del tráfico combinada con una superficie o base de pavimento inestable. Si los bombeos ocurren a una serie menor a 10 pies (3 m), la anomalía es considerada como “corrugación”.

Nivel de Severidad:

- L – Corrugación produce severidad baja en el “ride quality”.
- M – Corrugación produce severidad media en el “ride quality”.
- H – Corrugación produce severidad alta en el “ride quality”.

Ride quality: Percepción de la calidad de pavimento del conductor de un vehículo cuando pasa sobre ésta anomalía.

Como Medir:

La corrugación es medida en unidades de área (pies² o m²).

Opciones de Reparación:

- L – No haga nada.
- M – Reconstrucción.
- H – Reconstrucción.

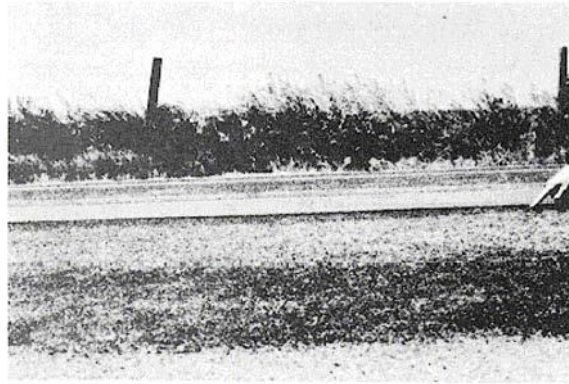


Figura B-5.a. Corrugación Baja-severidad.

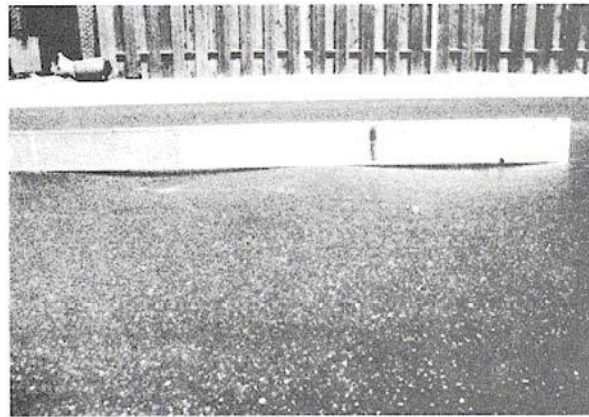


Figura B-5.b. Corrugación Media-severidad.

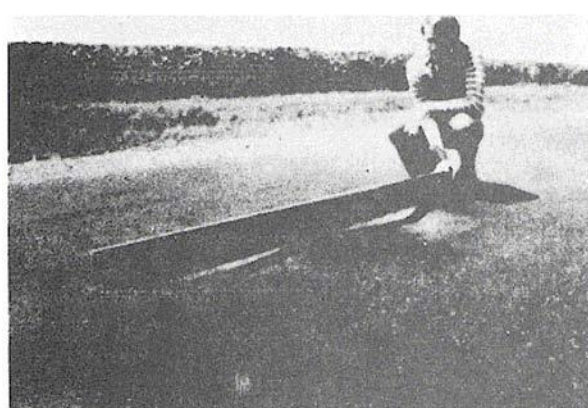


Figura B-5.c. Corrugación Alta-severidad.



2.4.6. Depresiones (Depression).-

Descripción:

Las “Depresiones” son áreas de superficie de pavimentos localizadas con elevaciones ligeramente más bajas. En muchos casos, las depresiones ligeras no son notorias hasta después de una lluvia, cuando el agua estancada crea áreas con “charcos”; sobre el pavimento seco, las depresiones pueden ser reconocidas, buscando manchas causadas por el agua estancada.

Las depresiones son creadas por asentamientos del suelo de fundación o son resultado de errores en la construcción. Las depresiones causan algo de rugosidad y cuando son bastante profundas o se llenan de agua, pueden causar resbalones.

Los “hundimientos” son distintos a las depresiones ya que son caídas abruptas en la elevación.

Nivel de Severidad:

En la máxima profundidad de la depresión:

L – ½ a 1 pulgadas (13 a 25 mm)

M – 1 a 2 pulgadas (25 a 51 mm)

H – > 2 pulgadas (mas de 51 mm)

Como Medir:

Las depresiones son medidas en unidades de área (pies² o m²).

Opciones de Reparación:

L – No haga nada.

M – Parchado profundo superficial, parcial o total.

H – Parchado profundo superficial, parcial o total.

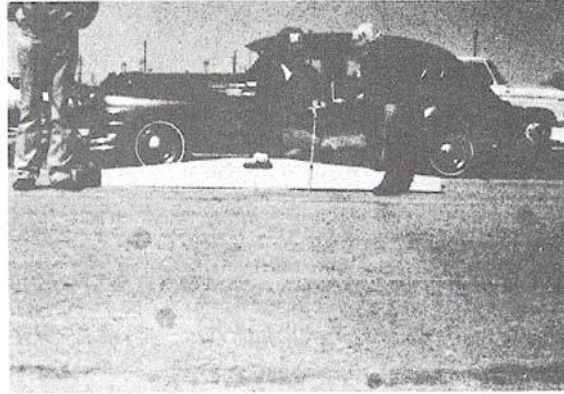


Figura B-6.a. Depresiones Baja-severidad.

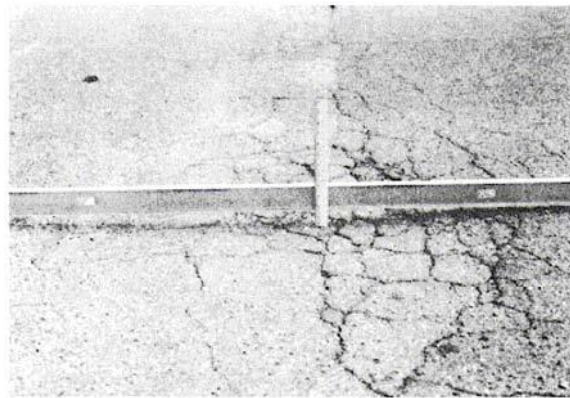


Figura B-6.b. Depresiones Media-severidad.

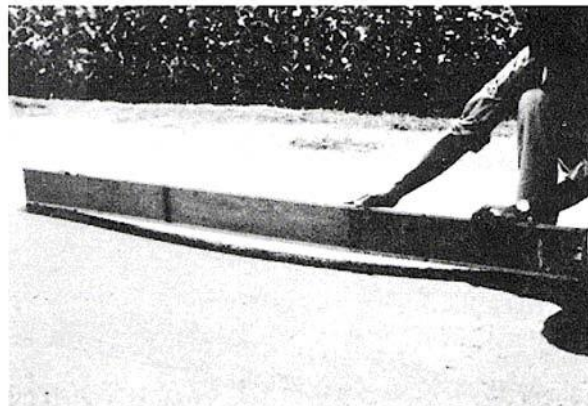


Figura B-6.c. Depresiones Alta-severidad.



2.4.7. Agrietamiento de Borde (Edge Cracking).-

Descripción:

Las grietas de borde son paralelas al borde del pavimento en 1 a 2 pies (0.3 m a 0.6 m). Esta anomalía es acelerada por las cargas de tráfico y pueden ser a causa del escarchado, debilitamiento de la base o sub-base cerca del borde del pavimento.

El área entre la grieta y el borde del pavimento es clasificada como desmembrada si es que ésta se ha roto (a veces toda la pieza se ha removido de su lugar).

Nivel de Severidad:

- L – Grietas leves o medias con ningún desmembramiento.
- M – Grietas medias con algunos desmembramientos.
- H – Considerables desmembramientos a lo largo del borde.

Como Medir:

Los agrietamientos de borde se miden en unidades de longitud (pies o m).

Opciones de Reparación:

- L – No haga nada; Sellar las grietas mayores a 1/8 pulgadas (3 mm).
- M – Sellado de grietas; Parchado profundo parcial.
- H – Parchado profundo parcial.



Figura B-7.a. Agrietamiento de Borde Baja-severidad.



Figura B-7.b. Agrietamiento de Borde Media-severidad.



Figura B-7.c. Agrietamiento de Borde Alta-severidad.



**2.4.8. Agrietamiento Reflejo de Juntas (de las losas de concreto longitudinal y transversalmente)
Joint Reflection Cracking (from longitudinal and transverse PCC slabs).-**

Descripción:

Ocurre solo en asfaltos que fueron construidos sobre losas de concreto de cemento. Esto no incluye a grietas de reflexión de ningún otro tipo de base (por ejemplo, cemento o limo estabilizado); estas grietas son causadas principalmente por movimientos térmicos o por inducción de humedad de las losas de concreto que están debajo de la superficie asfáltica. Esta anomalía no tiene relación con la carga, sin embargo, las cargas de tráfico pueden causar roturas de la superficie asfáltica cercanas a las “grietas de reflexión”. Conocer las dimensiones de las losas, puede ayudar a identificar esta anomalía.

Nivel de Severidad:

L – Una de las siguientes condiciones existe:

1. Grietas no llenas cuyo ancho es $< 1/8$ pulgadas (10 mm) , o
2. Grietas llenas, de cualquier ancho (condición satisfactoria)

M – Una de las siguientes condiciones existe:

1. Grietas no llenas cuyo ancho de $3/8$ pulgadas a 3 pulgadas (10 a 76 mm).
2. Grietas no llenas, de un ancho encima de 3 pulgadas (76 mm), rodeadas por suaves grietas aleatorias.
3. Grietas llenas, de cualquier ancho rodeadas de suaves grietas aleatorias.

H – Una de las siguientes condiciones existe:

1. Cualquier grieta llena o no, rodeada por agrietamientos aleatorios de severidad media o alta.
2. Grietas no llenas, de un ancho encima de 3 pulgadas (76 mm).
3. Una grieta de cualquier ancho donde existan agrietamientos alrededor de la misma que estén severamente quebradas.

Como Medir:

Se miden en unidades de longitud (pies o m). La longitud y el nivel de severidad de cada grieta serán registradas separadamente. Si un “bombeo” ocurre en una “grieta de reflexión”, este debe ser también registrado.



Opciones de Reparación:

- L – Sellado de grietas mayores a 1/8 pulgadas (3 mm)
- M – Sellado de grietas; Parchado profundo parcial
- H – Parchado profundo parcial; Reconstrucción de Juntas



Figura B-8.a. Agrietamiento Reflejo de Juntas Baja-severidad.



Figura B-8.b. Agrietamiento Reflejo de Juntas Media-severidad.

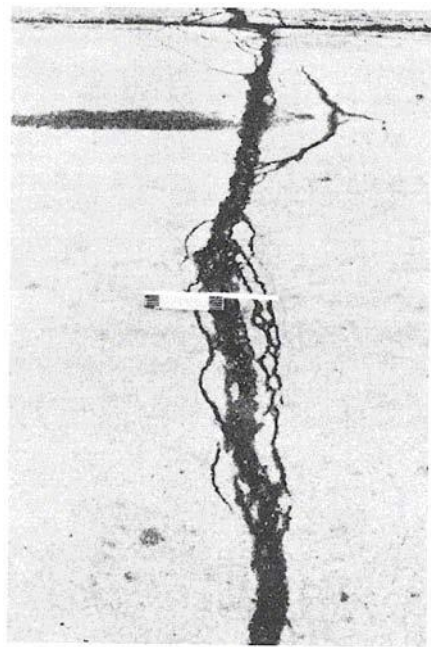


Figura B-8.c. Agrietamiento Reflejo de Juntas Alta-severidad.



2.4.9. Caída Externa de Vía / Hombarrera (Lane/Shoulder Drop-Off).-

Descripción:

Es la diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la hombarrera.

Esta anomalía es causada por erosión de la hombarrera, asentamiento de la hombarrera o por construcción del camino sin ajuste del nivel de hombarrera.

Nivel de Severidad:

L – La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la hombarrera, es 1-2 pulgadas (25-51 mm).

M – La diferencia en elevación está entre 2 y 4 pulgadas (51-102 mm).

H – La diferencia en elevación es > 4 pulgadas (> 102 mm).

Como Medir:

Esta anomalía se mide en unidades de longitud lineal (pies o m).

Opciones de Reparación:

L, M, H – Rellenar las hombarreras hasta emparejar con el borde del pavimento

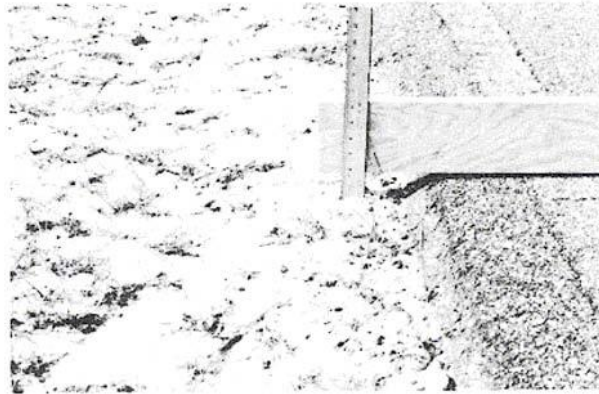


Figura B-9.a. Caída Externa de Vía / Hombreira Baja-severidad.

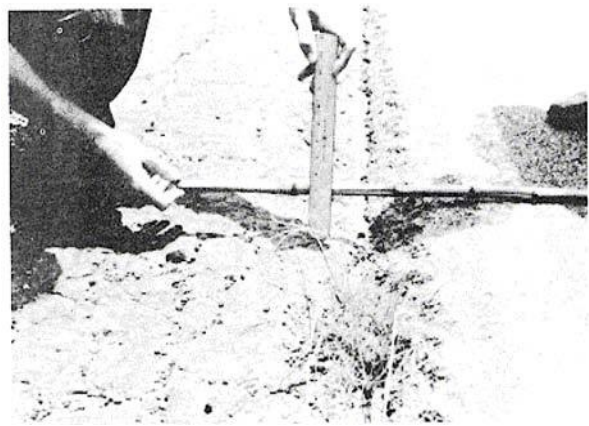


Figura B-9.b. Caída Externa de Vía / Hombreira Media-severidad.

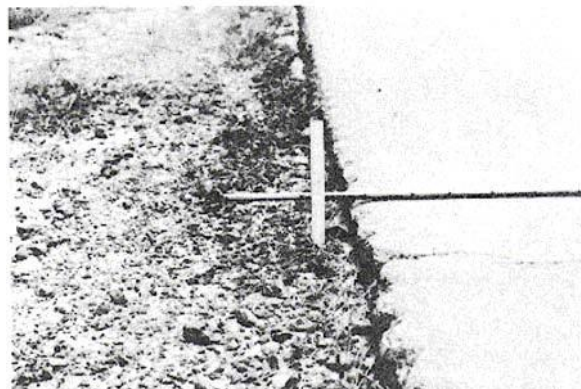


Figura B-9.c. Caída Externa de Vía / Hombreira Alta-severidad.



2.4.10. Agrietamiento Longitudinal y Transversal (No juntas reflejadas de concreto)
Longitudinal and Transverse Cracking (Non PCC Slab Joint Reflective)

Descripción:

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o la dirección del movimiento vehicular. Es causada por:

1. Una mala construcción en las líneas de junta.
2. Contracción de la superficie asfáltica debido a bajas temperaturas o dureza del asfalto y/o ciclos diarios de temperatura (diferencias de temperatura muy elevadas).
3. Grietas reflectivas causadas por agrietamiento debajo de la superficie, incluyendo grietas en las losas de concreto de cemento Portland (pero no en las juntas de las mismas).

Las grietas transversales cruzan al eje del pavimento en ángulos rectos aproximadamente. Este tipo de grietas no son usualmente asociadas a las cargas de tráfico.

Nivel de Severidad:

L – Una de las siguientes condiciones existe:

1. Grietas no llenas cuyo ancho es $< 1/8$ pulgadas (10 mm) , o
2. Grietas llenas, de cualquier ancho (condición satisfactoria)

M – Una de las siguientes condiciones existe:

1. Grietas no llenas cuyo ancho de $3/8$ pulgadas a 3 pulgadas (10 a 76 mm).
2. Grietas no llenas, de un ancho encima de 3 pulgadas (76 mm), rodeadas por grietas aleatorias ligeras.
3. Grietas llenas, de cualquier ancho rodeadas de grietas aleatorias ligeras.

H – Una de las siguientes condiciones existe:

1. Cualquier grieta llena o no, rodeada por agrietamientos aleatorios de severidad media o alta.
2. Grietas no llenas, de un ancho encima de 3 pulgadas (76 mm).
3. Una grieta de cualquier ancho donde existan agrietamientos alrededor de la misma que estén severamente quebradas.



Como Medir:

Se miden en unidades de longitud (pies o m). Si un “bombeo” o un “hundimiento” ocurre en una grieta, este debe ser también registrado.

Opciones de Reparación:

- L – No haga nada; Sellado de grietas mayores a 1/8 pulgadas (3 mm)
- M – Sellado de grietas
- H – Sellado de grietas; Parchado profundo parcial

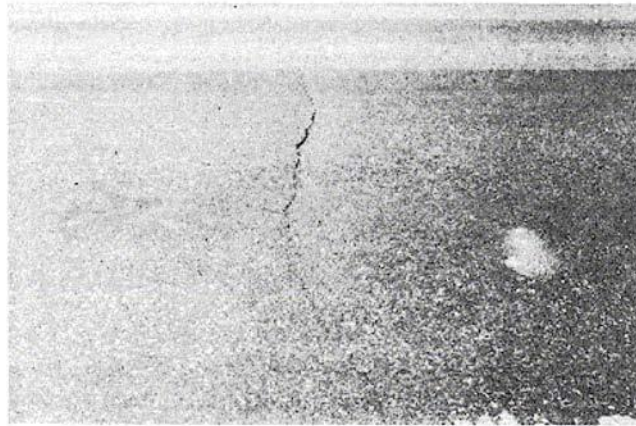


Figura B-10.a. Agrietamiento Longitudinal y transversal Baja-severidad.



Figura B-10.b. Agrietamiento Longitudinal y transversal Media-severidad.

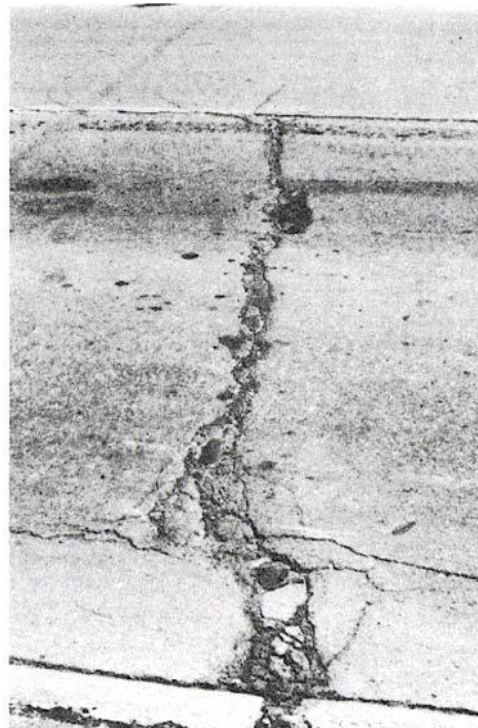


Figura B-10.c. Agrietamiento Longitudinal y transversal Alta-severidad.



2.4.11. Parchados (Patching and Utility Cut Patching).-

Descripción:

Un parchado es un área de pavimento que fue reemplazado con un nuevo material para reparar el pavimento existente.

Un parchado es considerado un defecto no tanto del material como del buen trabajo ejecutado. Generalmente, algunas rugosidades son asociadas con esta anomalía.

Nivel de Severidad:

- L – Parchado está en buenas condiciones
- M – Parchado está moderadamente deteriorado
- H – Parchado está muy mal, muy deteriorado. Necesita reemplazo pronto.

Como Medir:

Los parchados se miden en unidades de área (pies² o m²). Un área de parchado puede tener diferentes niveles de severidad, estas áreas se miden por separado. Otras anomalías no son registradas en el parchado; de esta manera, si existiera agrietamiento o empellones, el área es registrada solo como parchado. Si la cantidad de pavimento a ser reemplazada es mucha, esta no se registrará como un parchado, pero se considera como un nuevo pavimento.

Opciones de Reparación:

- L – No haga nada.
- M – No haga nada; Reemplazar el parchado.
- H – Reemplazar el parchado.

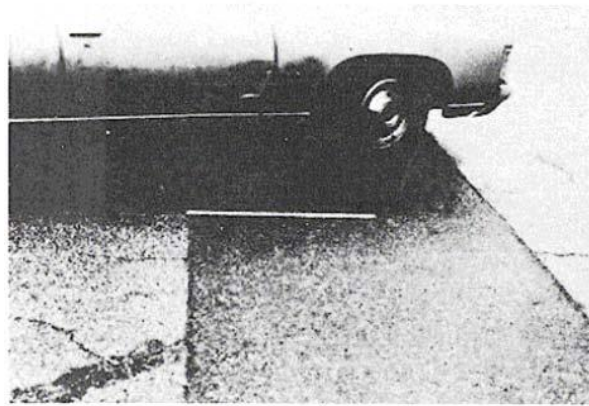


Figura B-11.a. Parchados Baja-severidad.



Figura B-11.b. Parchados Media-severidad.



Figura B-11.c. Parchados Alta-severidad.



2.4.12. Agregados Pulidos (Polished Aggregate).-

Descripción:

Esta anomalía es causada por aplicación repetitiva de tráfico. Cuando el agregado en la superficie llega a ser liso al contacto con la mano, la adherencia con las llantas de los vehículos se reduce considerablemente.

Nivel de Severidad:

El grado de severidad no está definido. Sin embargo, si el grado de pulido es significativo será incluido en la evaluación de condiciones como un defecto.

Como Medir:

Se miden en unidades de área (pies^2 o m^2). Si el “sangrado o exudación” es registrado, el pulido de agregados no debe ser registrado.

Opciones de Reparación:

L, M, H – No haga nada; Tratamiento Superficial; Recubrimiento; Moler y recubrir (Mill and Overlay).

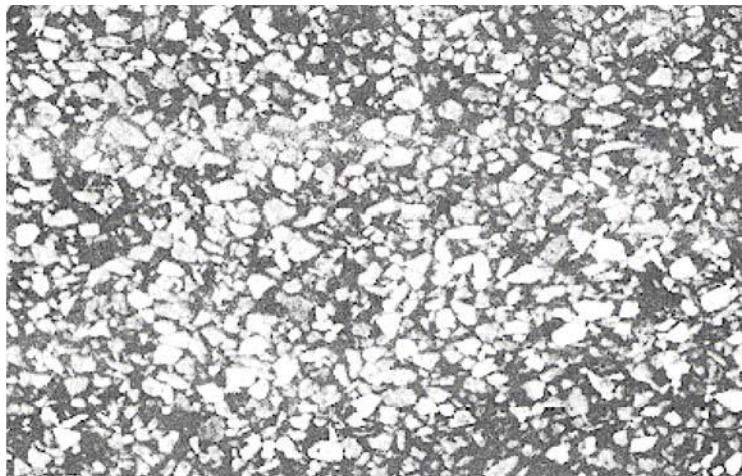


Figura B-12. Agregados Pulidos.



2.4.13. Baches (Potholes).-

Descripción:

Los baches son pequeños (usualmente < 3 pies (0,9 m) de diámetro); son depresiones en forma de cuenco. Estos generalmente tienen bordes cortados y laderas verticales cerca de la cima del hoyo. Su crecimiento es acelerado por la humedad libre que se colecta dentro del hoyo. Los bache son producidos por abrasión del tráfico; el pavimento va perdiendo pequeñas piezas por esta acción, entonces el pavimento continúa desintegrándose debido a una pobre mezcla superficial, lugares débiles en la base o sub-base, o porque no se reacondicionó la anomalía “piel de Cocodrilo” de alta severidad. Los baches son relacionados muy frecuentemente con anomalías estructurales y no deben ser confundidas con intemperismos.

Nivel de Severidad:

Los niveles de severidad de los baches < 30 pulgadas (762 mm) en diámetro se basan en la profundidad de los baches, según la tabla:

Profundidad máxima del bache	Diámetro Medio, pulgadas (mm)		
	4 a 8 pulgadas (102 a 203 mm)	8 a 18 pulgadas (203 a 457 mm)	18 a 30 pulgadas (457 a 762 mm)
½ - 1 pulgadas (12,7 a 25,4 mm)	L	L	M
1 – 2 pulgadas (25,4 a 50,8 mm)	L	M	H
> 2 pulgadas (> 50,8 mm)	M	M	H

Si el bache es mayor a 30 pulgadas (762 mm) en diámetro, el área será determinada en pies² y dividida por 5 pies², para encontrar el número equivalente de hoyos. Si la profundidad es 1 pulgadas (25 mm) o menos, el hoyo es considerado como M. Si la profundidad es mayor a 1 pulgadas (25 mm), se lo debe considerar en un nivel de severidad H.

Como Medir:

Son medidos por conteo del número registrado de acuerdo al nivel de severidad alto, medio o bajo; y registrados separadamente.



Opciones de Reparación:

L – No haga nada; Parchado profundo parcial o total.

M – Parchado profundo parcial o total.

H – Parchado profundo total.



Figura B-13.a. Baches Baja-severidad.

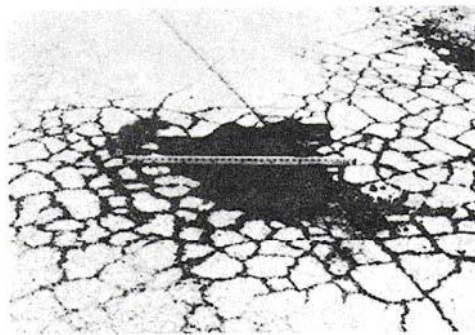


Figura B-13.b. Baches Media-severidad.

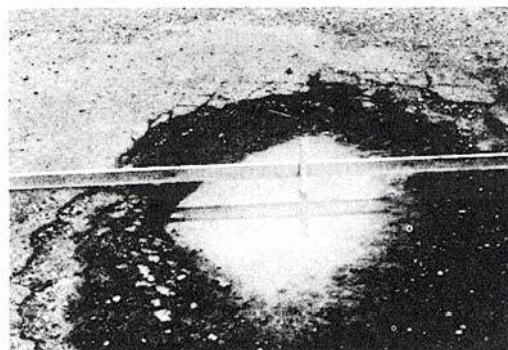


Figura B-13.c. Baches Alta-severidad.



2.4.14. Cruce de Ferrocarril (Railroad Crossing).-

Descripción:

El cruce del ferrocarril ocasiona depresiones o bombeos alrededor y/o entre las vías.

Nivel de Severidad:

- L – Cruce de ferrocarril produce severidad baja en el “ride quality”.
- M – Cruce de ferrocarril produce severidad media en el “ride quality”.
- H – Cruce de ferrocarril produce severidad alta en el “ride quality”.

Ride quality: Percepción de la calidad de pavimento del conductor de un vehículo cuando pasa sobre ésta anomalía.

Como Medir:

Se miden en unidades de área (pies^2 o m^2). Si el cruce no afecta el “ride quality”, no será contabilizado. Cualquier bombeo extenso creado por las vías se contará como parte del “cruce”.

Opciones de Reparación:

- L – No haga nada.
- M – Parchado próximo y profundo, Superficial o Parcial; Reconstrucción del Cruce.
- H – Parchado próximo y profundo, Superficial o Parcial; Reconstrucción del Cruce.



Figura B-14.a. Cruce de Ferrocarril Baja-severidad.

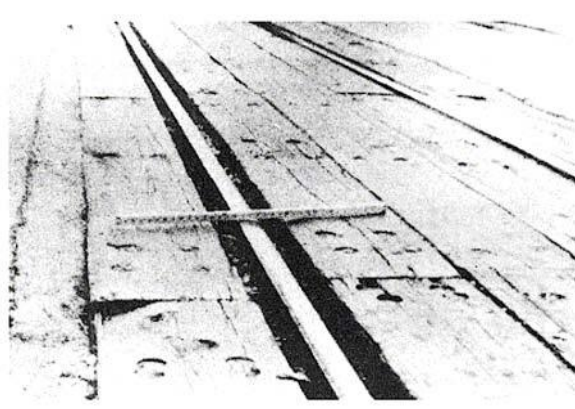


Figura B-14.b. Cruce de Ferrocarril Media-severidad.

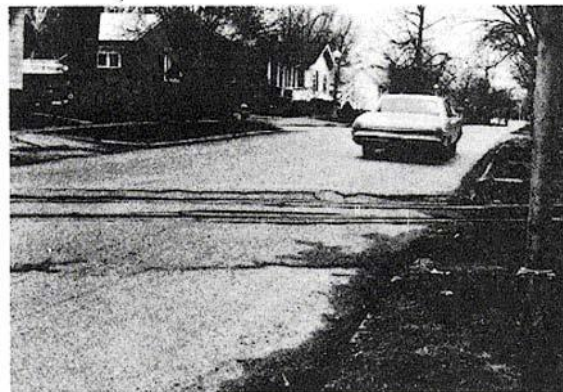


Figura B-14.c. Cruce de Ferrocarril Alta-severidad.



2.4.15. Ruteo (Rutting).-

Descripción:

Un ruteo es una depresión superficial en la ruta de la rueda. Alguna elevación puede ocurrir a lo largo de los lados de la ruta, pero en muchos casos, el ruteo no es perceptible; solo después de las lluvias cuando la ruta se llena con agua. Es provocado usualmente por consolidación o movimientos laterales de los materiales debido a la carga de tráfico. Un ruteo significativo puede llevar a una mayor falla estructural del pavimento.

Nivel de Severidad:

L – ¼ a ½ pulgadas (6 a 13 mm)

M – ½ a 1 pulgadas (13 a 25 mm)

H – > 1 pulgadas (más de 25 mm)

Como Medir:

El ruteo se mide en unidades de área (pies² o m²). La profundidad media del ruteo es calculada colocando una viga recta que cruce la depresión del ruteo, midiendo así la profundidad, esta operación se la realiza a lo largo de la depresión, computando valores y obteniendo así la media de estos.

Opciones de Reparación:

L – No haga nada; Moler y recubrir (Mill and overlay).

M – Parchado profundo superficial, parcial o total; Moler y recubrir (Mill and overlay).

H – Parchado profundo superficial, parcial o total; Moler y recubrir (Mill and overlay).

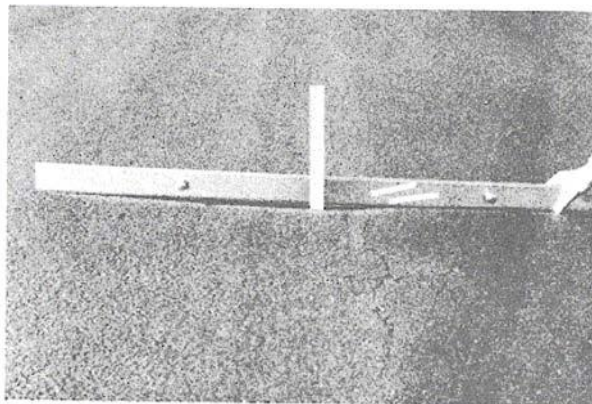


Figura B-15.a. Ruteo Baja-severidad.

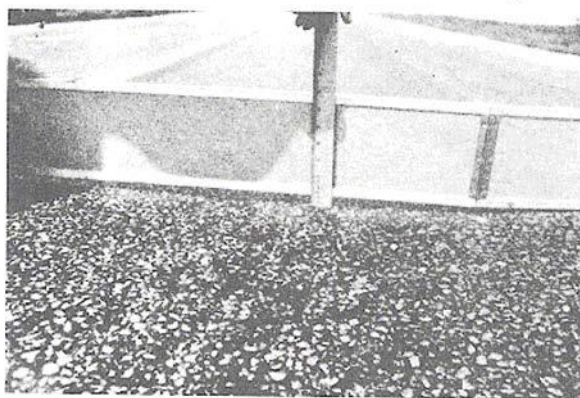


Figura B-15.b. Ruteo Media-severidad.

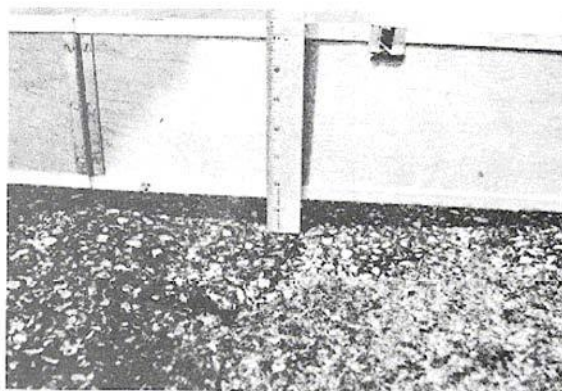


Figura B-15.c. Ruteo Alta-severidad.



2.4.16. Empellones (Shoving).-

Descripción:

Es un desplazamiento permanente y longitudinal de un área localizada de la superficie pavimentada causada por cargas de tráfico. Cuando el tráfico es apresurado en el pavimento, esto produce ondas cortas, abruptas en la superficie del pavimento. Esta anomalía normalmente ocurre en mezclas inestables de pavimentos de asfalto líquido (emulsiones o cutbacks).

También ocurre en pavimentos asfálticos sobre pavimentos de concreto, el concreto de cemento Portland incrementa en longitud y empuja el pavimento asfáltico causando “empellones”.

Nivel de Severidad:

L – Empellón produce severidad baja en el “ride quality”.

M – Empellón produce severidad media en el “ride quality”.

H – Empellón produce severidad alta en el “ride quality”.

Ride quality: Percepción de la calidad de pavimento del conductor de un vehículo cuando pasa sobre ésta anomalía

Como Medir:

Se mide en unidades de área (pies^2 o m^2). Empellones que ocurren en parchados, son considerados como parchado, y no como anomalías diferentes.

Opciones de Reparación:

L – No haga nada; Moler.

M – Moler; Parchado profundo parcial o total.

H – Moler; Parchado profundo parcial o total.

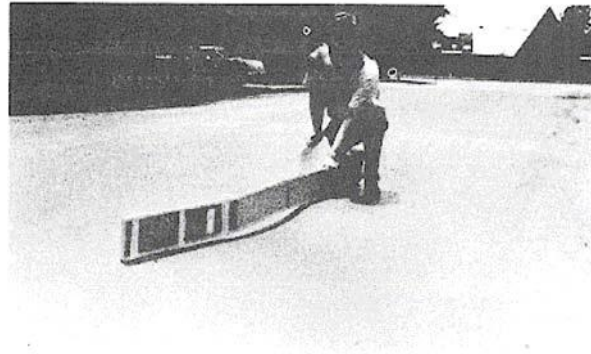


Figura B-16.a. Empellones Baja-severidad.



Figura B-16.b. Empellones Media-severidad.

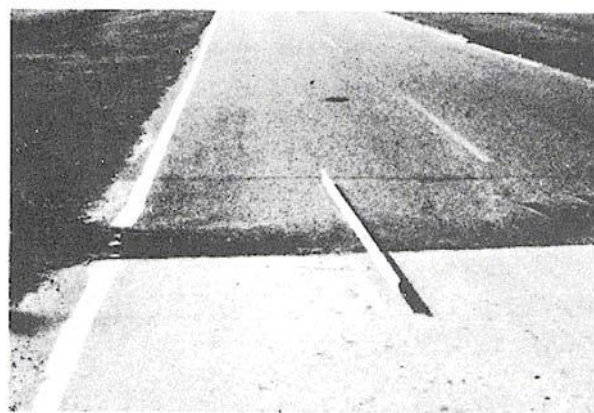


Figura B-16.c. Empellones Alta-severidad.



2.4.17. Agrietamiento Media Luna (Slippage Cracking).-

Descripción:

Estas grietas tienen la forma de media luna. Ellas se producen cuando las ruedas frenan o dan vuelta, causando deslizamiento o deformación en la superficie del pavimento.

Esta anomalía ocurre usualmente cuando hay una baja resistencia de la mezcla del pavimento, o una pobre adherencia entre la superficie y la siguiente capa del paquete estructural del pavimento.

Nivel de Severidad:

L – Ancho medio de la grieta es $< 3/8$ pulgadas (10 mm)

M – Una de las siguientes condiciones debe existir:

1. Ancho medio de la grieta: $3/8$ a $1 \frac{1}{2}$ pulgadas (10 a 38 mm)
2. El área alrededor de la grieta esta fracturada en piezas estrechas sanas

H – Una de las siguientes condiciones debe existir:

1. Ancho medio de la grieta $> 1 \frac{1}{2}$ pulgadas (38 mm)
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en piezas fácilmente removibles

Como Medir:

Se mide en unidades de área (pies^2 o m^2) y su porción está de acuerdo al mayor nivel de severidad en el área.

Opciones de Reparación:

L – No haga nada; Parchado profundo parcial.

M – Parchado profundo parcial.

H – Parchado profundo parcial.

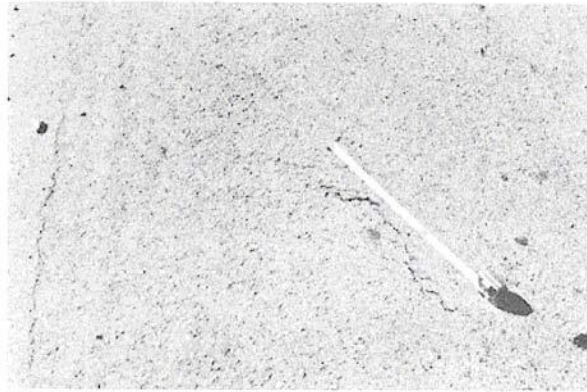


Figura B-17.a. Agrietamiento Media Luna Baja-severidad.

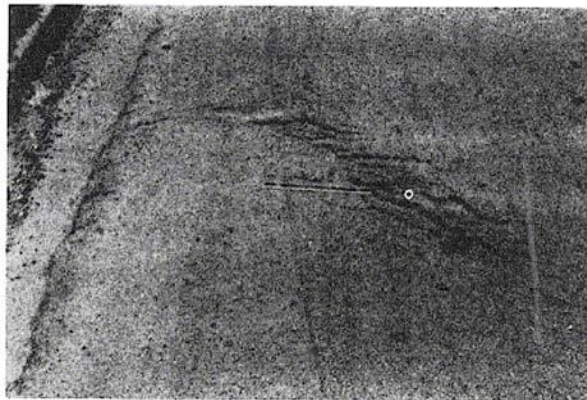


Figura B-17.b. Agrietamiento Media Luna Media-severidad.

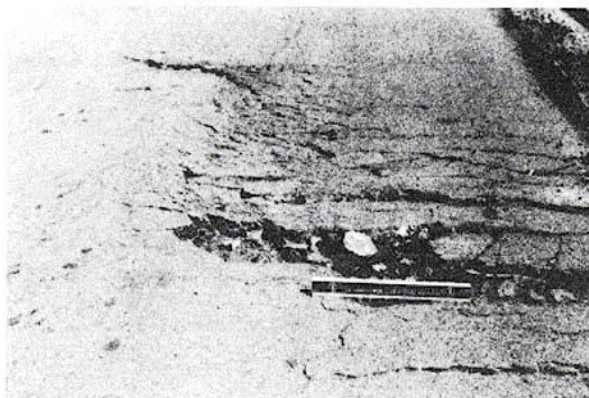


Figura B-17.c. Agrietamiento Media Luna Alta-severidad.



2.5.18. Protuberancia (Swell).-

Descripción:

La protuberancia está caracterizada por una joroba hacia arriba en la superficie del pavimento. Es una onda gradual > 10 pies (3 m) de largo. Las protuberancias pueden estar acompañadas por grietas en la superficie. Esta anomalía es causada usualmente por la acción del escarchamiento de la subrasante o por hinchamiento del suelo.

Nivel de Severidad:

- L – Protuberancia produce severidad baja en el “ride quality”. A este nivel no es fácil de identificar, pero se puede detectar manejando al límite de la velocidad sobre la sección del pavimento.
- M – Protuberancia produce severidad media en el “ride quality”.
- H – Protuberancia produce severidad alta en el “ride quality”.

Ride quality: Percepción de la calidad de pavimento del conductor de un vehículo cuando pasa sobre ésta anomalía.

Como Medir:

La protuberancia se mide en unidades de área (pies² o m²).

Opciones de Reparación:

- L – No haga nada.
- M – No haga nada; Reconstrucción.
- H – Reconstrucción.

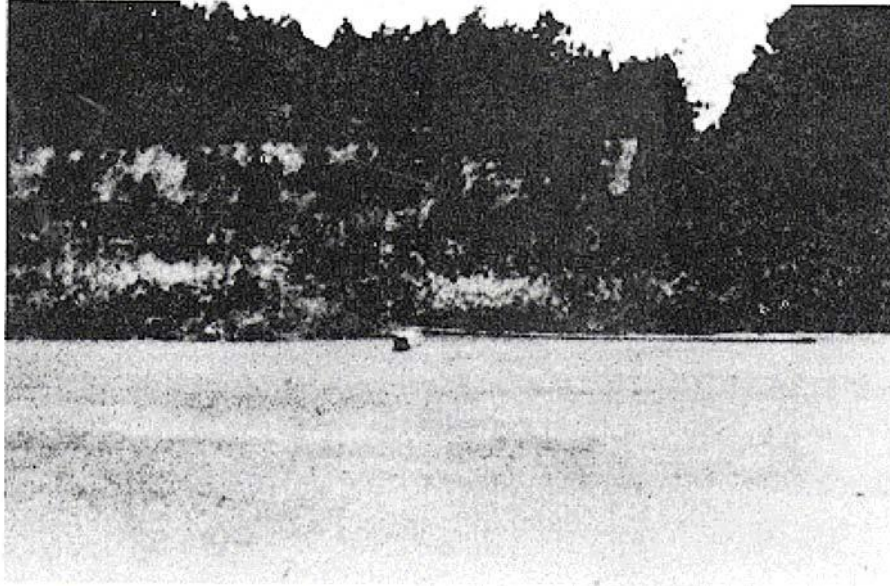


Figura B-18. Protuberancia



2.5.19. Intemperismo (Weathering and Raveling).-

Descripción:

Es el desgaste de la superficie del pavimento debido a pérdida de adherencia del asfalto o alquitrán y el consecuente desalojo de las partículas de agregado. Esta anomalía indica también que la adherencia del asfalto tiene un endurecimiento apreciable, o que una pobre calidad de mezcla está presente. La suavización de la superficie y la pérdida de los agregados son usualmente debido al derrame de combustible, y también deben ser incluidos aquí.

Nivel de Severidad:

- L – El agregado o el ligante han comenzado a desgastarse. En algunas áreas de la superficie se están empezando a formar hoyuelos. En caso de derrame de combustible, la mancha de este puede ser visto, pero la superficie es dura y no puede ser penetrado con una moneda.
- M – El agregado o el ligante se está desgastando. La textura de la superficie está moderadamente rugosa y con hoyuelos. En caso de derrame de combustible, la superficie se suaviza y puede ser penetrada con una moneda.
- H – El agregado o el ligante ha sido considerablemente desalojado. La textura de la superficie es muy rugosa y severamente agujereada. El área de los hoyuelos es menor a 4 pulgadas (100 mm) de diámetro y menor a ½ pulgadas (13 mm) de profundidad; los hoyuelos con áreas más grandes que éstas son contabilizadas como “baches”. En caso de derrame de combustible, el ligante asfáltico se pierde y el agregado comienza a perderse.

Como Medir:

El intemperismo se mide en unidades de área (pies² o m²).

Opciones de Reparación:

- L – No haga nada; Sello Superficial; Tratamiento Superficial.
- M – Sello Superficial; Tratamiento Superficial; Recubrimiento.
- H – Tratamiento Superficial; Recubrimiento; Reciclaje; Reconstrucción.

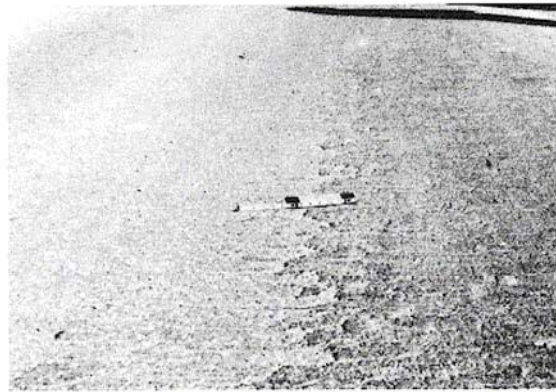


Figura B-19.a. Intemperismo Baja-severidad.



Figura B-19.b. Intemperismo Media-severidad.

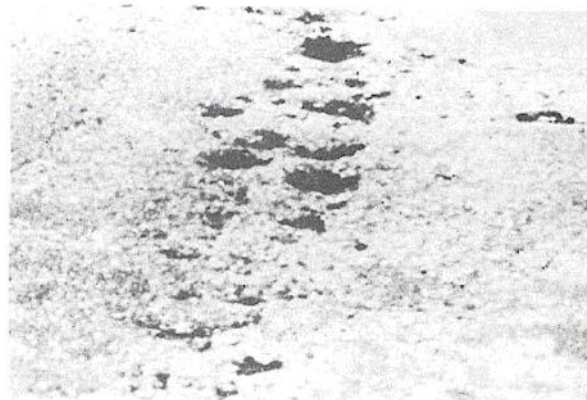


Figura B-19.c. Intemperismo Alta-severidad



2.5. MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.-

Nunca se ha construido un camino o carretera que no exija conservación. La conservación comienza tan pronto como se termina la construcción de un pavimento nuevo, y el arte de conservar una carretera consiste en mantenerla en sus condiciones de máxima utilidad, con un mínimo de gastos y de molestias para el tráfico.

El mantenimiento de una carretera consiste en prever y solucionar los problemas que se presentan a causa del uso, y así brindar al usuario el nivel de servicio para el que la carretera o camino fue diseñado. Cuando el costo de conservación se hace mayor que el de sustitución, la solución es sustituirlo, hacerlo de nuevo.

¿Qué hacer?

Deben determinarse los motivos y la magnitud de las averías, tomando las medidas para corregir las causas que han dado lugar a los daños. Probablemente el agua es la principal causa de averías en la estructura de los pavimentos.

La función básica del personal de mantenimiento, con su correspondiente equipo y materiales, es procurar con el mayor empeño y dedicación, conservar los caminos y pavimentos en las mismas condiciones en que fueron construidos, tomando en cuenta el deterioro debido al tránsito normal de vehículos y a los agentes atmosféricos, por lo cual se debe contar con un personal experimentado.

2.6. MÉTODOS MAS USUALES EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.-

Al iniciarse en nuestro país la construcción de carreteras se utilizaron procedimientos constructivos rudimentarios, pero acordes a las necesidades de la época, aun cuando en ciertos aspectos técnicos, como lo es el de la utilización de materiales, no se tenían las bases necesarias para optimizar su empleo. Con forme paso el tiempo los procedimientos y equipos de construcción fueron mejorando, aumentándose a esto la implantación de técnicas de laboratorio, para efectuar un control de calidad en los materiales, lo que permitió se construyesen mejores obras viales.



Las fuertes cargas producidas por los vehículos automotores, su velocidad de tránsito, el número de sus repeticiones, etc., hicieron que las técnicas de construcción y reconstrucción de pavimentos hayan sufrido una evolución.

En la técnica de los pavimentos flexibles o asfálticos y a los cuales nos referimos en éste trabajo, existen especificaciones respecto a la calidad de los materiales que vayan a ser usados en la construcción de las diferentes capas que constituyen este tipo de pavimento.

Una de las principales inversiones posibles en los caminos es lo referente a la conservación o mantenimiento, ya que si esta es adecuada, no solo garantiza la inversión inicial de la construcción, si no que alarga la vida tanto del camino como de los vehículos que lo usan.

La conservación es un problema tanto económico como técnico, y para la ejecución de los trabajos, estos deben efectuarse oportunamente con el fin de que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, es necesario contar con recursos económicos disponibles y personal con experiencia, ya que sin ello todos los sistemas, materiales y equipo que se empleen, por buenos que sean, tendrán como resultado pérdidas económicas y trabajos defectuosos.

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodamiento es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo, y seguro, será por demás importante el corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción total para su arreglo. Desde hace ya algunos años, tradicionalmente se le ha dado mantenimiento normal a los pavimentos flexibles mediante bacheo, sellado de grietas, riego y renivelación, que bien pueden utilizarse en forma aislada o combinada. A continuación se describen, en términos generales, cada uno de estos trabajos.

a) Relleno de grietas.-

Los procedimientos constructivos a utilizar para efectuar la corrección de grietas están en función del tipo (aislado o abundante), del ancho y de la profundidad de los mismos; estos procedimientos van desde relleno de grietas utilizando un producto asfáltico, mortero



asfáltico o bien tratamientos superficiales, hasta la programación de una carpeta nueva o sobre carpeta.

Para obtener una conservación efectiva de los pavimentos, es muy importante que la sub-base y la base se mantengan lo más seco que sea posible. Las grietas dejan pasar a dichas capas reduciéndose su capacidad de carga. Por lo tanto uno de los objetivos primordiales del mantenimiento de los pavimentos es mantener su superficie adecuadamente impermeable, en que las grietas deben mantenerse selladas todo el tiempo.

- a. Se recomiendan para usos generales de sellado de grietas las emulsiones asfálticas de asentamientos rápido. A menudo se utilizan asfaltos muy pesados (alta viscosidad) aunque estos materiales no penetren a la grieta y sólo dan un sellado superficial.
- b. Para el relleno de grietas menores de 3 mm. De ancho, se utilizan productos asfálticos cuya fluidez a la temperatura de aplicación especificada garantice la penetración.
- c. Para el relleno de grietas con anchos mayores de 3 mm, se utiliza una mezcla de producto asfáltico y arena fina cuya fluidez garantice una adecuada penetración, o bien, el relleno se puede efectuar por medio de capas alternas de arena y producto asfáltico; la última capa debe ser de producto asfáltico.
- d. Las grietas no deben ser empleadas para obtener una mejor penetración del material de relleno.
- e. Cuando existen grietas profundas que lleguen hasta la sub.-base o terracería, es muy importante estudiar la causa de la falla, para poder definir la solución y procedimientos de reparación más adecuados. En términos generales, este procedimiento podrá consistir en abrir caja en el ancho mínimo necesario para trabajar, preferentemente hasta el fondo de las grietas y proceder en forma semejante a la del bacheo.
- f. Cuando existen grietas abundantes pero muy ligeras, cuya profundidad afecta sólo a la carpeta, y no haya deformaciones permanentes, si su ancho es inferior a 3 mm, se puede reparar por medio de un tratamiento superficial a base de



mortero asfáltico; si su ancho es superior a 3 mm, su reparación podrá consistir en el “Reciclado y / o en la colocación de una sobre carpeta.

b) Renivelación.-

La manera de efectuar la renivelación, depende de la magnitud de la deformación, los trabajos para corregir dicha deformación puede ser el sistema de riegos superficiales o bien usando mezcla asfáltica.

Los trabajos de renivelación pueden considerarse como conservación normal o como reconstrucción, según excedan o no en el volumen de doscientos (200) metros cúbicos de mezcla asfáltica por kilómetro.

La manera de efectuar las renivelaciones será la que a continuación se indica:

- 1) En caso de deformaciones pequeñas, del orden de uno (1) a tres (3) centímetros, estas podrán corregirse empleando el sistema de riegos de sellos.
- 2) Cuando las deformaciones sean superiores a los tres (3) cm., se usará para su corrección mezcla asfáltica, de acuerdo con los siguientes lineamientos:
 - a. La zona por renivelar deberá limpiarse de materia extraña y efectuarse los trabajos de conservación normal correspondientes.
 - b. Deberá definirse y marcarse el área por renivelar, siguiendo aproximadamente el perímetro que abarque en su totalidad la zona fallada.
 - c. Una vez definida el área por renivelar, se abrirá una caja perimetral de aproximadamente cinco (5) centímetros de ancho y espesores pequeños en las orillas de la renivelación, así como que la mezcla se “corra”.

Cuando la carpeta esté constituida por el sistema de un riego, deberá “picarse” la superficie de rodamiento en la zona por renivelarse, barriendo a continuación el material excedente.
 - d. Se dará un riego de liga, con el tipo de producto asfáltico y temperatura que se indique en las especificaciones correspondientes.
 - e. Habiendo realizado lo anterior, se procederá a rellenar el área con mezcla asfáltica elaborada de acuerdo como lo indique el proyecto. Cuando la profundidad del asentamiento exceda de siete (7) centímetros, deberá rellenarse en dos (2) o más



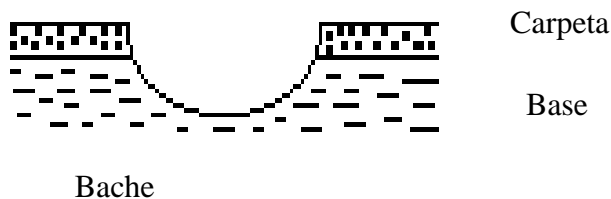
capas; la capa superficial podrá tener hasta seis (6) centímetros de espesor suelto y las interiores un máximo de diez (10) centímetros de espesor suelto.

- f. Las capas deberán compactarse con rodillo o aplanadora. El pisón de mano solo deberá usarse en compactación de renivelación poco profundas y cuya superficie no exceda de cuatro (4) metros cuadrados. En ningún caso deberá dejarse la zona renivelada a la acción del tránsito, sin antes proporcionarle la debida compactación.
- g. Posteriormente y en el lapso de tiempo que indique el proyecto, se deberá sellar la zona renivelada.

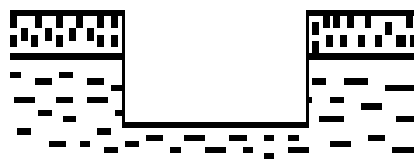
c) Bacheo.-

Es reponer una porción de la superficie de rodamiento que ha sido destruida por el tránsito. Estas porciones se dividen por su tamaño en “calaveras” y baches, según sea su dimensión mayor, respectivamente, inferior o superior a quince centímetros (15 cm.) Los métodos para su corrección se basan en la forma de aparición de las “calaveras” y / o baches (aislados o continuos), a lo largo del camino y de las dimensiones de las mismas. El procedimiento para su reparación deberá ser utilizando mezcla asfáltica.

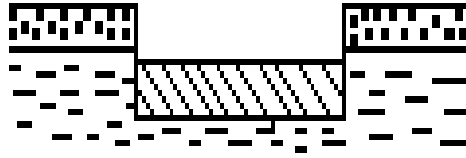
Etapas en la reparación de un bache.



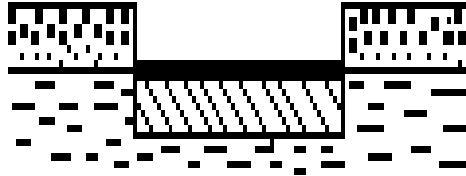
Recortar en líneas rectangulares y superficies verticales. Limpiar



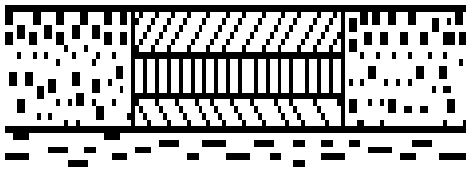
Reemplazar el material de base y compactar adecuadamente



Impregnar con producto asfáltico rebajado, el fondo y las paredes de la excavación. Dejar secar hasta que el asfalto se vuelva pegajoso.



Rellenar con mezcla asfáltica (premezclada) y compactar en capas no mayores de 7 cm. de espesor.



d) Riego de sello.-

Este procedimiento se puede definir como la capa de material pétreo que se liga a la carpeta por medio de un producto asfáltico.

Atendiendo a la magnitud de los trabajos y organización establecida para efectuarlos, se considera al riego de sello como una labor de reconstrucción cuando la superficie tratada exceda de mil (1000) metros lineales continuos.

Los casos en los que se recomienda el riego de sello son los siguientes:

1. Cuando se quiera proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.
2. Cuando la carpeta existente esté agrietada y / o tenga textura muy abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
3. Dar rugosidad a la superficie para hacerla antiderrapante.



4. Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la intemperie.
5. Proteger la carpeta cuando se inicia el proceso de desgranamiento y / o desgaste superficial.
6. Obtener en la superficie de rodamiento un color adecuado para mayor visibilidad nocturna.



3.1.RECICLADO DE FIRMES. DEFINICIÓN.-

La tendencia actual en el tratamiento de residuos es el aprovechamiento máximo de sus recursos mediante su reutilización o reciclado antes de su vertido y eliminación, todo ello con el objetivo de cuidar el medio ambiente, evitar la masificación de los vertederos y contribuir a la disminución en el uso de materias primas naturales. Lo habitual es relacionar estos conceptos con los residuos sólidos urbanos, ya que son los que mayor presencia tienen en la sociedad; plásticos, vidrio, papel, materia orgánica, etc., pero estos conceptos se extienden hoy en día a muchos residuos de los que se puede sacar partido y reutilizarlos.

Las posibilidades que tiene el reciclado son muy amplias, tal es el caso del reciclaje de pavimentos asfálticos, que actualmente es una tendencia en alza para la rehabilitación de carreteras.

El reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de materiales procedentes de las capas que conforman el paquete estructural del pavimento que ya han estado en servicio: materiales que han perdido algunas de sus propiedades iniciales por el uso o envejecimiento (cohesión, textura, composición, geometría,...) pero que tienen el potencial de ser reutilizados para integrar nuevas capas.

Los procedimientos de construcción y conservación de carreteras consumen fundamentalmente dos tipos de recursos: naturales y energía. Mediante la aplicación de los reciclados, se reduce el consumo de ambos recursos y se disminuyen los vertidos de todos estos materiales, evitando el correspondiente impacto ambiental: se trata, en definitiva, de que la carretera integre, en la medida de lo posible, las funciones de cantera y vertedero.

El material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos se denominara en adelante RAP en coincidencia con su nombre en inglés “Reclaimed Asphalt Pavement”, y es uno de los elementos más importantes a tener en cuenta durante el proceso de reciclado de pavimentos ya que tiene gran influencia sobre las características final del producto.

La reparación de carreteras mediante técnicas de reciclado o sustitución suponen ahorros económicos de hasta un 25%.



3.2.RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN FRIO.-

El reciclado en frío puede ser realizado en planta o in-situ. En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo). In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

En general, el proceso en planta es la opción más cara en términos de costo por metro cúbico de material. Esto se debe principalmente a los costos de transporte, que no existen en el reciclado in situ. Sin embargo, ambos métodos de reciclado tienen su nicho en la industria de la construcción y la decisión sobre cuál debe ser aplicado está definido básicamente por:

- Tipo de construcción. El proceso en planta habitualmente es considerado donde el material reciclado se puede utilizar en la construcción de un nuevo pavimento asfáltico, y en el refuerzo de un pavimento existente.
- El material in-situ del pavimento existente que va a ser reciclado. Cuando el material de la capa superior de un pavimento existente va a ser reciclado, la variabilidad y/o condición del material en ocasiones requiere un proceso de selección o pre-tratamiento (por ejemplo, reducir el tamaño de una capa asfáltica gruesa).

En la actualidad, el tratamiento in-situ de los materiales de pavimentos es de uso generalizado, debido a la llegada de potentes máquinas recicladoras que pueden rehabilitar pavimentos a una fracción del costo de los métodos de reconstrucción convencionales. Además, considerando la situación de los pavimentos a nivel mundial, la rehabilitación de pavimentos existentes excede ampliamente la demanda por caminos nuevos. Como consecuencia de esto, el reciclado in-situ ha sido adoptado en muchos países como el método recomendado para abordar el enorme trabajo pendiente en términos de rehabilitación de pavimentos.



3.2.1. Reciclado en frio en planta.-

El tratamiento en planta permanece siempre como una opción que debería ser considerada cuando el reciclado tiene aplicación, particularmente en aquellos proyectos que requieren una mezcla de materiales vírgenes a ser tratados, y también cuando son tratados con asfalto espumado y luego almacenados en acopios para su uso posterior.

Los principales beneficios del reciclado en planta versus el reciclado in situ son:

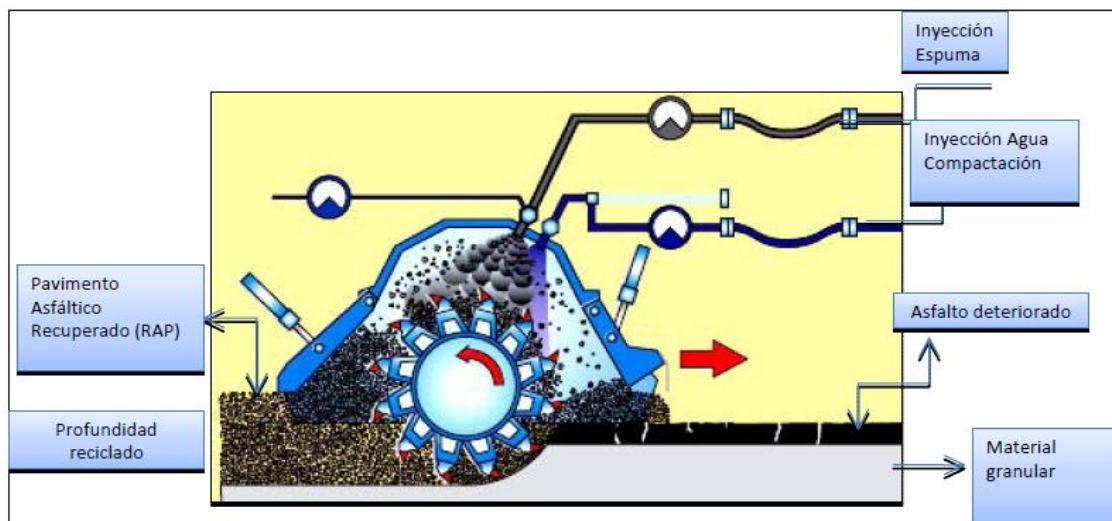
- Control de los materiales de entrada. Mientras que el reciclado in-situ permite un control limitado del material recuperado del pavimento existente, el reciclado en planta permite producir un producto final específico al mezclar distintos tipos de agregados. Los materiales de entrada pueden ser almacenados en acopios y ser sometidos a ensayos antes de producir la mezcla, y también es posible cambiar la proporción de los mismos en la mezcla.
- Calidad de mezclado. Es posible realizar modificaciones en la operación de mezclado continuo para variar el tiempo en que el material es retenido dentro de la cámara de mezclado, cambiando la calidad de la mezcla.
- Posibilidades de acopiar el material. Particularmente en los materiales tratados con asfalto espumado, el producto producido puede ser almacenado y ser utilizado cuando sea requerido, y de ese modo evitar la dependencia de la producción de la mezcla y la colocación de la misma.

3.2.2. Reciclado en frio In-situ.-

Las máquinas de reciclado han evolucionado a través de los años, desde las primeras máquinas modificadas para fresar y estabilizar suelos, hasta las recicladoras especializadas utilizadas hoy en día. Estas recicladoras son especialmente diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimento de gran espesor en una sola pasada. Las recicladoras modernas tienden a ser máquinas grandes y potentes, las cuales pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos de flotación.

El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas, especialmente diseñadas para este proceso. El

tambor normalmente rota y pulveriza el material del pavimento existente, como se ilustra en la siguiente figura.



A medida que la máquina avanza con el tambor rotando, el agua de un tanque acoplado a la recicladora se llena mediante mangueras dentro de la cámara de mezclado de la recicladora. El flujo de agua es medido con precisión mediante un micro procesador controlado por un sistema de bombeo, mientras que el tambor mezcla el agua con el material reciclado para alcanzar el contenido necesario de humedad. De esta forma es posible conseguir altos niveles de compactación. Agentes estabilizadores líquidos, como lechada cemento / agua o emulsión asfáltica, tanto en forma separada como combinadas, pueden ser introducidas directamente a la cámara de mezclado de una forma similar. Además, el asfalto espumado puede ser inyectado dentro de la cámara de mezclado mediante una barra aspersora especialmente diseñada.

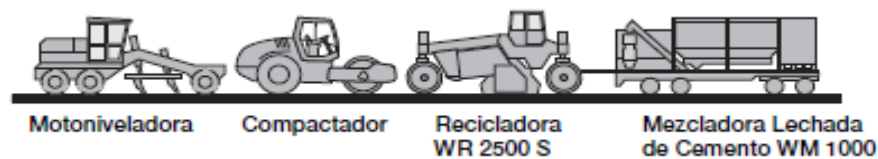
Agentes estabilizadores poderosos, como la cal hidratada, son normalmente repartidos en la superficie del pavimento existente, delante de la recicladora. La recicladora pasa trabajando sobre el estabilizador en polvo, mezclando a éste con el material recuperado, para luego inyectarle agua, todo en una sola pasada.

Los trenes de reciclado pueden ser configurados de distinta manera, dependiendo de la aplicación de reciclado y del tipo de agente estabilizador que sea utilizado. En cada caso la máquina recicladora ejerce la tracción en el tren de reciclado, empujando o tirando el



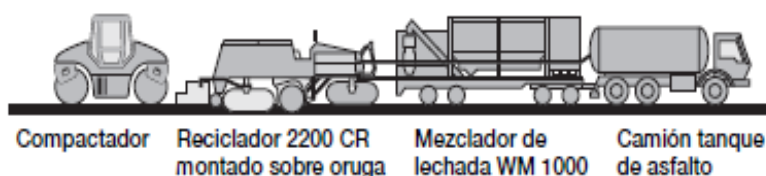
equipo que está conectado a la misma mediante barras de empuje o lanzas. Configuraciones típicas de trenes de reciclado se ilustran en las figuras que se muestran a continuación.

El tren de reciclado presentado en la figura se utiliza cuando el material es estabilizado con lechada de cemento. La tasa de aplicación requerida de cemento y agua se mide con exactitud antes de mezclarse para formar una lechada, la cual es bombeada a la recicladora mediante una manguera flexible y posteriormente inyectada dentro de la cámara pulverizadora. Alternativamente, el cemento puede ser esparcido sobre el pavimento existente delante de la recicladora, sustituyendo el mezclador de lechada por un tanque de agua.



El material que sale de la recicladora recibe la compactación inicial del rodillo pesado vibratorio para alcanzar una densidad uniforme en todo el material. Posteriormente el material se perfila con una motoniveladora antes de ser finalmente compactado utilizando un compactador neumático y un rodillo vibratorio.

Cuando la emulsión o el asfalto espumado se aplican junto con la lechada de cemento se configura un tren de reciclado similar al anterior, formado por un tanque suministrador de asfalto empujado delante del mezclador de lechada, como se ilustra en la figura. En los casos donde el cemento se esparce como polvo sobre la superficie del camino delante del tren de reciclado, el tanque de asfalto se acopla directamente a la recicladora y el tanque de agua es empujado, liderando el tren de reciclado. En el caso de utilizar una recicladora montada sobre orugas y equipada con placa compactadora como se muestra en la figura, el uso de una motoniveladora para perfilar la superficie puede no ser necesario.





3.3. RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN CALIENTE.-

3.3.1. Reciclado en Caliente In-Situ.-

Dentro del reciclado in situ en caliente se pueden distinguir tres procesos, denominados respectivamente termorreperfilado (sin materiales de aportación), termo regeneración (con una cierta cantidad de materiales de aportación) y remezclado (con aportación de mezcla bituminosa nueva que se mezcla con el preexistente). Los dos primeros sólo sirven para renovaciones superficiales, mientras que el remezclado sirve para rehabilitaciones estructurales. En los tres casos se utilizan grandes máquinas integrales que en una sola pasada realizan de manera secuencial distintas operaciones: calentamiento del pavimento, levantamiento de un cierto espesor, formación de un cordón de material levantado, separación en su caso del material que no se vaya a reutilizar, eventual aportación de materiales nuevos, mezcla homogénea de los materiales nuevos con los antiguos, extensión y precompactación.

Estos procesos son complejos en sí mismos y la maquinaria muy costosa y, por su tamaño, sólo utilizable en autopistas. El calentamiento previo del pavimento produce una oxidación adicional del ligante, por lo que se dificulta aún más la efectividad del reciclado. Finalmente la eficacia de estas técnicas es limitada, pues sólo se puede actuar sobre los 4-6 cm superiores.



Tren de reciclado en caliente in situ (Fuente: Martec Recycling Corporation www.martec.ca).



3.3.2. Reciclado en Caliente en Planta.-

El reciclado de pavimentos asfálticos en planta en caliente es un método de fabricación de mezclas cada vez más usado por diferentes administraciones en todo el mundo y, en general, la metodología utilizada es muy parecida en todos los países.

Gracias al gran desarrollo tecnológico que se ha presentado en los últimos años en los equipos y maquinaria para la construcción se ha podido dar un impulso muy grande al reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta.

De forma resumida se puede decir que éste procedimiento consiste en el levantamiento de la capa del pavimento que se va a reciclar, por medio del fresado o demolición, y su posterior traslado a una central de fabricación de mezclas bituminosas, donde tras un eventual machaqueo secundario y una clasificación granulométrica se mezcla en caliente con áridos y ligantes nuevos, así como agentes rejuvenecedores en caso necesario. El producto se destina generalmente para capas inferiores y arcenes, aunque en ocasiones también para capa de rodadura.

3.4.MAQUINAS ESPECIALIZADAS EN EL RECICLADO DE PAVIMENTOS.-

Existe una gran variedad de máquinas recicladoras de pavimento flexible tanto en frío como en caliente, a continuación se menciona y se describe algunas máquinas:

- Recicladoras de pavimento flexible en frío.
 - La máquina recicladora / estabilizadora WR 2000
 - Recicladora en frío 2200 CR
 - Recicladora WR 2500 S
 - Recicladora WR 2500 S

- Recicladoras de pavimento flexible en caliente.
 - Recicladora AR2000



3.4.1. Maquinas Recicladoras en Frio.-

3.4.1.1. La máquina recicladora / estabilizadora WR 2000.-



Una máquina móvil de prestaciones muy superiores:

Si bien la máquina WR 2000, con una anchura de trabajo de 2 m y una profundidad de trabajo de 500 mm, es el modelo más pequeño de la gama de recicladoras y estabilizadoras potentes de Wirtgen, no por ello es incapaz de realizar trabajos de mayor envergadura. Al contrario: el amplio campo de aplicaciones, la forma económica de trabajar y la excelente visibilidad son ventajas con las que la WR 2000 se destaca entre las máquinas comparables de este segmento del mercado. Su principal característica, sin embargo, es su excepcional movilidad: dado que es posible transportar con facilidad la compacta máquina WR 2000 de una obra a la otra, se dispone de ella en los distintos lugares de trabajo sin pérdida de tiempo.

Las compactas medidas de transporte posibilitan el traslado sencillo entre las obras sin necesidad de permisos especiales.

El puesto de mando desplazable más allá del borde de la máquina ofrece una perfecta visibilidad del trabajo.



Gracias a la tracción en todas las ruedas y a la suspensión individual de las mismas en el bastidor de la máquina, la WR 2000 supera incluso terrenos muy difíciles.

Las columnas de elevación de regulación hidráulica garantizan, en todo momento, la mayor distancia posible del suelo:



El robusto bastidor de la máquina es como un traje hecho a la medida de la recicladora en frío y estabilizadora de suelos WR 2000. Está especialmente diseñado para ofrecer una buena capacidad de marcha sobre todo terreno y una gran distancia al suelo. Las cuatro ruedas están fijadas individualmente en el bastidor, y la altura de la máquina se nivela óptimamente a través de las cuatro columnas cilíndricas de regulación hidráulica. El rotor para fresar y mezclar se ajusta mediante una biela oscilante maciza, la caja del tambor, por el contrario, se encuentra montada fijamente en el chasis.

Gracias a la parte frontal corta y situada a un nivel elevado, la recicladora supera incluso los ángulos de inclinación más empinados sin ningún problema.



El concepto de cuatro columnas de elevación permite trabajar a una profundidad constante, incluso en terrenos ondulados.

La sólida unidad de rotor asegura, adicionalmente, un comportamiento suave de la máquina.

El puesto de mando móvil ofrece una óptima visibilidad:



La ventana plegable permite estar aún más cerca de los acontecimientos



El canto de fresado está siempre a la vista



La cabina de cristal permite una vista libre

Es posible desplazar la cabina a la posición requerida



3.4.1.2. Recicladora en frío 2200 CR.-



Potente recicladora en frío, la 2200 CR prepara In-Situ las carreteras de asfalto en una sola operación:

La recicladora en frío 2200 CR de Wirtgen sobre trenes de orugas permite conseguir excelentes resultados en muchas obras desde dos puntos de vista diferentes. Por un lado, es la máquina ideal para reparar eficazmente carreteras de asfalto dañadas, mediante la adición de ligantes. A tal efecto, los diferentes sistemas de rociado le proporcionan una flexibilidad excepcional. Por otro lado, la compacta 2200 CR es sumamente eficiente en lugares de obras grandes como fresadora de carreteras muy potente con carga frontal. El fresado completo de firmes a una alta velocidad de avance garantiza una muy elevada productividad, así como un rendimiento máximo de fresado por unidad de superficie.

La 2200 CR prepara carreteras de asfalto mediante la adición de cemento, suspensión de agua y cemento, emulsión de betún o betún espumado.

El sinfín de distribución integrado y la regla de extendido (ambos son equipos opcionales) producen capas de base pre compactadas de alta calidad.

La máquina se puede utilizar como fresadora en frío extremadamente potente para fresar capas de hasta 35 cm de espesor, sin necesidad de reequiparla o de transformarla.



Gracias al elevado grado de motorización y a la elevada capacidad de transporte, las obras de fresado de superficies mayores se cuentan entre las preferidas de la máquina.

Tecnología líder de reciclaje en frío:

La compacta 2200 CR ofrece una variedad extraordinaria de posibles aplicaciones.

Entre sus especialidades se cuenta la reparación de capas de asfalto sin la sub-base no ligada del firme.

Una de las grandes ventajas de la estructura dual es la cantidad mínima de tiempos muertos de la máquina.

El concepto dual incrementa, a fin de cuentas, la rentabilidad total de la máquina, garantizando así costes operativos bajos.

Manejo sencillo para trabajar de forma productiva:





Nuestra 2200 CR realiza trabajos sumamente exigentes en su doble papel de recicladora en frío y fresadora en frío y, sin embargo, bastan unas cuantas maniobras para dominarla a la perfección. La clara distribución de los elementos de mando asegura el manejo intuitivo de la máquina y los símbolos inequívocos garantizan claridad y seguridad. Todas las palancas e interruptores son de diseño funcional y están dispuestos de manera lógica de acuerdo con los grupos funcionales y la frecuencia de uso. En el centro del puesto de mando se encuentra el display WIDIS 32 (equipo opcional). El indicador multifuncional informa detalladamente sobre todos los datos de importancia de la máquina, del motor y del sistema hidráulico.

El puesto de mando ofrece ergonomía y comodidad:



La ergonomía es un factor que incrementa el rendimiento. Razón suficiente para dedicarle mucha atención al diseño del lugar de trabajo de nuestra 2200 CR. Aquí se siente a gusto el operador y podrá trabajar de forma relajada durante muchas horas. El puesto de mando continuo ofrece mucho espacio para las piernas, tanto al estar de pie, como sentado. Además, es posible regular individualmente la altura y la inclinación de los pupitres demandando a la izquierda y derecha en función de las exigencias del operador. Al igual que los dos asientos, también es posible desplazar los pupitres más allá del borde de la máquina. Por lo tanto y gracias a la inteligente concepción del puesto de mando, el operador tiene a la vista en todo momento y de forma ergonómica el canto de fresado y el entorno.



Reciclaje en frío in situ reparación económica de carreteras:

El proceso de reciclaje en frío realizado in situ es tan sencillo como sofisticado: el tambor de fresado - el corazón de la CR 2200 - granula eficazmente la capa de asfalto dañada hasta una profundidad de 25 cm. En la robusta cámara de fresado y de mezcla se mezcla homogéneamente el material fresado con el ligante y el agua inyectados, para así producir directamente in situ un aglomerado nuevo. A continuación, una unidad de guía del material coloca este aglomerado entre los trenes traseros.

El sinfín de distribución reparte uniformemente el material de manera que la regla de extendido lo pueda extender y pre compactar de forma precisa. Después de la compactación mediante compactadores esta capa reciclada constituye la capa de base de una nueva carretera.



El procedimiento económico emplea al 100 % el material fresado y garantiza tanto el desarrollo rápido de la obra como una obstaculización reducida del tráfico.

Con la aportación de diferentes ligantes, la 2200 CR convierte los materiales de construcción en un aglomerado homogéneo que cumple la calidad exigida.

Dependiendo del ligante utilizado, están disponibles diferentes sistemas de rociado.



Los sistemas de rociado transportan los ligantes líquidos a través de unos tubos flexibles desde los camiones cisterna acoplados hasta la cámara de fresado y de mezcla, en donde los inyectan.

3.4.1.3. Recicladora WR 2500 S.-



La recicladora de la nueva generación WR 2500 S es una máquina de talento universal. Gracias a la enorme potencia de su motor de 500 kW / 680 CV dispone de una gran reserva de energía para realizar múltiples tareas, desde la estabilización de suelos hasta el reciclaje en frío, pasando por la pulverización.

Las anchuras de trabajo de 2,5 m o de 3,0 m y las profundidades de trabajo de 0 - 50 cm ofrecen un rendimiento del trabajo a un nivel continuamente elevado. La instalación de inyección dispone de unos microprocesadores que controlan la dosificación de agua, emulsión, suspensión de cemento y asfalto espumado en función de las respectivas exigencias.

Gracias a la gran distancia del suelo (370 mm), a la tracción en todas las ruedas y al concepto de columnas de elevación, la WR 2500 S está perfectamente preparada para trabajar cualquier tipo de terreno.

La cámara de mezcla variable garantiza una calidad de mezcla constantemente elevada y un alto rendimiento en todas las profundidades de trabajo.



La cabina ergonómica y desplazable le permite al conductor trabajar de forma confortable y segura, teniendo todo a la vista.

El rotor para fresar y mezclar permite realizar distintos trabajos a cuatro velocidades de corte diferentes, así como fresar en el sentido del avance y en el sentido opuesto al mismo, sin necesidad de reequipar la recicladora.

Un lugar de trabajo confortable con perfecta visibilidad:



Además de los faros de trabajo montados en los cuatro lados de la máquina para iluminar perfectamente las ruedas y el borde cero, la máquina dispone de otras cuatro luminarias más en la parte superior de la cabina que alumbran el área de trabajo y la misma recicladora haciéndolas perfectamente visibles, incluso en la oscuridad. También el interior de la cabina está muy bien iluminado. En caso necesario, es posible montar adicionalmente, en cualquier sitio, las dos luminarias con pie magnético, suministradas en serie, para obtener así una iluminación directa del lugar deseado.



Una chapa blanca montada en el techo de la cabina refleja los rayos solares, evitando que la cabina se caliente demasiado.

Para proteger de los rayos del sol, los cristales son de color y el parabrisas está ligeramente inclinado.

De esta forma, el operador de la máquina tiene una buena visibilidad sin deslumbramiento.

Los limpiaparabrisas delanteros y traseros con escobillas largas garantizan la mayor visibilidad posible, incluso cuando llueve muy fuerte.

Los espejos retrovisores exteriores, instalados en serie en ambos lados, ofrecen una buena visibilidad de la obra durante la marcha atrás.

Sistemas de nivelación confiables para resultados de trabajo perfectos:

Al objeto de conseguir resultados perfectos es posible dotar la WR 2500 S de diferentes sistemas de nivelación: sistemas de palpado mecánico, sensores de ultrasonido, palpadores de transductor de giro, sensores de inclinación, palpadores lásericos, patrón Sonic o sistemas Multiplex.



El sistema automático de nivelación consta de dos circuitos de regulación que operan independientemente uno del otro. Todos los sistemas están unidos a la unidad de mando electrohidráulica para la profundidad por medio de conexiones de enchufe y se controlan mediante teclas. El control digital indica los valores teóricos y los valores reales actuales preseleccionados para la profundidad de fresado.



El sensor de inclinación transversal (equipo opcional) registra los valores de inclinación de la máquina y los transmite a la unidad de mando. De esta forma, la inclinación transversal y la profundidad de fresado se ajustan perfectamente.

La inclinación transversal se visualiza continuamente en el ordenador digital de a bordo (CGC) y, además, puede leerse en el nivel de burbuja instalado en el tren delantero.

El "patin Sonic" (equipo opcional) mide la altura de referencia por ultrasonido directamente junto a la vía de trabajo y transmite el resultado de la medición a la unidad de mando de la máquina.

3.4.1.4. Recicladora WR 4200 S.-



Si existiera una competición del reciclaje de carreteras más rápido, más económico y de óptima calidad, la recicladora en frío WR 4200 sería con toda seguridad la gran campeona. En una sola operación, esta máquina fresa grandes cantidades de asfalto deteriorado, agrega aditivos al material granulado y lo mezcla produciendo una mezcla de materiales de construcción homogénea y de alta calidad que posteriormente se tiende de acuerdo con el perfil y la posición y que, una vez compactada, permite la apertura inmediata de la carretera al tráfico rodado. La WR 4200, buque insignia de la flota de recicladoras en frío de Wirtgen, ofrece una enorme cantidad de ventajas de aplicación.





La WR 4200 rinde gran beneficio, sobre todo, en el reciclaje efectivo de carreteras en toda la anchura de los distintos carriles.

La anchura de trabajo, de regulación continua entre 3,00 y 4,20 m, ofrece múltiples posibilidades de aplicación.

La mezcladora de circulación forzada de dos árboles produce hasta 400 t/h de mezcla homogénea de materiales de construcción para una elevada capacidad portante de larga duración.

El innovador proceso de reciclaje protege el medio ambiente y los recursos.

Poco personal mucha maquina:



La WR 4200 realiza muchas operaciones, ahorrando así máquinas y personal en gran escala.

La concepción completa garantiza unos tiempos de empleo cortísimos y una mínima obstaculización del tráfico.

No se producen gastos de almacenamiento, de eliminación ni de depósito.

El material fresado se puede reutilizar en un 100%, lo que contribuye a ahorrar recursos y energía.



3.4.2. Maquinas Recicladoras en Caliente.-

3.4.2.1. Recicladora AR2000.-

La Súper Recicladora AR2000 de Martec es un tren autopropulsado que incluye una o dos Precalentadoras idénticas, una Precalentadora/Fresadora, y una Postcalentadora/Secadora/Mezcladora. Además de estas tres unidades principales, son usadas normalmente una pavimentadora convencional, una aplanadora de llantas de hule y una aplanadora vibradora para la distribución y compactación. Para una velocidad de operación más rápida, Precalentadoras adicionales pueden ser añadidas.



Cómo trabaja:

La Súper Recicladora AR2000 implementa el Proceso de Martec para el reciclaje en sitio en caliente de pavimentos asfálticos, brindándole un rendimiento superior. Este proceso se realiza en las siguientes etapas: Precalentamiento, Perfilado o Fresado en Caliente, Mejoramiento de la Calidad del Pavimento, Postcalentamiento, Secado y Mezclado, seguidos por Distribución y Compactación convencional. Dos de las originales y patentadas características del Proceso de Martec son la combinación de aire caliente forzado con el calentamiento a radiación de bajo nivel y los procesos de postcalentamiento, secado y mezclado.



Pre calentamiento:

La unidad Precalentadora incluye un sistema de calentamiento patentado que calienta y ablanda el asfalto deteriorado. Este Pre calentamiento se realiza gracias a la combinación de aire caliente forzado con calor infrarrojo de bajo nivel. El aire es calentado hasta cerca de 700°C en una cámara de combustión de combustible diesel. Chorros de aire a alta velocidad son soplados sobre la superficie a través de miles de pequeños orificios en un pleno de calentamiento. La combinación de aire caliente forzado con el calor infrarrojo de bajo nivel generado en el pleno de calentamiento resulta en un calentamiento uniforme y controlado de la capa de rodadura del pavimento asfáltico. El aire no usado es aspirado para ser recalentado minimizando de esta manera, pérdidas de calor y reduciendo el consumo de combustible. Este innovador sistema de calentamiento está incorporado en todas las unidades principales de la Súper Recicladora AR2000.



Perfilado en Caliente:

La Precalentadora/Fresadora aplica un calor adicional, que permite a sus tres cabezas perfiladoras separar y remover fácilmente el asfalto suavizado sin dañar los materiales agregados. Un sistema automatizado de control de profundidad permite la remoción de asfalto a profundidades precisas en una sola pasada y las cabezas perfiladoras pueden ser ajustadas para manejar anchos de operación que van desde 3.2 a 4.0 metros.



Mejoramiento de la Calidad del Pavimento:

Con el objetivo de satisfacer las especificaciones de calidad del pavimento requeridas por el cliente, materiales correctivos como agentes rejuvenecedores que mejoran las propiedades ligantes del asfalto y mezclas adicionales o materiales agregados que son usados para corrección y actualización estructural, pueden ser añadidos al pavimento asfáltico reciclado. Cualquier combinación de éstos materiales correctivos pueden ser añadidos según se requiera, monitoreando y controlando con precisión su volumen y su tasa de adición, por medio de un sistema electrónico incorporado a bordo.



Postcalentamiento, Secado y Mezclado:

En la Postcalentadora/Secadora/Mezcladora el material reciclado es mezclado continuamente y expuesto a la combinación de aire caliente con calor radiante de bajo nivel. El proceso de postcalentamiento, secado y mezclado asegura un calentamiento profundo y uniforme del material reciclado, de cualquier material correctivo y de la nueva superficie expuesta de la capa subyacente del pavimento, mientras brinda una oportunidad final para remover los excesos de humedad.



Mezclado:

El material reciclado y el material correctivo, que han alcanzado la temperatura deseada, son recogidos desde la superficie del pavimento por una transportadora de arrastre y transferida a una mezcladora de doble eje de 200 tph de capacidad. La calidad del producto final es asegurada cuando el material reciclado y el material agregado son mezclados profundamente en ésta mezcladora de alta capacidad.



Distribución y Compactación:

Desde la mezcladora, el material completamente mezclado es transferido a la tolva de una pavimentadora convencional para su distribución. La compactación es realizada por compactadoras convencionales de llantas de hule y vibratoras.



Mayores Ventajas de la Súper Recicladora AR2000:

Ahorro en Costo y Tiempo: El reciclaje en sitio en caliente de asfalto con la Súper Recicladora AR2000 ofrece ahorros potenciales de hasta 35% en costo y 50% en tiempo, comparado con métodos convencionales de repavimentación.

Amable con el Medio Ambiente: La Súper Recicladora AR2000 ha sido diseñada y manufacturada para operar prácticamente libre de emisiones.

Tasa de Producción: El reciclaje realizado a profundidades de 50 milímetros puede alcanzar una tasa de producción que varía entre 4000 y 10000 metros cuadrados en un turno de 10 horas, dependiendo de las condiciones de la carretera, del clima y de la configuración del tren de reciclaje.

Sistema Patentado de Calentamiento: La combinación patentada de aire caliente forzado con calor radiante de bajo nivel es capaz de calentar uniforme y controladamente la capa de rodadura del pavimento asfáltico. Esto le permite a la Súper Recicladora AR2000 reciclar todas las clases de pavimentos asfálticos como el SMA, modificado con polímeros, porosos u OGFC y Superpave.

Sistema Patentado de Postcalentamiento, Secado y Mezclado: El sistema patentado de postcalentamiento, secado y mezclado elimina las diferencias de temperaturas presentes en el material reciclado y en el material agregado, incrementa la temperatura de la mezcla y al mismo tiempo remueve residuos de humedad, que normalmente están presentes en pavimentos asfálticos deteriorados y que afectan negativamente la calidad del asfalto reciclado.



Ligado Superior: Por medio del calentamiento adecuado de los bordes del pavimento y de la nueva superficie expuesta de la capa subyacente del pavimento, se crean durante la compactación uniones calientes entre materiales nuevos y existentes.

Adición de Materiales Correctivos: Cualquier combinación de diferentes materiales correctivos como agentes rejuvenecedores, que mejoran las propiedades ligantes del asfalto, y mezclas adicionales o materiales agregados que son usados para corrección y actualización estructural, pueden ser añadidos al pavimento asfáltico reciclado, según se requiera, para satisfacer las especificaciones del cliente.

Uso de Diesel como Combustible: Para su proceso de calentamiento, la Súper Recicladora AR2000 utiliza combustible diesel, que está disponible en todo el mundo. Esto elimina cualquier necesidad de usar gas en forma líquida como el propano. El reciclaje en sitio en caliente puede ser ahora realizado de manera segura en cualquier parte del mundo.

Eficiencia del Combustible: El Sistema de Calentamiento por medio de Aire Caliente de Martec minimiza las pérdidas de calor ya que aspira el aire caliente no usado para ser recalentado, ahorrando hasta 50% en energía en comparación con generaciones anteriores de equipos para el reciclaje en sitio en caliente que usan llamas abiertas o sistemas infrarrojos de alta intensidad.

Fácil Movilización: Las tres unidades principales de la Súper Recicladora AR2000 pueden ser fácilmente conectadas a tractores y transportadas entre los sitios de trabajo, a velocidades normales en carreteras.

3.5. ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES DE CAPA BASE.-

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 si sola no logra producir los efectos deseados, necesiéndose 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.

Todo método práctico de estabilización de suelos, puede involucrar uno, dos o todos los principios expuestos.

En la terminología caminera, suelen utilizarse las siguientes denominaciones, entre otras, para designar distintos tipos de estabilizaciones.

- a. Estabilización granulométrica.
- b. Suelo-Cal.
- c. Suelo-Cemento.
- d. Suelo-Asfalto.
- e. Estabilización con agentes químicos.

3.5.1. Estabilización Granulométrica.-

La estabilización granulométrica consiste en mezclar dos o más suelos para obtener un material de características admisibles para ser utilizado como material de base, sub base o para lo que se requiera. En general, se deben utilizar materiales locales a fin de optimizar los costos de preparación y de transporte.



Normalmente uno de los suelos es el natural de la subrasante y el otro es el de aporte para mejorar sus propiedades. Por ejemplo, se puede añadir a un suelo granular sin finos, otro de grano fino y cierta plasticidad, a fin de obtener una mezcla de mayor cohesión, más fácil de compactar, más impermeable y en suma más estable.

La estabilización mecánica depende de la cohesión y de la fricción interna que puedan desarrollarse mezclando adecuadamente distintos tipos de suelos. Sabemos que los suelos de grano grueso, como las gravas y las arenas, poseen fricción interna relativamente alta, mientras que los suelos de partículas finas como las arcillas, tienen escasa fricción interna.

Como la fricción interna sola no imparte toda la estabilidad que se necesita en un camino, ya que las partículas pueden moverse libremente, se separan de la mezcla y se reducirá la magnitud de la fricción interna que pudieran desarrollar, es necesario agregar un agente aglutinante que mantenga firmemente unidas a las partículas gruesas.

Los suelos arcillosos poseen bastante cohesión cuando su contenido de humedad se encuentra dentro de ciertos límites, y por lo tanto pueden emplearse como aglutinantes para mantener unidas la grava y la arena.

Estabilización Arena-Arcilla:

La mezcla de arena con arcilla es un material estabilizado en forma económica cuando el suelo natural es arena con muy poco aglutinante o cuando no lo tiene, y la arcilla se puede obtener mediante un acarreo razonable. En zonas cercanas a las playas el suelo de la subrasante generalmente es arena con buen drenaje que puede ser estabilizado fácilmente con arcilla. Como la arena ya se encuentra en el camino, debe determinarse con cuidado la cantidad de arcilla que se le va a agregar, y además, fijarse la manera de operar el equipo para que la mezcla no contenga demasiada arena. Deben ejecutarse varias mezclas de prueba para determinar en forma efectiva la cantidad de arcilla menores del 10% del volumen, con respecto a la arena, no son aconsejables por ser muy difícil su distribución uniforme en la masa de arena.

Estabilización Grava-Arena-Arcilla:



El ingeniero de caminos muy a menudo se encuentra con la necesidad de construir sub-bases y bases con materiales baratos producto de la extracción de los mismos de depósitos naturales existentes a lo largo de la ruta a construir. Sin embargo, en muchas ocasiones, los materiales de dichos depósitos naturales, o son completamente arenosos con muy bajo valor cementante, o presentan características plásticas muy altas que lo hacen que queden fuera de las especificaciones que se exigen a los materiales de sub-base o base. En estos casos es cuando la mezcla de dos o más materiales de los depósitos mencionados pueden resolver el problema.

Un material francamente arenoso y carente de cementación, puede estabilizarse mezclándole un cierto porcentaje de un material arcilloso y viceversa. El problema estriba nada más en encontrar las cantidades a mezclar cada material. Al igual que en el caso de la mezcla arena-arcilla es necesario ejecutar varias veces mezclas para determinar la cantidad adecuada de cada material. La mezcla resultante debe ofrecer las especificaciones respectivas. Los problemas de construcción son similares a los de los otros de estabilización de suelos, teniéndose que disponer de algún medio para medir las cantidades del material que se va a colocar en los caminos para asegurar la uniformidad de la mezcla. El aglutinante (material arcilloso) debe pulverizarse para poder distribuirlo convenientemente por todo el volumen de los agregados, y se recomienda una compactación efectiva y uniforme.

3.5.2. Estabilización Suelo-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 más 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, CBR, 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 con 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.

3.5.3. Estabilización Suelo-Cemento.-

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo Proctor como en la compactación de suelos.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:



Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 – 5
A-1-b	5 – 8
A – 2	5 – 9
A – 3	7 – 11
A – 4	7 – 12
A – 5	8 – 13
A – 6	9 – 15
A – 7	10 - 16

Los suelos mejorados con cemento, constituyen un material semi-endurecido, pues la proporción de cemento no suele ser superior al 3% en peso de los suelos. En este caso, sólo se pretende mejorar las propiedades de un suelo para que sea adecuado como subrasante, base o sub-base de una capa de rodadura.

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de subrasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%.

3.5.4. Estabilización Suelo-Productos Asfálticos.-

El comportamiento de los materiales sometidos a la acción del tránsito, depende de dos propiedades básicas: cohesión y fricción interna. Por lo tanto, si se mezcla aun suelo un producto asfáltico que le proporcione la suficiente cohesión y fricción interna, o que contribuya a mantener dichas propiedades, entonces se habrá logrado un material estabilizado.

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 debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

3.5.5. Estabilización con agentes químicos.-

Este tema no es fácil de definir ya que todo tipo de estabilización de suelos involucra algún tipo de acción química. Y así, una definición amplia de la estabilización química envolvería en ella a la estabilización con cemento, asfalto y cal ya que se han tratado independientemente y que presentan cierto aspecto químico. Sin embargo, en esta parte se trata de ciertas sustancias químicas especiales para estabilizar suelos arcillosos en los cuales los otros sistemas de estabilización resultan menos eficaces. Pero es necesario reconocer que aunque las estabilizaciones químicas pueden ser eficientes bajo una amplia variedad de condiciones, no existe ningún producto químico mágico que pueda estabilizar todos los tipos de suelos en todas las circunstancias.

Un estabilizador químico debe ser tal que pequeñas cantidades del mismo produzcan los efectos deseados, que actúe rápidamente y que su función sea muy poco afectada por la composición del suelo.

A continuación se indicara algunas de estos estabilizadores tales como la resina de anilina, cloruro de calcio y cloruro de sodio.

Estabilización con resina de anilina:



La resina de anilina cuando se mezcla con un suelo en presencia de un catalizador ácido, origina una polimerización de condensación que produce una resina de gran poder de aglutinante e impermeabilizante, presentan buena resistencia al intemperismo y poseen alta durabilidad.

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.

3.6. ESTABILIZACIÓN CON MATERIAL RECICLADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.-

El reciclado es típicamente aplicada como una medida para tratar estructuras de pavimentos deterioradas compuestas por bases granulares y superficies asfálticas delgadas, constituidas tanto por concreto asfáltico como por varias capas de sellos superficiales. El deterioro en este tipo de pavimentos generalmente se manifiesta como capas asfálticas severamente agrietadas, capas granulares deformadas, y baches. El objetivo de añadir agentes estabilizadores mientras se recicla es recuperar la integridad estructural mediante el mejoramiento de las propiedades de ingeniería de los materiales recuperados, al mismo tiempo que es posible alcanzar una calidad de rodado óptima.

La estabilización Granular/Reciclado de Pavimento Asfáltico puede ser efectuada mediante el reciclado a distintas profundidades, generalmente entre 5 mm y 150 mm. Cuando la capacidad estructural necesita ser mejorada para ajustarse a mayores demandas de tráfico, la profundidad del reciclado puede incrementarse, alcanzando un aumento en el espesor de la nueva capa estabilizada. Sin embargo, es necesario que el pavimento existente tenga un espesor mínimo de material natural de buena calidad para aplicar esta alternativa. Los pavimentos deteriorados compuestos por capas estabilizadas (por ejemplo, con cemento o cal hidratada) también pueden ser reciclados.

Cuando una estrategia de rehabilitación de corto plazo es adoptada debido a restricciones presupuestarias, o cuando el deterioro del pavimento es causado por la mala capacidad de soporte de las capas superiores, la profundidad del reciclado debe reducirse. Existe siempre un mejoramiento significativo en la capacidad estructural del pavimento después de la estabilización. Esto se complementa con la aplicación de una capa superficial de asfalto sobre la capa reciclada. Evitar el ingreso de agua en las capas inferiores mediante la estabilización, también ayudará a extender la vida útil del pavimento reciclado.



Esta técnica de estabilización de materiales para capa base se la utiliza sobre materiales deteriorados que ya han estado en servicio, materiales que han perdido alguna de sus propiedades iniciales por el uso o envejecimiento pero que tienen el potencial de ser reutilizados. Esta técnica permite reciclar el pavimento a diferentes profundidades para la rehabilitación de las carreteras, en caso de que se presenten fallas estructurales la profundidad del reciclado es mayor, además también permite mejorar el material para conformar una capa base estabilizada.

El reciclado de las capas granulares superficiales existentes generalmente es realizado con agentes estabilizadores. La estabilización con emulsión o asfalto espumado habitualmente es realizada a una profundidad promedio de entre 125 mm a 150 mm más una capa superficial delgada, como un riego con gravilla o una lechada. Estabilizar con cemento o cal hidratada requiere que la profundidad del reciclado sea aumentada a 150-250 mm para alcanzar un producto similar en términos de vida estructural. Una aplicación adicional que cae dentro de esta categoría es la modificación del material plástico mediante el reciclado con cal hidratada. Durante el proceso de reciclado, sólo la cal requerida es agregada al material recuperado para eliminar o reducir la plasticidad. Por lo tanto, la adición de cal no es considerada como una estabilización, ya que la razón de agregar este estabilizador no es conseguir un aumento en la resistencia del material (pese a que a largo plazo es posible conseguir algún incremento en la resistencia).

No siempre es necesario adicionar un agente estabilizador cuando se recicla un pavimento existente, simplemente se recicla el pavimento existente conjuntamente con la capa base a ser estabilizada, se tritura el pavimento reciclado y se procede al mezclado de ambos materiales, por supuesto utilizando todo el material reciclado, y con esta mezcla realizamos la compactación correspondiente y así podemos lograr un material para capa base estabilizado mejorando sus características y propiedades además de sus dimensiones, esto es lo que se pretende realizar en el presente trabajo.



3.7. VENTAJAS DEL RECICLADO DE PAVIMENTOS PARA LA REHABILITACIÓN DE CARRETERAS.-

3.7.1. En General.-

El reciclado de pavimentos asfálticos supone en primer lugar un aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra. Los materiales envejecidos pueden ser reutilizados mediante una técnica adecuada de forma que son nuevamente válidos para la construcción del firme. Con este tipo de técnicas, en las operaciones de conservación se puede disminuir mucho la demanda de materiales (áridos, betún, etc.), se elimina la necesidad de encontrar canteras y vertederos próximos a la obra, se mejoran los rendimientos de fabricación, etc. Además, los métodos de reciclaje “in situ” permiten eliminar las operaciones de transporte de los materiales, tanto de los envejecidos hasta un vertedero como de los nuevos desde su punto de suministro hasta la obra. Todas estas mejoras repercuten en importantes ahorros y en un mayor respeto hacia el medio ambiente.

Tienen un nivel de afección al tráfico menor. Es posible reciclar sólo un carril y permitir la circulación por los restantes. Además, el tiempo de ocupación de la vía es menor que el de las técnicas clásicas, ya que un firme reciclado puede generalmente abrirse al tráfico en pocas horas.

Permite la estabilización de las capas inferiores en caso de problemas estructurales y el aprovechamiento de la capa de rodadura envejecida. Es posible reparar fallos estructurales sin necesidad de desechar los materiales existentes.

Reduce el espesor de la capa estabilizada por la mejora de las características y propiedades de los materiales, además puede reducir el espesor de la carpeta asfáltica.

3.7.2. Ventajas del reciclado en Planta.-

Algunos de los beneficios más evidentes del reciclado en frío para la rehabilitación de pavimentos son:

Factores medio ambientales. Se hace uso del 100% de los materiales del pavimento existente. No se necesita crear sitios de empréstitos de materiales, y el volumen del nuevo material que debe ser importado a la obra desde pozos de agregados es



minimizado. Esto reduce los efectos en el medio ambiente (en la actualidad, y debido a los métodos tradicionales de construcción, es frecuente observar cortes de gran tamaño en cerros, para extraer materiales de construcción), los cuales son inevitables cuando se abre una zona para extraer materiales de empréstito. Además, el transporte es reducido en forma drástica. El consumo de energía total es reducido en forma considerable, así como el efecto destructivo de los vehículos de transporte en la red vial.

Integridad estructural. El proceso de reciclado en frío produce capas ligadas gruesas que son homogéneas y no contienen interfaces débiles con otras capas más delgadas.

Algunos beneficios fundamentales del reciclaje en sitio en caliente de asfalto son:

Se logran ahorros sustanciales en costo y tiempo, mientras se protege el medio ambiente.

Se conservan recursos naturales no renovables como alquitrán y materiales agregados.

Es posible la reparación en un solo carril y se minimiza la interrupción de tráfico.

Se conserva la seguridad de los motoristas debido a que se evitan superficies peligrosas desniveladas y no hay superficies deslizantes ni grasosas.

Se mantiene la geometría del pavimento existente, que es particularmente importante en curvas, en cubiertas de las bocas de acceso y en puentes

3.7.3. Ventajas del Reciclado In-Situ.-

Calidad de la capa reciclada. Se logra una alta y consistente calidad de mezclado de los materiales In-Situ con el agua y los agentes estabilizadores. La adición de fluidos es precisa debido al microprocesador que controla los sistemas de bombeo. El material reciclado, más los aditivos, son mezclados en forma intensa en la cámara del tambor fresador-mezclador.

La alteración de la subrasante es mínima. La alteración de la estructura de pavimento subyacente es mínima comparada a la rehabilitación utilizando técnicas tradicionales de construcción. El reciclado en tanto en frío como en caliente generalmente es una operación que requiere una sola pasada de máquina. Cuando se utiliza una recicladora montada sobre



orugas, las ruedas traseras pasan sólo una vez sobre el material subyacente. Las recicladoras montadas sobre neumáticos reparten el material detrás de la máquina, evitando cualquier contacto entre las ruedas y el material expuesto bajo la estructura del pavimento (en ocasiones el material de pavimento que se vuelve a trabajar con maquinaria convencional somete a la subrasante a cargas repetitivas con un alto estado de tensiones, causando problemas de levantamiento en esta, lo que se traduce en excavar y rellenar con material importado).

Menores tiempos de construcción. Las recicladoras son capaces de producir con altas tasas de rendimiento que reducen significativamente los tiempos de construcción comparados con métodos alternativos de rehabilitación. Esta reducción de tiempos también disminuye los costos y generan un beneficio intangible para los usuarios del camino, ya que las interrupciones de tráfico son menores.

Seguridad. Uno de los beneficios más importantes del proceso de reciclado es la seguridad vial que es posible conseguir. El tren de reciclado completo se puede acomodar en el ancho de una pista.

Por ejemplo, en caminos con dos pistas, el reciclado puede ser llevado a cabo a lo largo de una mitad del ancho del camino durante el día. El ancho completo del camino, incluyendo la pista completamente reciclada, puede ser abierta al tráfico al anochecer.

Costo-efectividad. Los beneficios expuestos anteriormente se combinan para hacer del reciclado en frío una alternativa altamente atractiva para la rehabilitación de pavimentos en términos de costo-efectividad.



4.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR EN ESTUDIO.-

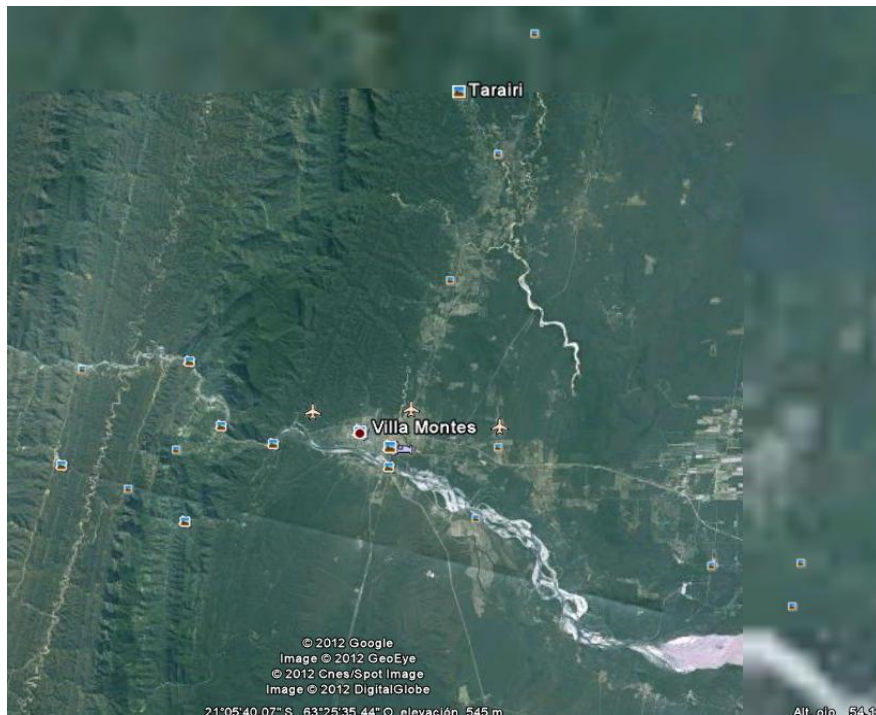
4.1.1. Ubicación.-

El lugar en estudio es en el tramo Villamontes – Tarairí, a continuación se describen algunas características del lugar en estudio:

Villamontes es un municipio y ciudad del sur de Bolivia, ubicado en el Departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma de Bolivia, el Gran Chaco. Está ubicada en las laderas de la Serranía del Aguaragüe.

El municipio de Villamontes forma parte de la provincia del Gran Chaco, y está situada en coordenadas $21^{\circ}15'39''\text{S}$ $63^{\circ}28'34''\text{O}$ / -21.26083, -63.47611, a 390 m sobre el nivel de mar, a la banda izquierda del Río Pilcomayo que cruza la Sierra del Aguaragüe y baja hacia el sudeste rumbo a la planicie del Gran Chaco. Villamontes es atravesada por la Quebrada Caiguamí que vierte sus aguas al Río Pilcomayo.

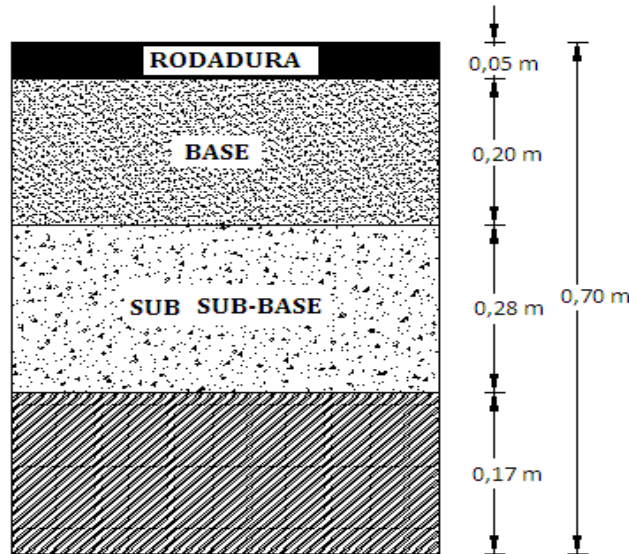
Las principales actividades económicas en la región son la ganadería y la pesca. Además las empresas petroleras generan muchas fuentes de trabajo para los pobladores de esta ciudad.





4.1.2. Características del Tramo.-

El lugar en estudio es en el tramo Villamontes – Tarairí carretera de pavimento flexible, la cual comprende aproximadamente 15,34 Km, el ancho de calzada es de 7,3 m, pendiente transversal igual a 2% y los espesores del paquete estructural son los siguientes:



Fuente: Administradora de Carreteras de Bolivia (ABC).

Para determinar estos espesores se realizó un sondeo que se muestra a continuación:

Prof. (m)	Descripción visual del material	Clasif. del suelo	Densidad (gr/cm ³)			Humedad		Valor de Soporte California			Expansión			
			Max. gr/cm ³	Nat. gr/cm ³	Nat. %	Opt %	Nat. %	100%	98 %	95 %	100 %	98 %	95 %	
0,05	Carpeta asfáltica													
0,25	Gravas y arenas de color marrón claro	A-1a (0)	2,208	2,126	96,3	6,2	3,5	97,2	70,1	34,6	0,0	0,0	0,0	
0,53	Gravas y arenas de color marrón claro	A-1b (0)	2,198	2,137	97,2	7,1	6,2	54,0	37,3	24,0	0,0	0,0	0,0	
0,70		A-4 (0)	2,146	2,057	95,8	7,25	7,7	10,6	8,5	5,8	0,5	0,7	1,1	

Fuente: Administradora de Carreteras de Bolivia (ABC).



4.2. RECICLADO DE LOS MATERIALES DE CAPA DE RODADURA PARA FORMAR UNA CAPA BASE ESTABILIZADA.-

Para el reciclado de los materiales, primeramente se procedió a la extracción de la capa de rodadura que se lo realizo con la cortadora de asfalto, trabajo que fue realizado por operadores de la ABC puesto que este tramo actualmente se encuentra en mantenimiento.

En las siguientes imágenes se muestra dicho procedimiento:



Cortadora de asfalto



Reciclado de capa de rodadura



Pavimento flexible reciclado

- La extracción del material para capa Base a ser estabilizado se hizo del banco de préstamo ubicado en Palmar Grande, carretera Villa Montes Yacuiba, ubicado en la progresiva 481+650, con relación a la Progresiva 0+000 que se encuentra en Santa Cruz.



4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL DE ACOPIO PARA CAPA BASE A SER ESTABILIZADO.-

4.3.1. Clasificación del Suelo.-

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	Acopio para Capa Base	Lugar	PALMAR GRANDE	Nº Ensayo	1
Profundidad (m.)	0	Progresiva	481+650	Fecha	10-mar-2014
Coordenadas		Pozo Nº	0	Realizado	Erland Cuellar

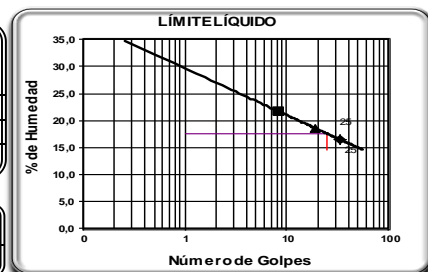
HUMEDAD HIGROSCÓPICA	Nº Tara	Psh + T	Pss + T	P T	Pss	% Hum.
	88	579,7	546,2	94,8	451,4	7,42
MUESTRA TOTAL SECA	Peso H. total	Agr. Grueso Ret. Nº 4	P. Suelo Hum. Nº 4	P. Ss.< Nº 4		Peso Total
	11838	4402	7436	6922,3		11324,3

GRANULOMETRÍA AASHTO T 27

Peso total seco (grs.)		11838,0			Muestra > tamiz Nº 4	500,0
Tamiz Nº	Peso Retenido Tamiz (grs.)	Peso Retenido Acumulado (grs.)	% Retenido Tamiz	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Abertura Mm.
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	50,80
1"	1535,0	1535,0	13,0	13,0	87,0	25,40
3/4"	641,0	2176,0	5,4	18,4	81,6	19,05
3/8"	1489,0	3665,0	12,6	31,0	69,0	9,525
4	737,0	4402,0	6,2	37,2	62,8	4,800
Peso total seco Pasa Tamiz Nº 4 (grs.)		465,5				
10	27,8	27,8	6,0	40,7	59,3	2,000
40	21,1	48,9	4,5	43,3	56,7	0,420
200	192,8	241,7	41,4	67,5	32,5	0,074

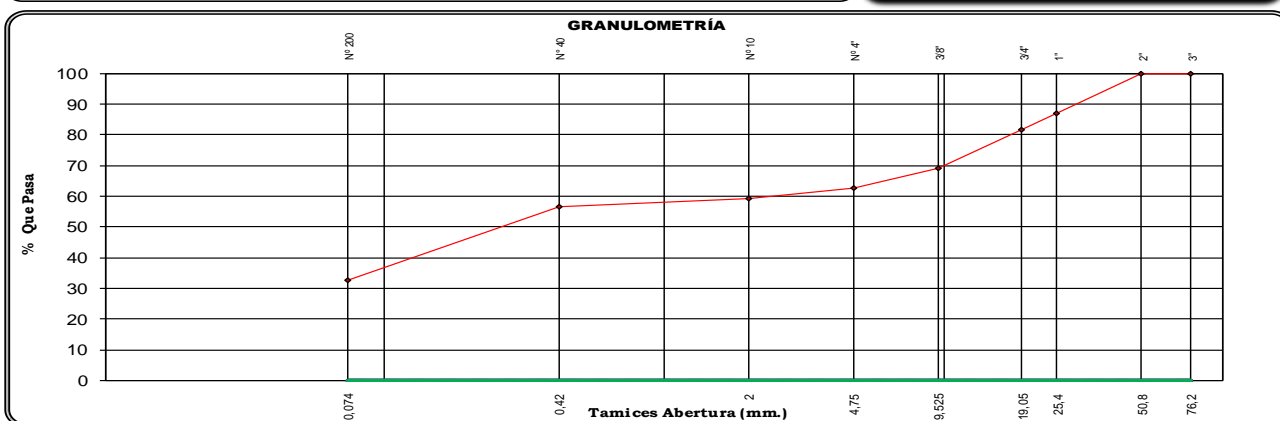
LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89

Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
63	55,60	49,50	6,10	21,57	27,93	21,84	8
69	58,60	52,84	5,76	21,73	31,11	18,51	19
30	67,49	60,8	6,69	20,34	40,46	16,53	33



LIMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

							N.P.



OBSERVACIONES.-

Límite Líquido	17,5	Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad ad	0,0	SISTEMA UNIDO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS A - 2 - 4 (0) Grava limosa con arena GM
Coefficiente de uniformidad	D60=	2,58	D30=	D10=		



4.3.2. Compactación Proctor T-180.-

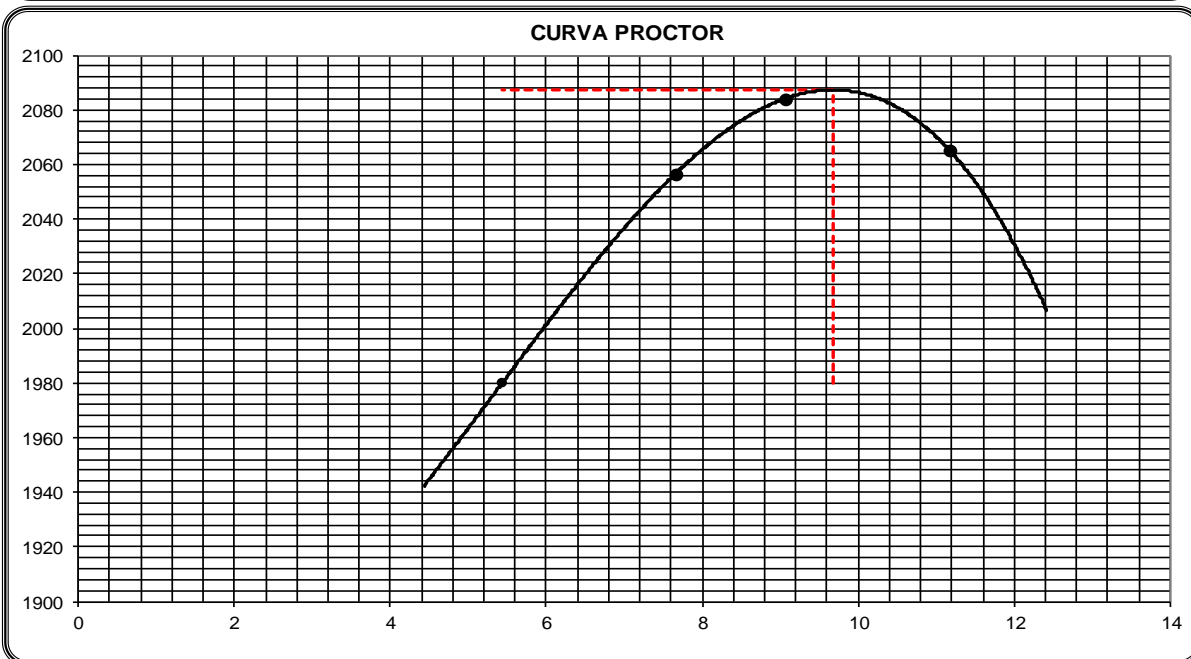
ENSAYO DE COMPACTACIÓN AASHTO T - 180

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	Material Natural	Lado Plataf.		Ensayo	1
Profundidad (m.)	0,00	Tramo		Fecha	10-mar-2014
Coordenadas		Pozo (Km.)	0	Realizado	Erland Cuellar

PROCTOR

Determinación Nº	Unidad	1	2	3	4	
Nº Capas	Capas	5	5	5	5	
Nº Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56	56	
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	7742,0	8011,0	8137,0	8185,0	
Peso del Molde	gr.	3304,0	3304,0	3304,0	3304,0	
Peso Suelo Húmedo	gr.	4438,0	4707,0	4833,0	4881,0	
Volumen del Molde	cc	2126,0	2126,0	2126,0	2126,0	
Peso Específico Húmedo	Kg./m3	2087,5	2214,0	2273,3	2295,9	
Cápsula No		91	17	28	27	
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	547,80	575,60	605,90	601,70	
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	525,60	541,40	563,60	551,30	
Peso Agua	gr.	22,20	34,20	42,30	50,40	
Peso Cápsula	gr.	117,00	94,60	97,40	100,20	
Peso Suelo Seco	gr.	408,60	446,80	466,20	451,10	
Contenido de Humedad	%	5,43	7,65	9,07	11,17	
Peso Específico Seco	Kg./m3	1979,9	2056,6	2084,2	2065,1	

CURVA PROCTOR



Densidad Máxima	2087 Kg./m3
Humedad Optima	9,7 %

OBSERVACIONES.- _____



4.3.3. Relación Soporte California (CBR).-

ENSAYO DE SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Proyecto	PROYECTO DE GRADO					
Material	Material Natural		Lado Plataf.		Ensayo	1
Profundidad (m.)	0		Tramo		Fecha	11-mar-2014
Coordenadas			Pozo N°	0	Realizado	Erland Cuellar

TAMIZ	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	LL	IP	CLASIF.
% PASA	62,8	59,3	56,7	32,5	17,5	0,0	A - 2 - 4 (0)

Molde N°	1	1	2	2	3	3
N° de Capas	5	5	5	5	5	5
N° de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12801	12866	12365	12380	11681	11704
Peso Molde (grs.)	8063	8063	7945	7945	7562	7562
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4738	4803	4420	4435	4119	4142
Volumen de la muestra (cm3)	2068	2068	2032	2032	2006	2006
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2,291	2,323	2,175	2,183	2,053	2,065

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

Tara N°	59	59	60	60	61	61
Peso Suelo Húmedo+Tara	222,00	181,84	213,00	193,04	216,20	193,92
Peso Suelo Seco + Tara	204,10	165,59	196,70	177,94	199,60	178,39
Peso Agua	17,90	16,25	16,30	15,10	16,60	15,53
Peso Tara	22,73	22,73	24,13	24,13	24,24	24,24
Peso Suelo Seco	181,37	142,86	172,57	153,81	175,36	154,15
% de Humedad	9,87	11,38	9,45	9,82	9,47	10,08
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	2,085	2,085	1,987	1,987	1,876	1,876
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	2,087	2,087	2,087	2,087	2,087	2,087
% De Compactación	99,9	99,9	95,2	95,2	89,9	89,9

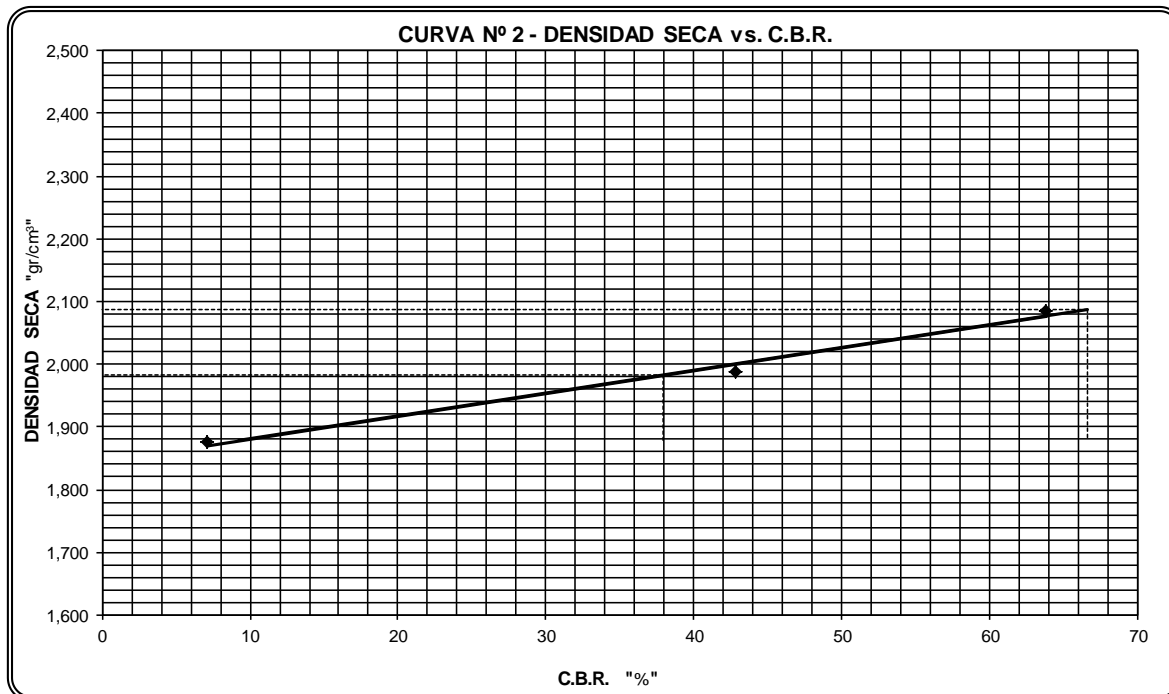
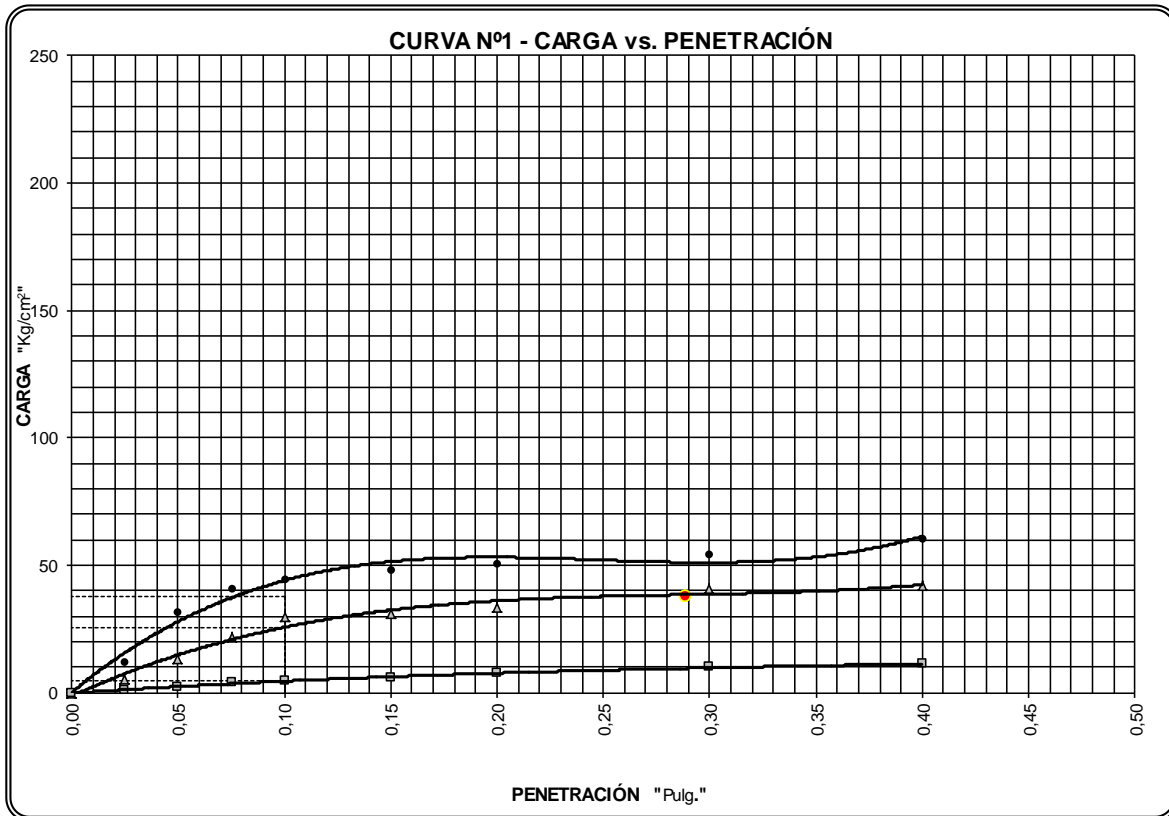
DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect.,	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión
11-mar-14			0			0			0		
12-mar-14											
13-mar-14											
14-mar-14											
15-mar-14			3	0,0	0,03 %	5	0,05	0,04 %	5	0,05	0,04 %

Factor Aro 5000 % Exp. Total 0,0

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Calc.	Correg.	C.B.R.
0,5	0,025	0,64		233	12,0			101	5,2			21	1,1	
1,0	0,050	1,27		608	31,4			258	13,3			44	2,3	
1,5	0,075	1,91		790	40,8			429	22,2			77	4,0	
2,0	0,100	2,54	70,3	868	44,9	44,9	63,8	582	30,1	30,1	42,8	97	5,0	5,0
3,0	0,150	3,81		933	48,2			601	31,1			115	5,9	
4,0	0,200	5,08	105,5	980	50,6			644	33,3			149	7,7	
6,0	0,300	7,62		1051	54,3			788	40,7			194	10,0	
8,0	0,400	10,16		1173	60,6			812	42,0			221	11,4	
10,0	0,500	12,70		0	0,0			0	0,0			0	0,0	

Observaciones.-



DENS. AL 90% :	1,879 gr/cm3	C.B.R. AL 90% :	9,2	N° 1
DENS. AL 95% :	1,983 gr/cm3	C.B.R. AL 95% :	37,9	
DENS. AL 100% :	2,087 gr/cm3	C.B.R. AL 100% :	66,6	
EXP. AL 95% :	0,0	EXP. AL 100% :	0,0	



4.3.4. Resumen.-

MATERIAL:	ACOPIO PARA CAPA BASE		
CLASIFICACION DE SUELO			
Contenido de Humedad	% de Humedad	7,42	%
Granulometría	Gravas	37,19	%
	Arenas	32,62	%
	Finos	30,20	%
Limites	Limite Liquido	17,50	
	Limite Plástico	N.P.	
	Índice de Plasticidad	0,00	
Tipo de Suelo	A-2-4 (0) Grava Limosa con Arena		
COMPACTACION PROCTOR T-180			
COMPACTACION PROCTOR T-180	Humedad Optima	9,70	%
	Densidad	2.087,00	Kg/m3
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180			
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180	CBR 90%	9,20	%
	CBR 95%	37,90	%
	CBR 100%	66,60	%
	Densidad 90%	1.879,00	Kg/m3
	Densidad 95%	1.983,00	Kg/m3
	Densidad 100%	2.087,00	Kg/m3



4.4. ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL RECICLADO DE CAPA DE RODADURA.-

4.4.1. Clasificación del Suelo.-

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	Carpeta Asfáltica Reciclada	Lugar		Nº Ensayo	2
Profundidad (m.)	0	Progresiva		Fecha	17-mar-2014
Coordenadas		Pozo Nº	0	Realizado	Erland Cuellar

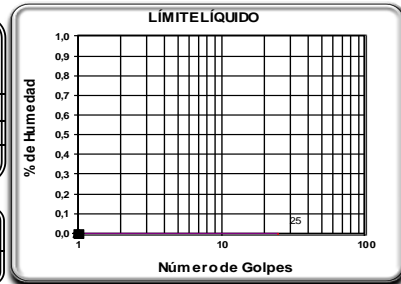
HUMEDAD HIGROSCÓPICA	Nº Tara	Psh + T	Pss + T	PT	Pss	% Hum.
	30	88,3	86,1	20,34	65,76	3,35
MUESTRA TOTAL SECA	Peso H. total	Agr. Grueso Ret. Nº 4	P. Suelo Hum. Nº 4	P. Ss. < Nº 4		Peso Total
	5216	3502,6	1713,4	1657,9		5160,5

GRANULOMETRÍA AASHTO T 27

Peso total seco (grs.)		5141,3			Muestra > tamiz Nº 4		468,0	
Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Abertura	Especificaciones	
Nº	Tamiz (grs.)	Acumulado (grs.)	Tamiz	Acumulado	Pasa	Mm.		
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20		
2"	266,4	266,4	5,2	5,2	94,8	50,80		
1"	1064,6	1331,0	20,7	25,9	74,1	25,40		
3/4"	643,9	1974,9	12,5	38,4	61,6	19,05		
3/8"	743,4	2718,3	14,5	52,9	47,1	9,525		
4	784,3	3502,6	15,3	68,1	31,9	4,800		
Peso total seco Pasa Tamiz Nº 4 (grs.)		452,8						
10	390,1	390,1	86,1	94,7	5,3	2,000		
40	11,8	401,9	2,6	95,5	4,5	0,420		
200	8,0	409,9	1,8	96,0	4,0	0,074		

LIMITES DE ATTERBERG (Limite Líquido) AASHTO T- 89

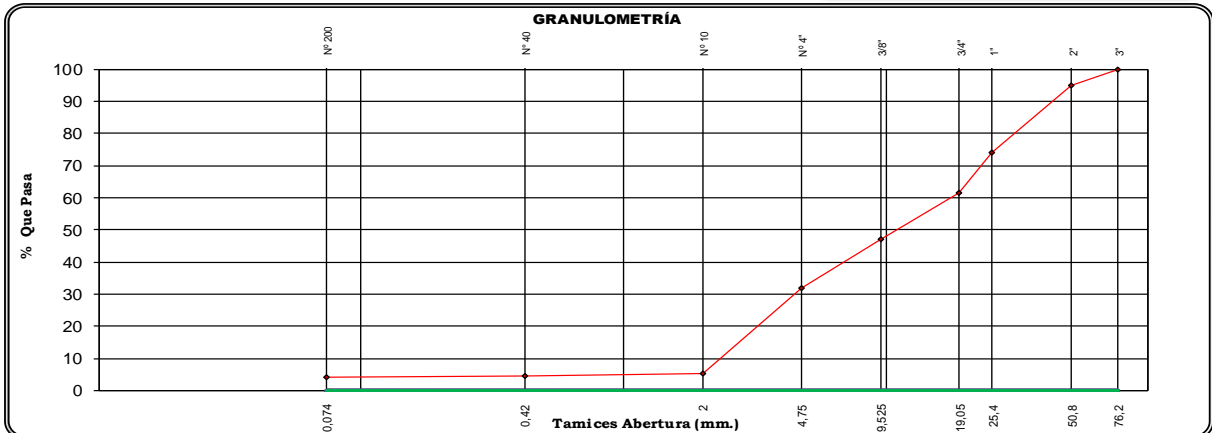
Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes



LIMITES DE ATTERBERG (Limite Plástico) AASHTO T-90

							N.P.
--	--	--	--	--	--	--	------

GRANULOMETRÍA



OBSERVACIONES.-

Limite Líquido	0,0	Limite Plástico	N.P.	Indice de plasticidad	0,0	SISTEMA UNIDO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS A - 1a (0)
Coefficiente de uniformidad	7,25	D60=	18,35	D30=	4,79	
Grava mal graduada con arena GP						



4.4.2. Resumen.-

MATERIAL:	ASFALTO RECICLADO		
CLASIFICACION DE SUELO			
Contenido de Humedad	% de Humedad	3,35	%
Granulometría	Gravas	68,13	%
	Arenas	28,85	%
	Finos	3,02	%
Limites	Limite Liquido	0,00	
	Limite Plástico	N.P	
	Índice de Plasticidad	0,00	
Tipo de Suelo	A - 1 a (0) Grava Mal Graduada con Arena		

4.5. ESTABILIZACIÓN DEL MATERIAL DE CAPA BASE.-

Estabilizar es mezclar un material con otro de tal manera que pueda mejorar sus diferentes características y propiedades, para este caso el material a mejorar es el material de acopio mezclándolo con el material reciclado de capa de rodadura.

Antes de realizar la mezcla de los materiales estos deben pasar por un proceso de triturado del material reciclado de capa de rodadura, ya que debido a la compactación estos se vuelven como rocas. Este proceso de triturado se realizó con cincel y combo hasta lograr la desintegración completa de los materiales y así de esta forma obtener un material parecido a gravas y gravillas.

La idea del presente estudio es estabilizar el material de acopio para capa base mejorando sus propiedades y características del mismo a través de esta técnica del reciclado, no es un método muy usual para la conformación de capas base, por que no se tiene mucho conocimiento sobre esto, es por eso que uno de los objetivos es demostrar que esta técnica puede ser aplicable en nuestro medio y romper con los esquemas clásicos de conformación de materiales aptos para una capa base de una carretera.



Esta técnica permite volver a reutilizar todo el material deteriorado de la capa de rodadura, como se tiene un espesor de 5 cm de capa de rodadura se puede obtener un buen volumen para mezclar con material de acopio para estabilizarlo por lo que se optó por realizar a tres diferentes proporciones de material, como que se indica a continuación:

Nro.	Asfalto Reciclado	Acopio Para Capa Base
1	1	3
2	1	2
3	1	1

Este proceso sería demasiado caro y se necesitaría mucho tiempo, pero otra forma de reciclado de pavimento flexible sería con un escarificador y el triturado ya no sería manual si no a través de un chancadora lo que reduciría el tiempo y el costo.

Pero una forma más económica y de menor tiempo es realizando la rehabilitación de carreteras con las maquinas especiales para el reciclado, ya que estas no solo reciclan si no también mezclan los materiales y lo uniformiza dejándolo listo para la compactación con tan solo una pasada.

Registro Fotográfico:



Material triturado de capa de rodadura



Material acopio para capa base

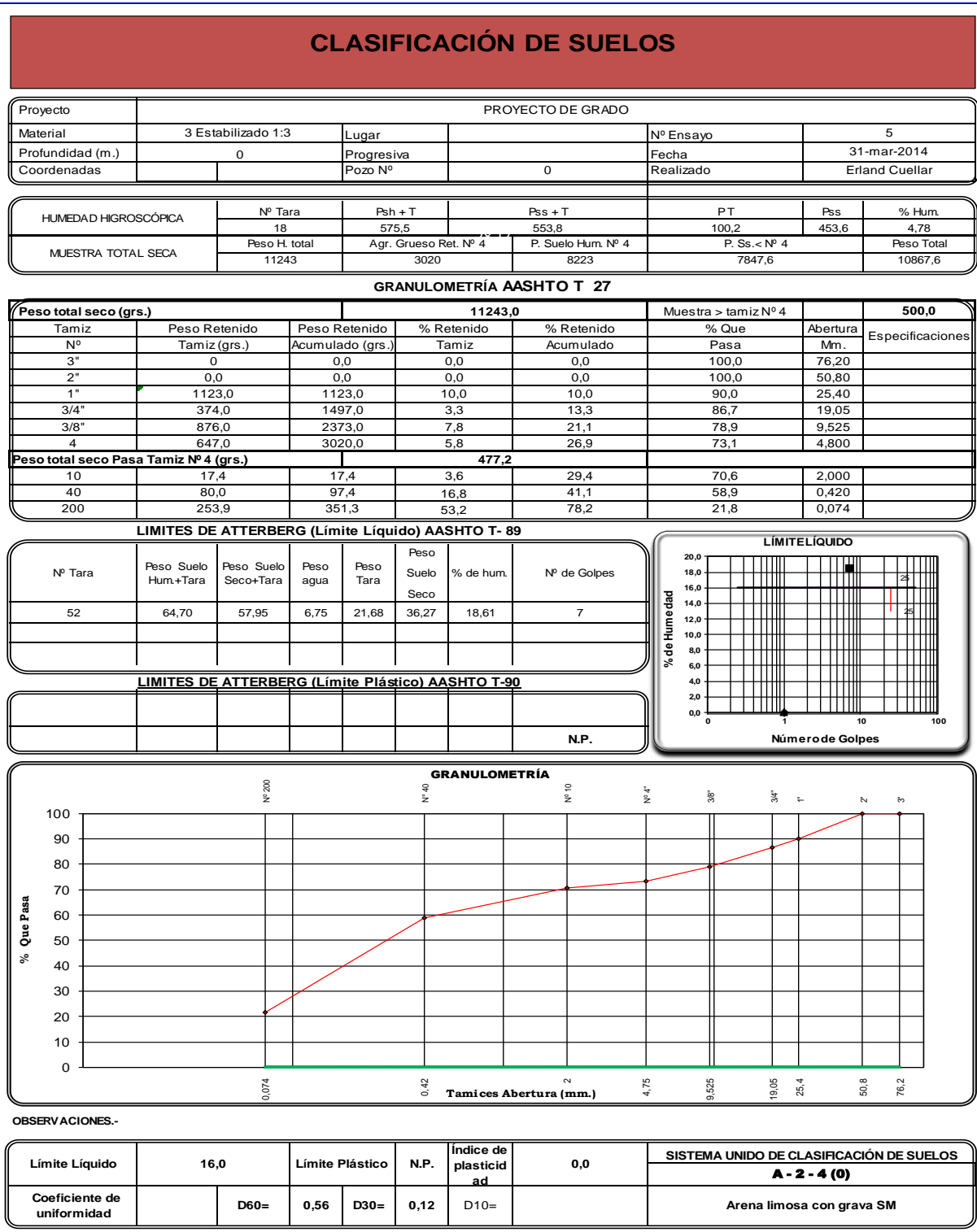


Mezcla de los materiales de capa de rodadura y acopio para capa base



4.6. ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL ESTABILIZADO EN PROPORCIÓN DE 1:3.-

4.6.1. Clasificación del suelo.-





4.6.2. Compactación Proctor T-180.-

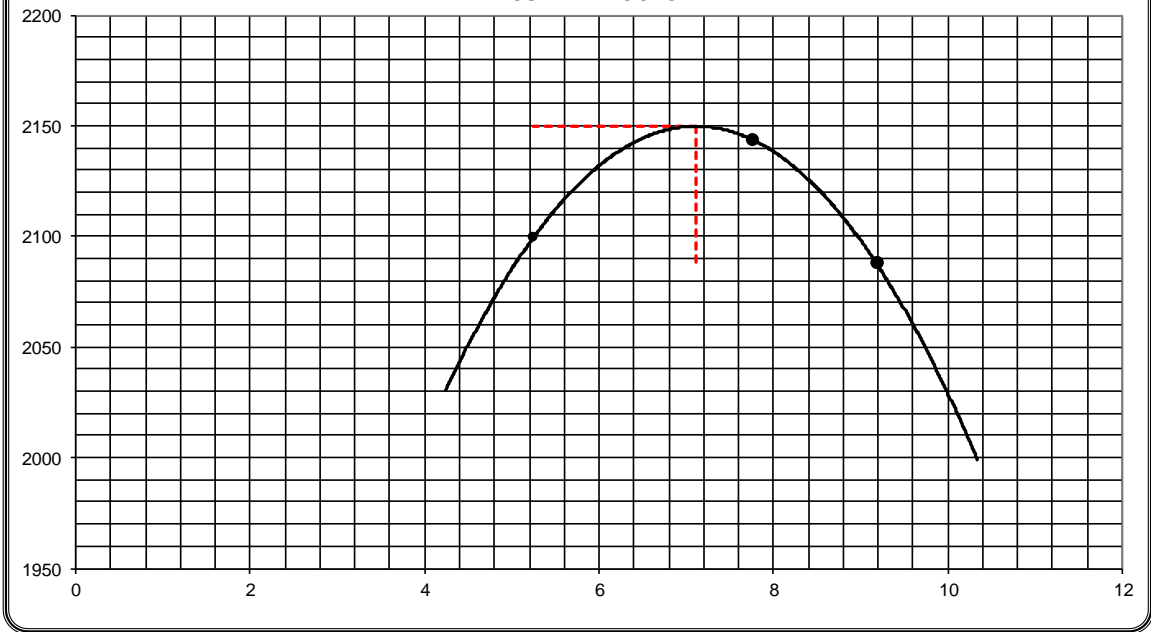
ENSAYO DE COMPACTACIÓN AASHTO T - 180

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	3 Estabilizado 1:3	Lado Plataf.		Ensayo	5
Profundidad (m.)	0,00	Tramo		Fecha	31-mar-2014
Coordenadas		Pozo (Km.)	0	Realizado	Erland Cuellar

PROCTOR

Determinación Nº	Unidad	1	2	3			
Nº Capas	Capas	5	5	5			
Nº Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56			
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	8001,0	8215,0	8151,0			
Peso del Molde	gr.	3304,0	3304,0	3304,0			
Peso Suelo Húmedo	gr.	4697,0	4911,0	4847,0			
Volumen del Molde	cc	2126,0	2126,0	2126,0			
Peso Específico Húmedo	Kg./m3	2209,3	2310,0	2279,9			
Cápsula No		24	18	22			
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	581,30	581,30	509,60			
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	557,30	546,70	475,10			
Peso Agua	gr.	24,00	34,60	34,50			
Peso Cápsula	gr.	99,60	100,20	99,00			
Peso Suelo Seco	gr.	457,70	446,50	376,10			
Contenido de Humedad	%	5,24	7,75	9,17			
Peso Específico Seco	Kg./m3	2099,2	2143,8	2088,3			

CURVA PROCTOR



Densidad Máxima	2150 Kg./m3
Humedad Óptima	7,1 %

OBSERVACIONES.- _____



4.6.3. Relación Soporte California (CBR).-

ENSAYO DE SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	3 Estabilizado 1:3	Lado Plataf.		Ensayo	5
Profundidad (m)	0	Tramo		Fecha	8-abr-2014
Coordenadas		Pozo N°	0	Realizado	Erland Cuellar

TAMIZ	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	IP	CLASIF.
% PASA	73,1	70,6	58,9	21,8	16,0	0,0	A - 2 - 4 (0)

Molde Nº	4	4	5	5	6	6
Nº de Capas	5	5	5	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12380	12402	12108	12177	11972	11998
Peso Molde (grs.)	7562	7562	7504	7504	7527	7527
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4818	4840	4604	4673	4445	4471
Volumen de la muestra (cm3)	2006	2006	2105	2105	2150	2150
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2,402	2,413	2,187	2,220	2,067	2,080

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido
Tara Nº	58	58	45	45	57	57
Peso Suelo Húmedo+Tara	182,20	182,08	208,70	191,68	222,10	174,40
Peso Suelo Seco + Tara	171,30	170,51	195,80	177,66	208,40	163,14
Peso Agua	10,90	11,57	12,90	14,02	13,70	11,26
Peso Tara	22,76	22,76	23,96	23,96	21,80	21,80
Peso Suelo Seco	148,54	147,75	171,84	153,70	186,60	141,34
% de Humedad	7,34	7,83	7,51	9,12	7,34	7,97
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	2,238	2,238	2,034	2,034	1,926	1,926
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	2,150	2,150	2,150	2,150	2,150	2,150
% De Compactación	104,1	104,1	94,6	94,6	89,6	89,6

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

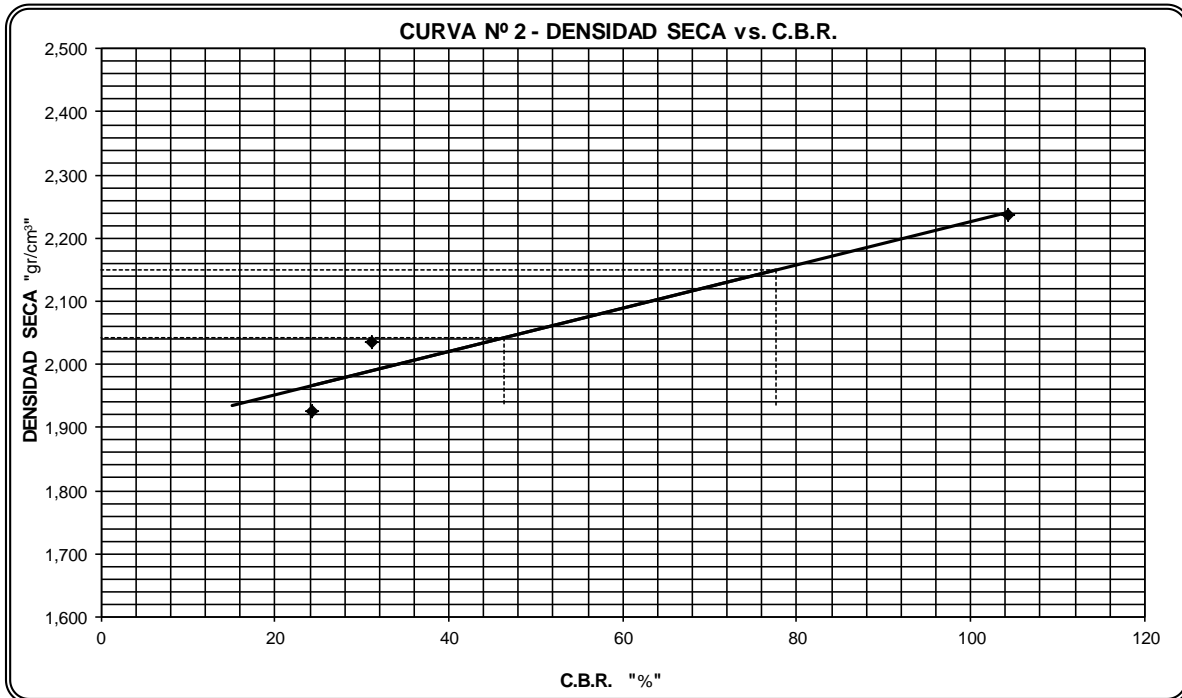
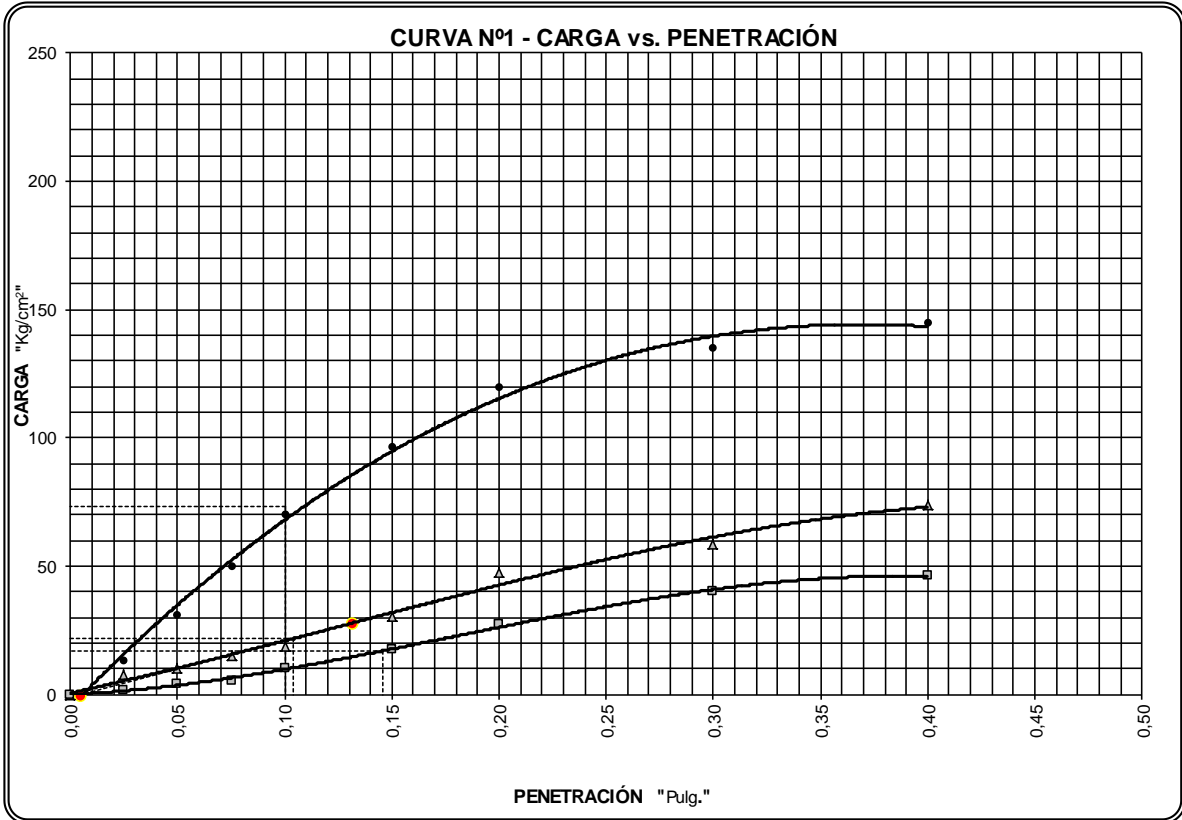
Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
08-abr-14			0			0			0		
09-abr-14											
10-abr-14											
11-abr-14											
12-abr-14			6	0,1	0,05 %	8	0,08	0,07 %	12	0,12	0,10 %

Factor Aro 5000

% Exp. Total 0,1

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		
0,5	0,025	0,64		253	13,1			148	7,6				39	2,0				
1,0	0,050	1,27		596	30,8			196	10,1				77	4,0				
1,5	0,075	1,91		964	49,8			290	15,0				101	5,2				
2,0	0,100	2,54	70,3	1355	70,0	73,3	104,3	366	18,9	21,9	31,2		194	10,0	17,1	24,3		
3,0	0,150	3,81		1870	96,6			594	30,7				345	17,8				
4,0	0,200	5,08	105,5	2320	119,9			917	47,4				526	27,2				
6,0	0,300	7,62		2610	134,9			1139	58,9				780	40,3				
8,0	0,400	10,16		2801	144,8			1426	73,7				894	46,2				
10,0	0,500	12,70		0	0,0			0	0,0				0	0,0				

Observaciones.-



DENS. AL 90% :	1,935 gr/cm3	C.B.R.. AL 90% :	15,1	N° 5
DENS. AL 95% :	2,042 gr/cm3	C.B.R.. AL 95% :	46,3	
DENS. AL 100% :	2,150 gr/cm3	C.B.R. AL 100% :	77,6	
EXP. AL 95% :	0,1	EXP. AL 100% :	0,1	



4.6.4. Resumen.-

MATERIAL:		ESTABILIZADO 1:3	
CLASIFICACION DE SUELO			
Contenido de Humedad	% de Humedad	4,78	%
Granulometría	Gravas	26,86	%
	Arenas	53,85	%
	Finos	19,29	%
Limites	Limite Liquido	16,00	
	Limite Plástico	N.P.	
	Índice de Plasticidad	0,00	
Tipo de Suelo	A - 2- 4 (0) Arena Limosa con Grava		
COMPACTACION PROCTOR T-180			
COMPACTACION PROCTOR T-180	Humedad Optima	7,10	%
	Densidad	2.150,00	Kg/m3
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180			
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180	CBR 90%	15,10	%
	CBR 95%	46,30	%
	CBR 100%	77,60	%
	Densidad 90%	1.935,00	Kg/m3
	Densidad 95%	2.042,00	Kg/m3
	Densidad 100%	2.150,00	Kg/m3



4.7. ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL ESTABILIZADO EN PROPORCIÓN DE 1:2.-

4.7.1. Clasificación del suelo.-

CLASIFICACIÓN DE SUELOS						
Proyecto						
PROYECTO DE GRADO						
Material	3 Estabilizado 1:2		Lugar		Nº Ensayo	8
Profundidad (m.)	0		Progresiva		Fecha	21-abr-2014
Coordenadas			Pozo Nº	0	Realizado	Erland Cuellar
HUMEDAD HIGROSCÓPICA						
	Nº Tara	Psh + T		Pss + T	P T	Pss
	3	69,3		67,9	24,36	43,54
MUESTRA TOTAL SECA						
	Peso H. total	Agr. Grueso Ret. Nº 4		P. Suelo Hum. Nº 4	P. Ss.- Nº 4	Peso Total
	5152,2	2613		2539,2	2460,1	5073,1
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27						
Peso total seco (grs.)			4982,4		Muestra > tamiz Nº 4	226,7
Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Abertura
Nº	Tamiz (grs.)	Acumulado (grs.)	Tamiz	Acumulado		Mm.
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20
2"	245,0	245,0	4,9	4,9	95,1	50,80
1"	369,0	614,0	7,4	12,3	87,7	25,40
3/4"	382,5	996,5	7,7	20,0	80,0	19,05
3/8"	1027,5	2024,0	20,6	40,6	59,4	9,525
4	689,0	2713,0	13,8	54,5	45,5	4,800
Peso total seco Pasa Tamiz Nº 4 (grs.)			219,6			
10	35,9	35,9	16,3	61,7	38,3	2,000
40	46,0	81,9	20,9	70,9	29,1	0,420
200	87,2	169,1	39,7	88,4	11,6	0,074
LIMITE DE ATTERBERG (Limite Líquido) AASHTO T- 89						
Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.
LIMITE DE ATTERBERG (Limite Plástico) AASHTO T-90						
						N.P.
GRANULOMETRÍA						
OBSERVACIONES.-						
Límite Líquido	0,0		Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0,0
SISTEMA UNIDO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS						
A - 1a (0)						
Coefficiente de uniformidad	D60=	10,15	D30=	0,57	D10=	
Grava mal graduada con limo con arena GP GM						



4.7.2. Compactación Proctor T-180.-

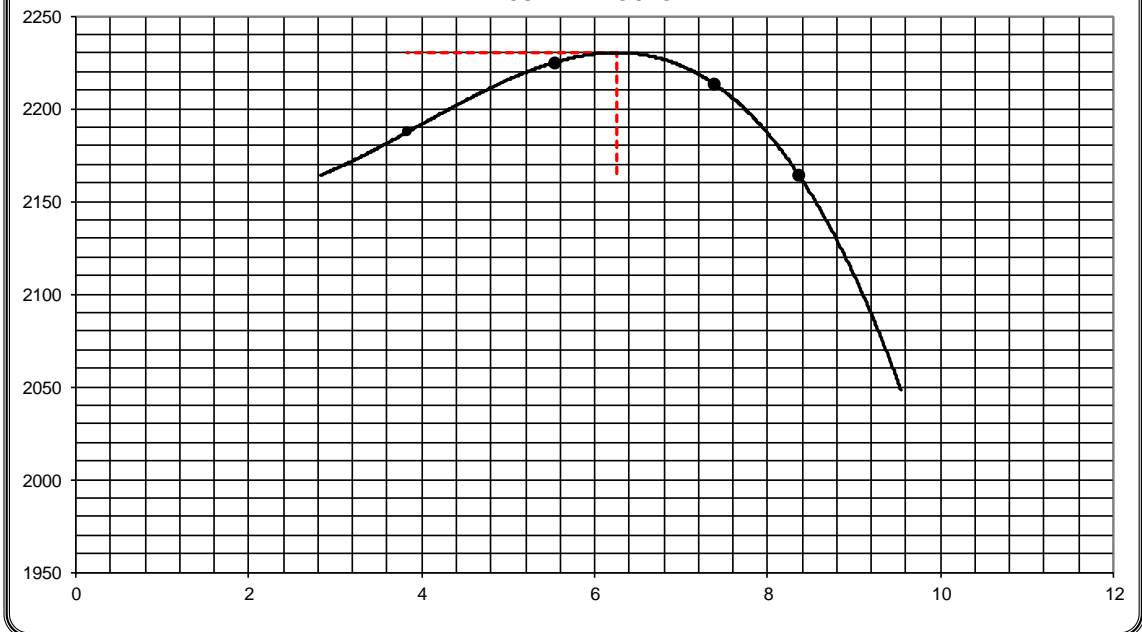
ENSAYO DE COMPACTACIÓN AASHTO T - 180

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	3 Estabilizado 1:2	Lado Plataf.		Ensayo	8
Profundidad (m.)	0,00	Tramo		Fecha	21-abr-2014
Coordenadas		Pozo (Km.)	0	Realizado	Erland Cuellar

PROCTOR

Determinación Nº	Unidad	1	2	3	4
Nº Capas	Capas	5	5	5	5
Nº Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56	56
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	8132,0	8295,0	8357,0	8291,0
Peso del Molde	gr.	3304,0	3304,0	3304,0	3304,0
Peso Suelo Húmedo	gr.	4828,0	4991,0	5053,0	4987,0
Volumen del Molde	cc	2126,0	2126,0	2126,0	2126,0
Peso Especifico Húmedo	Kg./m3	2270,9	2347,6	2376,8	2345,7
Cápsula No		88	90	89	93
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	412,00	452,80	404,80	435,10
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	400,30	434,10	383,80	409,10
Peso Agua	gr.	11,70	18,70	21,00	26,00
Peso Cápsula	gr.	94,80	95,60	99,10	97,80
Peso Suelo Seco	gr.	305,50	338,50	284,70	311,30
Contenido de Humedad	%	3,83	5,52	7,38	8,35
Peso Especifico Seco	Kg./m3	2187,2	2224,7	2213,5	2164,9

CURVA PROCTOR



Densidad Máxima	2230 Kg./m3
Humedad Optima	6,3 %

OBSERVACIONES.-



4.7.3. Relación Soporte California (CBR).-

ENSAYO DE SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Proyecto	PROYECTO DE GRADO					
Material	3 Estabilizado 1:2	Lado Plataf.		Ensayo	8	
Profundidad (m.)	0	Tramo		Fecha	25-abr-2014	
Coordenadas		Pozo N°	0	Realizado	Erland Cuellar	

TAMIZ	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	LL	IP	CLASIF.
% PASA	45,5	38,3	29,1	11,6	0,0	0,0	A - 1a (0)

Molde N°	1	1	2	2	3	3
N° de Capas	5	5	5	5	5	5
N° de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12972	12982	12714	12738	12197	12246
Peso Molde (grs.)	8063	8063	7945	7945	7562	7562
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4909	4919	4769	4793	4635	4684
Volumen de la muestra (cm3)	2068	2068	2032	2032	2006	2006
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2,374	2,379	2,347	2,359	2,311	2,335

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido
Tara N°	88	88	89	89	90	90
Peso Suelo Húmedo+Tara	638,60	758,40	544,00	792,80	548,60	764,80
Peso Suelo Seco + Tara	605,80	717,11	516,50	746,66	522,10	719,06
Peso Agua	32,80	41,29	27,50	46,14	26,50	45,74
Peso Tara	94,80	94,80	99,10	99,10	95,60	95,60
Peso Suelo Seco	511,00	622,31	417,40	647,56	426,50	623,46
% de Humedad	6,42	6,64	6,59	7,12	6,21	7,34
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	2,231	2,231	2,202	2,202	2,175	2,175
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	2,230	2,230	2,230	2,230	2,230	2,230
% De Compactación	100,0	100,0	98,7	98,7	97,5	97,5

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

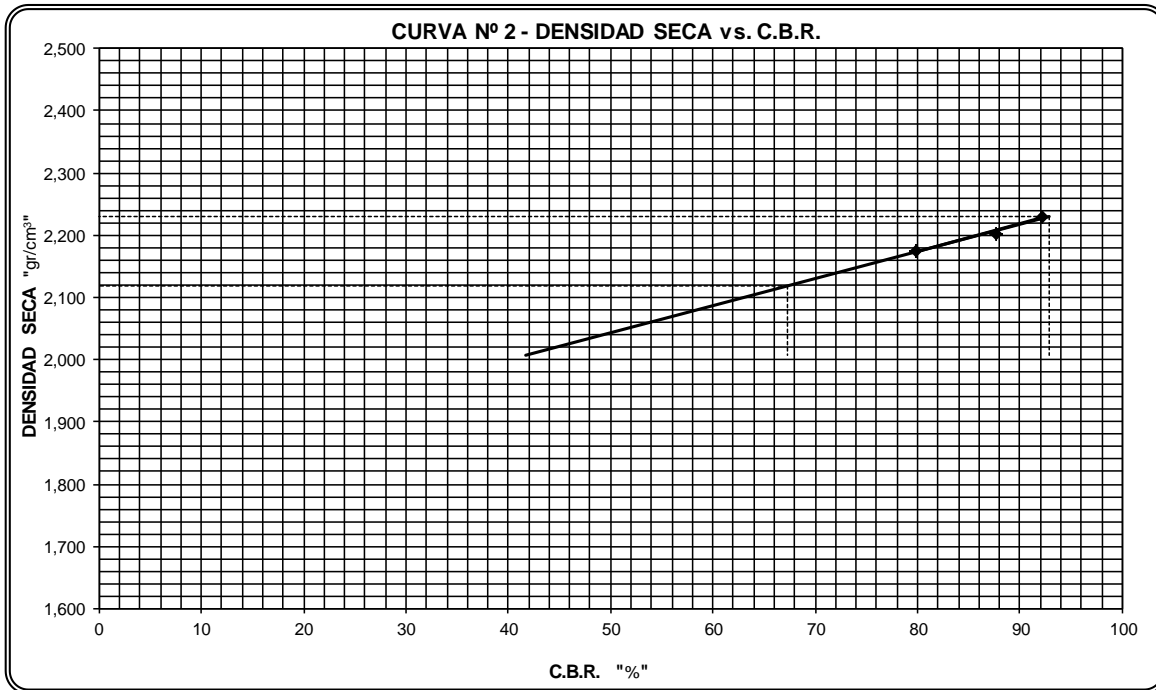
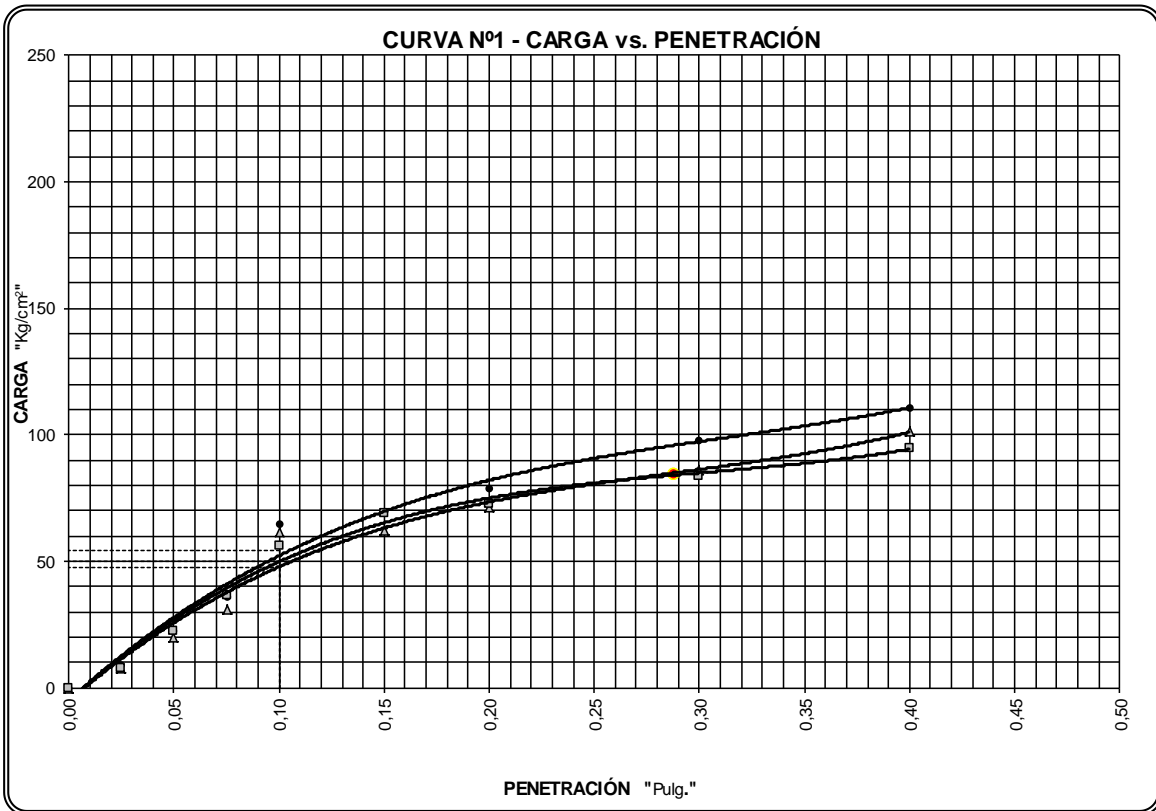
Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
25-abr-14			0			0			0		
26-abr-14											
27-abr-14											
28-abr-14											
29-abr-14			0	0,0	0,00 %	0	0	0,00 %	0	0	0,00 %

Factor Aro 5000

% Exp. Total 0,0

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg/cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.,	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.,	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.,
0,5	0,025	0,64		171	8,8			150	7,8			157	8,1						
1,0	0,050	1,27		437	22,6			384	19,9			435	22,5						
1,5	0,075	1,91		700	36,2			607	31,4			707	36,6						
2,0	0,100	2,54	70,3	1254	64,8	64,8	92,2	1193	61,6	61,6	87,7	1086	56,1	56,1	79,8				
3,0	0,150	3,81		1344	69,5			1209	62,5			1332	68,8						
4,0	0,200	5,08	105,5	1530	79,1			1387	71,7			1408	72,8						
6,0	0,300	7,62		1893	97,8			1662	85,9			1625	84,0						
8,0	0,400	10,16		2145	110,9			1963	101,4			1834	94,8						
10,0	0,500	12,70		0	0,0			0	0,0			0	0,0						

Observaciones.-



DENS. AL 90% :	2,007 gr/cm ³	C.B.R.. AL 90% :	41,7	N° 8
DENS. AL 95% :	2,119 gr/cm ³	C.B.R.. AL 95% :	67,3	
DENS. AL 100% :	2,230 gr/cm ³	C.B.R.. AL 100% :	92,9	
EXP. AL 95% :	0,0	EXP. AL 100% :	0,0	



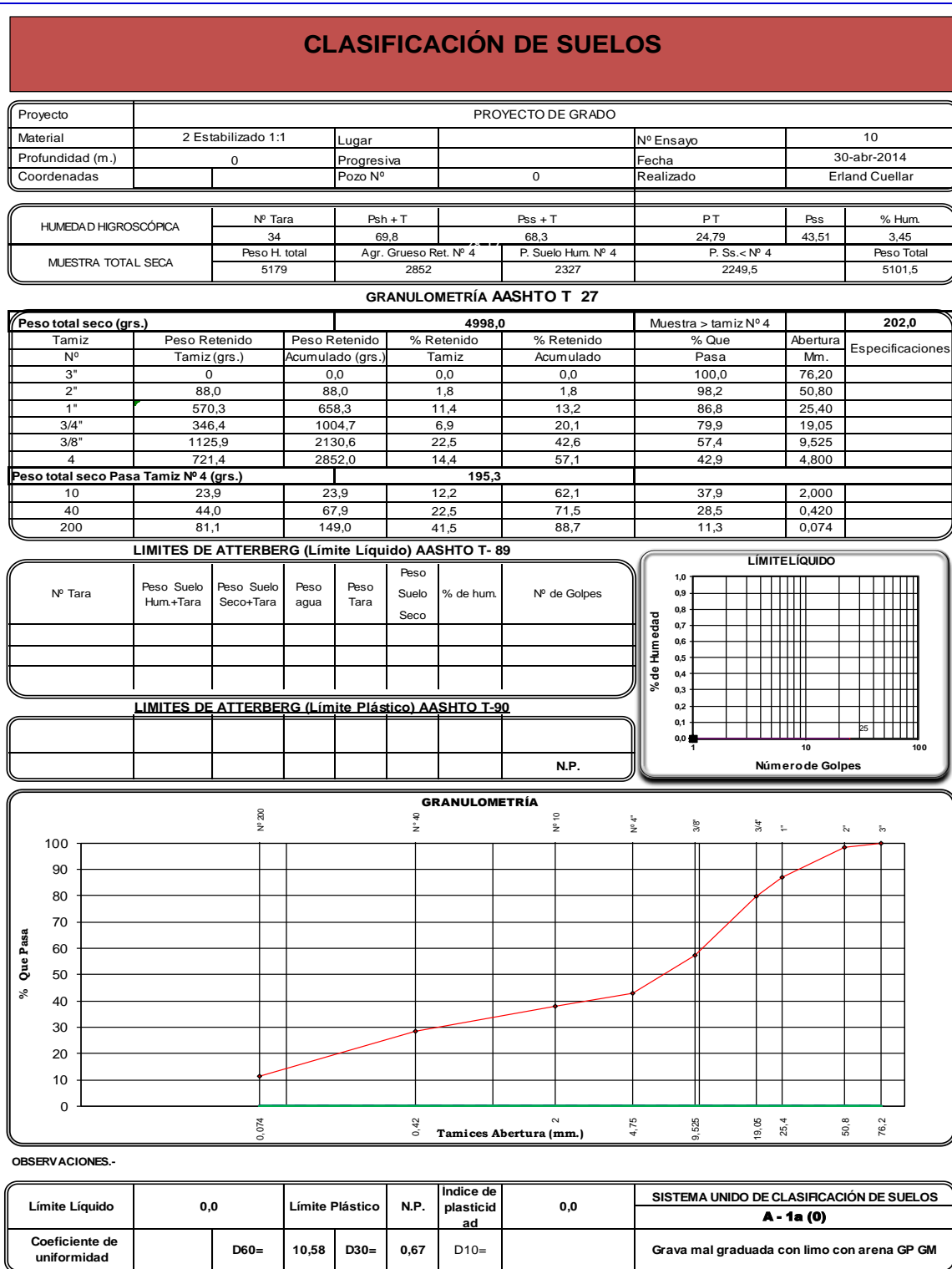
4.7.4. Resumen.-

MATERIAL	ESTABILIZADO 1:2		
CLASIFICACION DE SUELO			
Contenido de Humedad	% de Humedad	3,22	%
Granulometría	Gravas	54,45	%
	Arenas	35,07	%
	Finos	10,48	%
Limites	Limite Liquido	0,00	
	Limite Plástico	N.P.	
	Índice de Plasticidad	0,00	
Tipo de Suelo	A - 1a (0) Grava Mal Graduada con Limo con Arena		
COMPACTACION PROCTOR T-180			
COMPACTACION PROCTOR T-180	Humedad Optima	6,30	%
	Densidad	2.230,00	Kg/m3
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180			
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180	CBR 90%	41,70	%
	CBR 95%	67,30	%
	CBR 100%	92,90	%
	Densidad 90%	2.007,00	Kg/m3
	Densidad 95%	2.119,00	Kg/m3
	Densidad 100%	2.230,00	Kg/m3



4.8. ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL ESTABILIZADO EN PROPORCIÓN DE 1:1.-

4.8.1. Clasificación del suelo.-





4.8.2. Compactación Proctor T-180.-

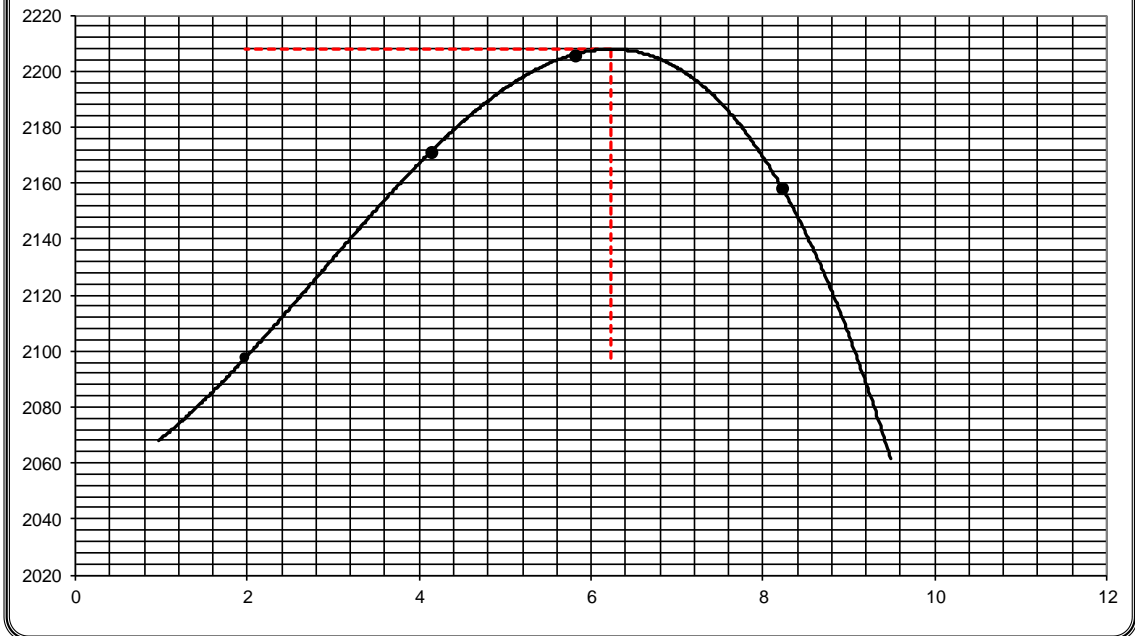
ENSAYO DE COMPACTACIÓN AASHTO T - 180

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	2 Estabilizado 1:1	Lado Plataf.		Ensayo	10
Profundidad (m.)	0,00	Tramo		Fecha	30-abr-2014
Coordenadas		Pozo (Km.)	0	Realizado	Erland Cuellar

PROCTOR

Determinación Nº	Unidad	1	2	3	4
Nº Capas	Capas	5	5	5	5
Nº Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56	56
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	7851,0	8110,0	8266,0	8270,0
Peso del Molde	gr.	3304,0	3304,0	3304,0	3304,0
Peso Suelo Húmedo	gr.	4547,0	4806,0	4962,0	4966,0
Volumen del Molde	cc	2126,0	2126,0	2126,0	2126,0
Peso Especifico Húmedo	Kg./m3	2138,8	2260,6	2334,0	2335,8
Cápsula No		89	88	90	93
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	476,70	437,90	463,90	432,20
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	469,40	424,30	443,70	406,80
Peso Agua	gr.	7,30	13,60	20,20	25,40
Peso Cápsula	gr.	99,10	94,80	95,60	97,80
Peso Suelo Seco	gr.	370,30	329,50	348,10	309,00
Contenido de Humedad	%	1,97	4,13	5,80	8,22
Peso Especifico Seco	Kg./m3	2097,4	2171,0	2206,0	2158,4

CURVA PROCTOR



OBSERVACIONES.- _____



4.8.3. Relación Soporte California (CBR).-

ENSAYO DE SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Proyecto	PROYECTO DE GRADO				
Material	2 Estabilizado 1:1	Lado Plataf.		Ensayo	10
Profundidad (m.)	0	Tramo		Fecha	2-may-2014
Coordenadas		Pozo N°	0	Realizado	Erland Cuellar

TAMIZ	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	IP	CLASIF.
% PASA	42,9	37,9	28,5	11,3	0,0	0,0	A - 1a (0)

Molde Nº	1	1	2	2	3	3
Nº de Capas	5	5	5	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12904	12945	12620	12671	12083	12157
Peso Molde (grs.)	8063	8063	7945	7945	7562	7562
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4841	4882	4675	4726	4521	4595
Volumen de la muestra (cm3)	2068	2068	2032	2032	2006	2006
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2,341	2,361	2,301	2,326	2,254	2,291

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido
Tara Nº	55	55	90	90	78	78
Peso Suelo Húmedo+Tara	385,20	198,24	287,30	764,80	256,40	241,76
Peso Suelo Seco + Tara	364,80	187,05	275,70	717,52	243,40	226,39
Peso Agua	20,40	11,19	11,60	47,28	13,00	15,37
Peso Tara	24,78	24,78	95,60	95,60	30,22	30,22
Peso Suelo Seco	340,02	162,27	180,10	621,92	213,18	196,17
% de Humedad	6,00	6,90	6,44	7,60	6,10	7,83
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	2,208	2,208	2,161	2,161	2,124	2,124
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	2,208	2,208	2,208	2,208	2,208	2,208
% De Compactación	100,0	100,0	97,9	97,9	96,2	96,2

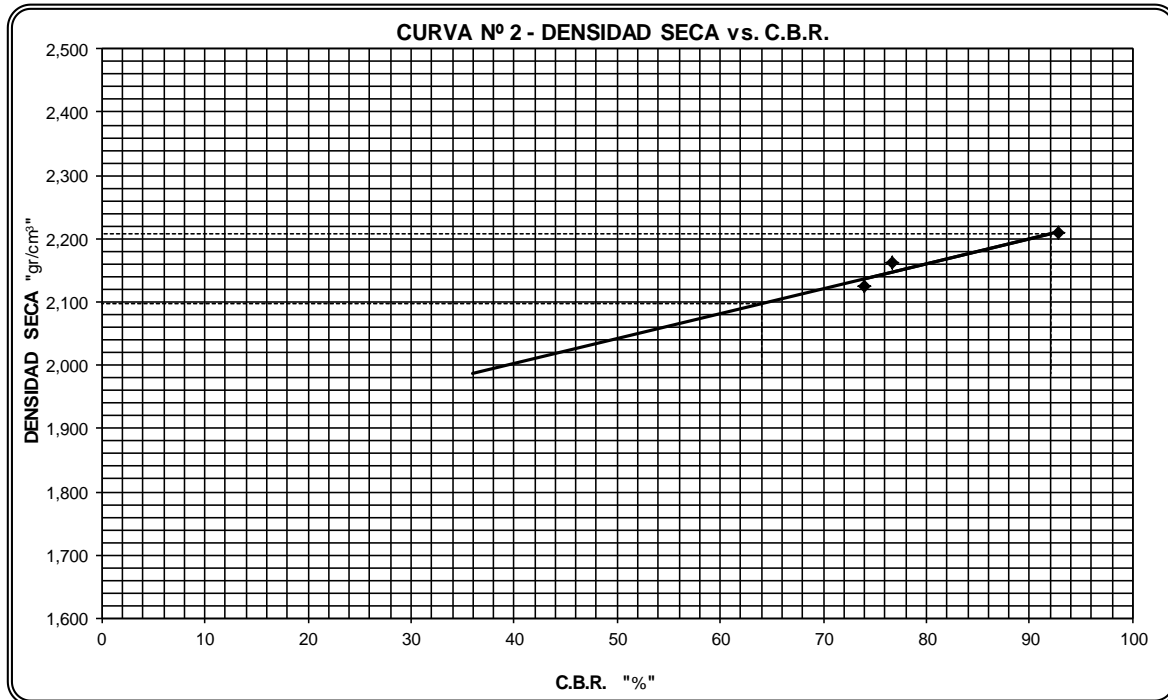
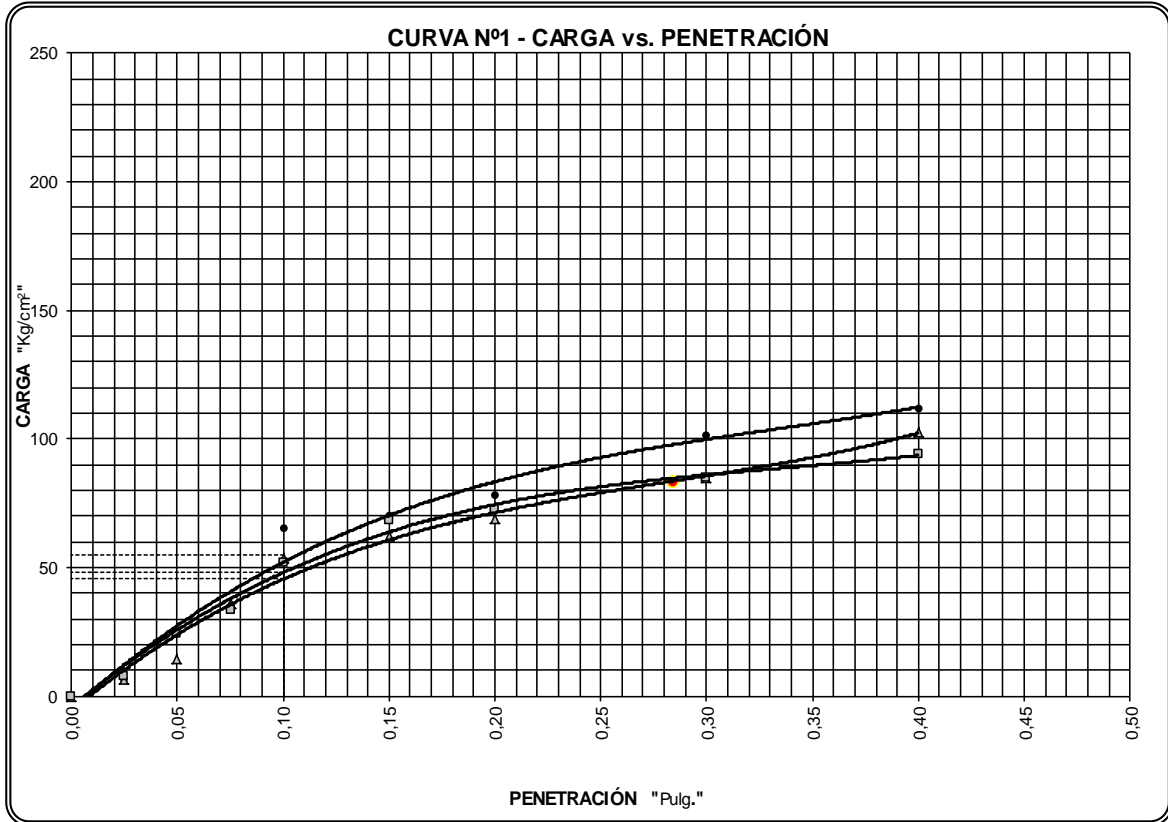
DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
02-may-14			0			0			0		
03-may-14											
04-may-14											
05-may-14											
06-may-14			0	0,0	0,00 %	0	0	0,00 %	0	0	0,00 %

Factor Aro 5000 % Exp. Total 0,0

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0,5	0,025	0,64		123	6,3			126	6,5			158	8,1						
1,0	0,050	1,27		475	24,5			286	14,8			477	24,7						
1,5	0,075	1,91		688	35,6			697	36,0			645	33,3						
2,0	0,100	2,54	70,3	1262	65,2	65,2	92,8	1043	53,9	53,9	76,7	1006	52,0	52,0	73,9				
3,0	0,150	3,81		1355	70,0			1203	62,2			1321	68,3						
4,0	0,200	5,08	105,5	1519	78,5			1338	69,1			1410	72,9						
6,0	0,300	7,62		1966	101,6			1646	85,1			1640	84,8						
8,0	0,400	10,16		2170	112,2			1987	102,7			1823	94,2						
10,0	0,500	12,70		0	0,0			0	0,0			0	0,0						

Observaciones.-



DENS. AL 90% :	1,987 gr/cm3	C.B.R. AL 90% :	36,0	N° 10
DENS. AL 95% :	2,097 gr/cm3	C.B.R. AL 95% :	64,0	
DENS. AL 100% :	2,208 gr/cm3	C.B.R. AL 100% :	92,1	
EXP. AL 95% :	0,0	EXP. AL 100% :	0,0	



4.8.4. Resumen.-

MATERIAL:	ESTABILIZACION 1:1		
CLASIFICACION DE SUELO			
Contenido de Humedad	% de Humedad	3,45	%
Granulometría	Gravas	57,06	%
	Arenas	32,76	%
	Finos	10,17	%
Limites	Limite Liquido	0,00	
	Limite Plástico	N.P.	
	Índice de Plasticidad	0,00	
Tipo de Suelo	A - 1a (0) Grava Mal Graduada con Limo con Arena		
COMPACTACION PROCTOR T-180			
COMPACTACION PROCTOR T-180	Humedad Optima	6,20	%
	Densidad	2.208,00	Kg/m3
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180			
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180	CBR 90%	36,00	%
	CBR 95%	64,00	%
	CBR 100%	92,10	%
	Densidad 90%	1.987,00	Kg/m3
	Densidad 95%	2.097,00	Kg/m3
	Densidad 100%	2.208,00	Kg/m3



4.9. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS MATERIAL RECICLADO VS MATERIAL ESTABILIZADO.-

En las siguientes tablas se muestra el resumen de los resultados obtenidos de los diferentes materiales estabilizados a diferentes proporciones, comparando con el material de acopio para capa base:

ACOPIO PARA CAPA BASE Vs MAT. ESTABILIZADO 1:3

TABLA COMPARATIVA ACOPIO PARA CAPA BASE VS MAT. ESTABILIZADO 1:3					
MATERIAL:		ACOPIO PARA CAPA BASE		ESTABILIZADO 1:3	
CLASIFICACION DE SUELO					
Contenido de Humedad	% de Humedad	7,42	%	4,78	%
	Granulometría	Gravas	37,19	%	26,86
Arenas		32,62	%	53,85	%
Finos		30,20	%	19,29	%
Limites	Limite Liquido	17,50		16,00	
	Limite Plástico	N.P.		N.P.	
	Índice de Plasticidad	0,00		0,00	
Tipo de Suelo		A-2-4 (0) Grava Limosa con Arena		A - 2- 4 (0) Arena Limosa con Grava	
COMPACTACION PROCTOR T-180					
COMPACTACION PROCTOR T-180	Humedad Optima	9,70	%	7,10	%
	Densidad	2.087,00	Kg/m3	2.150,00	Kg/m3
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180					
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180	CBR 90%	9,20	%	15,10	%
	CBR 95%	37,90	%	46,30	%
	CBR 100%	66,60	%	77,60	%
	Densidad 90%	1.879,00	Kg/m3	1.935,00	Kg/m3
	Densidad 95%	1.983,00	Kg/m3	2.042,00	Kg/m3
	Densidad 100%	2.087,00	Kg/m3	2.150,00	Kg/m3



ACOPIO PARA CAPA BASE Vs MAT. ESTABILIZADO 1:2

TABLA COMPARATIVA ACOPIO PARA CAPA BASE VS MAT. ESTABILIZADO 1:2					
MATERIAL:		ACOPIO PARA CAPA BASE		ESTABILIZADO 1:2	
CLASIFICACION DE SUELO					
Contenido de Humedad	% de Humedad	7,42	%	3,22	%
Granulometría	Gravas	37,19	%	54,45	%
	Arenas	32,62	%	35,07	%
	Finos	30,20	%	10,48	%
Limites	Limite Liquido	17,50		0,00	
	Limite Plástico	N.P.		N.P.	
	Índice de Plasticidad	0,00		0,00	
Tipo de Suelo		A-2-4 (0) Grava Limosa con Arena		A - 1a (0) Grava Mal Graduada con Limo con Arena	
COMPACTACION PROCTOR T-180					
COMPACTACION PROCTOR T-180	Humedad Optima	9,70	%	6,30	%
	Densidad	2.087,00	Kg/m3	2.230,00	Kg/m3
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180					
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T- 180	CBR 90%	9,20	%	41,70	%
	CBR 95%	37,90	%	67,30	%
	CBR 100%	66,60	%	92,90	%
	Densidad 90%	1.879,00	Kg/m3	2.007,00	Kg/m3
	Densidad 95%	1.983,00	Kg/m3	2.119,00	Kg/m3
	Densidad 100%	2.087,00	Kg/m3	2.230,00	Kg/m3



ACOPIO PARA CAPA BASE Vs MAT. ESTABILIZADO 1:1

TABLA COMPARATIVA ACOPIO PARA CAPA BASE VS MAT. ESTABILIZADO 1:1					
MATERIAL:		ACOPIO PARA CAPA BASE		ESTABILIZADO 1:1	
CLASIFICACION DE SUELO					
Contenido de Humedad	% de Humedad	7,42	%	3,45	%
	Granulometría	Gravas	37,19	%	57,06
Arenas		32,62	%	32,76	%
Finos		30,20	%	10,17	%
Limites	Limite Liquido	17,50		0,00	
	Limite Plástico	N.P.		N.P.	
	Índice de Plasticidad	0,00		0,00	
Tipo de Suelo		A-2-4 (0) Grava Limosa con Arena		A - 1a (0) Grava Mal Graduada con Limo con Arena	
COMPACTACION PROCTOR T-180					
COMPACTACION PROCTOR T-180	Humedad Optima	9,70	%	6,20	%
	Densidad	2.087,00	Kg/m3	2.208,00	Kg/m3
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180					
ENSAYO DE SOPORTE DE CALIFORNIA T-180	CBR 90%	9,20	%	36,00	%
	CBR 95%	37,90	%	64,00	%
	CBR 100%	66,60	%	92,10	%
	Densidad 90%	1.879,00	Kg/m3	1.987,00	Kg/m3
	Densidad 95%	1.983,00	Kg/m3	2.097,00	Kg/m3
	Densidad 100%	2.087,00	Kg/m3	2.208,00	Kg/m3

De acuerdo a las tablas comparativas de los resultados de los ensayos de laboratorio de material de acopio para capa base y el material estabilizado, se observa que se pudo obtener ciertas mejoras del material de acopio al ser mezclado con material de asfalto reciclado.



Respeto a la **Estabilización en proporción 1:1**, se tiene que de acuerdo a la clasificación de los suelos no se logró mejorar las características del material de acopio, ya que según la clasificación de suelos AASTHO se trataba de un suelo A - 2 - 4 (0) (Grava Limosa con Arena), con la adición del material reciclado de capa de rodadura se obtuvo el mismo tipo de suelo pero cierta mejora en la densidad de compactación del material de acopio para capa base.

Respeto a la **Estabilización en proporción 1:2**, se tiene que de acuerdo a la clasificación de los suelos se logró mejorar las características del material de acopio, ya que según la clasificación de suelos AASTHO se trataba de un suelo A - 2 - 4 (0) (Grava Limosa con Arena), con la adición del material reciclado de capa de rodadura se obtuvo un tipo de suelo A - 1a (0) (Grava Mal Graduada con Limo con Arena), con mayor porcentaje de gravas y una mejora notable en la densidad de compactación del material de acopio para capa base y el porcentaje de C.B.R.

Respeto a la **Estabilización en proporción 1:1**, al igual que en el segundo procedimiento, se tiene que de acuerdo a la clasificación de los suelos se logró mejorar las características del material de acopio, ya que según la clasificación de suelos AASTHO se trataba de un suelo A - 2 - 4 (0) (Grava Limosa con Arena), con la adición del material reciclado de capa de rodadura se obtuvo un tipo de suelo A - 1a (0) (Grava Mal Graduada con Limo con Arena), con mayor porcentaje de gravas y una mejora notable en la densidad de compactación del material de acopio para capa base y el porcentaje de C.B.R.

El material de acopio tiene límite líquido y no así límite plástico pero mediante este proceso de estabilización se con material reciclado de capa de rodadura ya no presenta ningún tipo de límites de consistencia, esto para los procesos de estabilización a proporciones de 1:1 y 1:2, y no así para el primer proceso de estabilización 1:3.

Entonces podemos indicar que el material mejora algunas de sus características y propiedades cuando se le añade una cantidad considerable de material reciclado de pavimento flexible, este es el caso de los procesos de estabilización a 1:1 y 1:2.



Para la aplicación en obra sería más recomendable el proceso de estabilización 1:2 por que la cantidad de material reciclado de pavimento flexible es menor en comparación al proceso de estabilización 1:1.

En la siguiente tabla se muestran valores referenciales de C.B.R. el tipo de suelo y su uso en carreteras:

Tabla. Valores referenciales de C.B.R., Usos y Clasificación de Suelos

USOS			CLASIFICACIÓN	
C.B.R	Clasificación general	Usos	Unificado	AASTHO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A-5, A-6, A-7
3-7	Muy pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A-4, A-5, A-6, A-7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-2, A-4, A-6, A-7
20-50	Bueno	Sub-base y base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1b, A2-5, A-3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A-1a, A2-4, A-3

Fuente: Diseño de espesores Método del C.B.R.

De acuerdo la tabla podemos observar que un suelo A-2-4 (0) el rango de CBR estaría entre 20 y 50 %, según su clasificación general y su uso es un suelo bueno y es aplicable para sub-base- base, pero con este proceso de estabilización de materiales se puede mejorar estas propiedades.

El valor del C.B.R. del material estabilizado al 95% es mayor a 50% y el suelo es de tipo A-1a (0), esto para el caso de los procesos de estabilización 1:2 y 1:3, respecto a la tabla anterior, nos indica que es un material excelente para capa base, lo que quiere decir que se puedo mejorar las características del material de acopio para capa base a través de esta técnica estabilización de suelos con material reciclado de pavimento flexible.



5.1.CONCLUSIONES.-

Se cumplió con los objetivos planteados y se consiguió los resultados esperados que era de mejorar ciertas características del material de acopio para capa base mediante esta técnica de estabilización con material reciclado, Haciendo un análisis del Reciclado en proceso de ejecución y viabilidad en nuestro medio resulta un poco complicado, pero teniendo estas máquinas recicladoras podría ser viable y aplicable en el mejoramiento de carreteras.

A continuación se describe las conclusiones obtenidas.

- Se cumplió con el objetivo principal que era el de analizar el reciclado de pavimentos de manera que este método pueda incorporarse en el mejoramiento del material para capa base, formando una capa estabilizada, conseguimos la estabilización del material de acopio mejorando ciertas características como el CBR y el aumento de material granular.
- En cuanto a la viabilidad este proceso puede ser aplicable en nuestro medio siempre y cuando se cuente con estas máquinas especializadas en el reciclado de la carpeta asfáltica, se puede indicar que este método puede llegar a ser aplicado en nuestro país para el mejoramiento de las carreteras contratando empresas del exterior especializadas en este tipo de metodos de estabilización, mejoramiento y rehabilitación de carreteras.
- Se obtuvo mayor conocimiento sobre esta técnica de estabilización y mejoramiento de capas base para carreteras, se pudo demostrar que esta técnica puede ser viable en nuestro medio.
- En cuanto a la parte teórica se realizó una recopilación sobre el reciclado de pavimentos flexibles donde vimos dos que existen dos metodos de reciclado y que cada uno se subdivide también en dos, los cuales son muy similares, uno es el reciclado en frio y el otro es el reciclado en caliente y los cuales se subdividen en el reciclado en planta y en el reciclado in-situ, donde vimos las formas de aplicación de ambos metodos y el proceso de ejecución.
- Se describió los tipos de fallas que existen en carreteras de acuerdo al manual PCI, los grados de severidad así como también la forma de medición de estos, esto en cuanto a la parte teórica.



- La maquinaria apta para el reciclado en frío viene a ser las recicladoras de la serie Wirtgen (WR) y para el reciclado en caliente la máquina apta para este tipo de trabajo es la recicladora AR2000, estas máquinas son recicladoras de pavimento flexible in-situ.
- Se cumplió con el objetivo de describir las ventajas del reciclado de pavimentos flexible en la conformación de una capa base estabilizada, una de las ventajas principales es el aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra, ya que los materiales envejecidos pueden ser reutilizados utilizando una técnica adecuada para la conformación de capas del firme, otra ventaja es en la parte económica porque con las máquinas recicladoras con tan solo una pasada el material es reciclado hasta una cierta altura determinada, es mezclado y colocado uniformemente listo para la compactación respectiva.
- Otro de los objetivos era de realizar los ensayos de laboratorio tanto del material de acopio para capa base como del material mezclado con el pavimento flexible reciclado y triturado, los ensayos de laboratorios correspondientes al material estabilizado se lo realizó en el laboratorio de la Universidad Juan Misael Saracho así como también el laboratorio del material de acopio para capa base. Se comparó los resultados obtenidos de ambos laboratorios donde observamos el aumento del porcentaje de grava en el material estabilizado en comparación con el material de capa base, además que con esta técnica de estabilización se logró mejorar el porcentaje de CBR y la densidad de compactación del material para la conformación de capa base.

5.2. RECOMENDACIONES.-

- Una de las recomendaciones más importantes sería la de que los ensayos de laboratorio tanto del material de acopio para capa base como del material estabilizado se realicen en el mismo laboratorio y con los mismos laboratoristas para no tener variaciones en el rendimiento y en la calidad de los ensayos correspondientes.



- Otra recomendación importante es la realización de la evaluación del pavimento esto sirve para determinar el estado de la carretera, las mediciones de los diferentes tipos de fallas y el nivel de severidad de estos son muy importantes para la determinación de la condición del pavimento.
- Mediante este proyecto se pudo ver la mejora en las características del material y que esta técnica puede llegar a ser más económica y de más rápida ejecución lo que se recomienda es ponerla en práctica en la rehabilitación y mejoramiento de nuestras carreteras que se encuentran en mal estado provocando incomodidad a las empresas de transporte turistas y pasajeros.