

Índice

1. Movimiento de suelos	3
1.1. Generalidades	3
1.1.1. Límites de Atterberg	3
1.1.2. Clasificación de suelos HRB	3
1.2. Reconocimiento del terreno	4
1.2.1. Zanjas y calicatas	4
1.2.2. Sondeos	4
1.3. Compactación	4
1.3.1. Control de compactación	4
1.4. Valor soporte CBR	4
1.4.1. Correlación y valores orientativos	5
1.4.2. Ensayo dinámico simplificado	5
1.4.3. Módulo de reacción de la subrasante k	6
1.5. Suelos expansivos	6
1.5.1. Propiedades del suelo	6
1.5.2. Medidas de control	7
1.6. Congelamiento de pavimentos	8
1.6.1. Influencia sobre la estructura del suelo	8
1.6.2. Tratamiento de suelos susceptibles	8
1.7. Drenaje	8
1.8. Tecnología de áridos	9
1.8.1. Áridos naturales	9
1.8.2. Propiedades como elementos granulares	9
1.8.3. Propiedades como conjunto	9
1.8.4. Rock Quality Designation	9
1.9. Rendimiento de los equipos	9
1.10. Especificaciones técnicas de un proyecto vial	10
1.11. Estabilizado: granular	10
1.12. Bases y sub-bases	10
1.12.1. Idoneidad de uso	10
1.12.2. Propiedades generales	11
1.13. Los materiales	11
1.13.1. Módulo resiliente	11
1.14. La dosificación	11
1.14.1. La granulometría	11
1.14.2. La resistencia mecánica	12
1.14.3. Construcción	12
2. Estabilizado: drenaje	12
2.1. Generalidades	12
2.2. Método de diseño	12
3. Estabilizado: cal	12
3.1. Cal útil vial	13
3.2. Curado	13
3.3. Aplicaciones de la cal	13
3.3.1. Dosificación en mejoramientos de suelos	13
3.3.2. Dosificación en estabilización de suelos	13
3.4. Proceso constructivo	13
4. Estabilizado: cemento	13
4.1. Contracción	13
4.2. Resistencia al desgaste	14
4.3. Los materiales	14
4.4. Fisuración	14
4.5. Dosificación	14
4.6. Construcción	14

5. Estabilización: asfaltos	15
5.1. Mecanismo de estabilización: suelos finos	15
5.2. Mecanismo de estabilización: suelos granulares	15
5.3. Factores	15
5.4. Emulsión asfáltica	15
5.4.1. Diseño de la mezcla	15
5.4.2. Módulo dinámico	16
5.4.3. Comportamiento a la fatiga	16
5.4.4. Dosificación	16
5.4.5. Método constructivo	16
5.5. Asfalto espumado	16
5.5.1. Diseño de la mezcla	16
5.6. Combinación de estabilizantes	16
5.6.1. Combinación cal-cemento	16
5.6.2. Combinación cal/cemento-asfalto	17
5.6.3. Otros	17
6. Bases estabilizadas con asfalto	17
7. Pavimentos flexibles	17
7.1. Método Shell	17
7.1.1. Parámetros de diseño	17
7.1.2. Cartas de diseño	18
7.2. Método AASHTO	18
8. Pavimentos asfálticos	18
8.1. El petróleo	18
8.2. Ligantes hidrocarbonados	18
8.2.1. Estructura coloidal	19
8.3. Ensayo de consistencia	19
8.4. Ensayos de durabilidad	19
8.5. Base asfáltica	20
8.5.1. Asfalto cortado	20
8.5.2. Emulsiones asfálticas	20
9. Caminos de bajo tránsito	20

1. Movimiento de suelos

1.1. Generalidades

Lo primero que debemos estudiar son dos características del suelo: la granulometría y los límites de Atterberg. Además se deben conocer las características geotécnicas del suelo, tales como la densidad de suelo seco D_{ss} , humedad del suelo, límite líquido LL , límite plástico LP y el índice de plasticidad $IP = LL - LP$.

Conociendo las propiedades anteriores podemos encontrar si el material es granular, sea canto rodado, grava, arena gruesa o arena fina, o si es un material cohesivo, sea un limo o una arcilla.

1.1.1. Límites de Atterberg

Existen tres límites de Atterberg, que nos permiten clasificar el suelo cohesivo.

Límite plástico se realiza con la porción de suelo que pasa el tamiz N°40. Se define como el más bajo contenido de humedad con el que al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas tienen 3 mm.

Límite líquido es la menor humedad a partir de la cual el suelo se comporta como un líquido. Se define como el más bajo contenido de humedad para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm de espesor fluyan y se unan en una longitud de 12 mm en el fondo de la muesca que separa las dos mitades cuando la cápsula que la contiene es golpeada 25 veces desde una altura de 1 cm a dos golpes por segundo.

Límite de contracción es la humedad para la cuales el suelo no se contrae cuando la humedad baja de ese punto.

1.1.2. Clasificación de suelos HRB

Es equivalente al método AASHTO, y cuenta con siete grupos principales, que van desde el A-1 al A-7. Este método se desarrolló para la construcción de caminos. Los grupos están agrupados por granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. También se puede obtener el índice de grupo con la siguiente formula:

$$IG = (F - 35) * (0,2 + 0,005 * (LL - 40)) + 0,01 * (F - 15) * (IP - 10).$$

Donde F es el porcentaje que pasa el tamiz N°200.

En general, podemos distinguir lo siguiente en cuanto a la calidad de los materiales para las tareas de caminos:

- **A-1 a A-3:** excelente a buen material para subrasante.
- **A-4 a A-7:** regular a pobre material para subrasante.

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa #N°200 -0.075mm -)							Materiales Limo-Arcillosos (más del 35% pasa #N°200 -0.075mm -)			
	A-1			A-2							
	A-1-a	A-1-b		A-3 (1)	A-2-4	A-2-5	A-2-6				
Grupo de Clasificación											
Análisis granulométrico											
RN°10 (2.00 mm)	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RN°40 (0.425 mm)	30 max	50 max	51 max	-	-	-	-	-	-	-	-
RN°200 (0.075 mm)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa #N°40											
Límite Líquido	-	-	-	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Índice de Plasticidad	6 max	S/P	-	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min (2)
Características generales											
Constitutos Significantes	Rag. de piedra, grava, y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Limos		Arcillas	
Comportamiento general como subrasante				Excelente a bueno				Regular a malo			

Figura 1: Tabla AASTHO o HRB.

1.2. Reconocimiento del terreno

1.2.1. Zanjas y calicatas

Podemos dar como ejemplo las **calicatas, zanjas y pozos**. Son un sistema simple y efectivo que nos permite la observación *in-situ* del terreno. Es un método válido para profundidades de hasta 5 m de profundidad. El método es ideal para terrenos duros y para arcillas expansivas, ya que permite la determinación del nivel freático con precisión. Este tipo de ejecución además requiere entibaciones para $h \geq 1.5$ m.

1.2.2. Sondeos

Por otro lado tenemos los **sondeos**, que son perforaciones de pequeño diámetro y de gran profundidad. Se pueden obtener por rotación, percusión o por presión.

Es un requisito un espaciamiento entre auscultaciones de 500 m para terraplenes y de 250 m para desmontes.

1.3. Compactación

La compactación consiste en la reducción del volumen del suelo mediante la aplicación de energía mecánica. Este tema requiere un punto especial de estudio mediante ensayos como el **Ensayo Proctor**, que nos permite la elaboración de un diagrama del que se pueden obtener los valores de la humedad óptima H_{opt} y la densidad Proctor máxima δ_{max} .

En este tema es importante el concepto de **valor soporte**, que será definitorio en la capacidad portante en el suelo como se ve en la imagen.

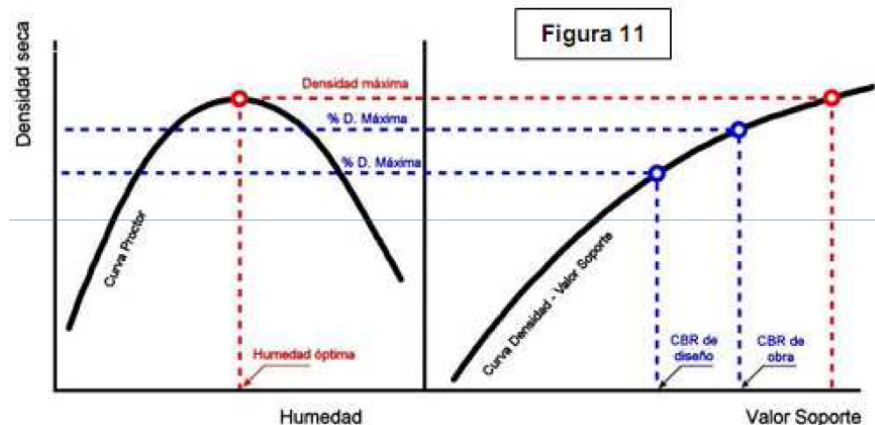


Figura 2: Relación entre Proctor y Valor Soporte

Esto muestra las grandes diferencias que pueden llegar a provocar pocos puntos de diferencia en la densidad deseada en la capacidad de soportar cargas del suelo.

1.3.1. Control de compactación

Algunos métodos para la verificación de la compactación de la compactación del suelo es con el *método del cono de arena*, que consiste en obtener el volumen de un suelo en el lugar gracias a la comparación con una arena de densidad conocida.

El ensayo se esquematiza en la imagen.

Sin embargo, también existe otros **ensayos no destructivos**, como la medición directa o por retrodispersión.

1.4. Valor soporte CBR

El **CBR** de un suelo es la relación en % entre el esfuerzo necesario para penetrar un pistón de dimensiones dadas a una velocidad prefijada hasta una profundidad determinada en la muestra del suelo analizado y la presión correspondiente para la penetración en una muestra patrón con características ideales.

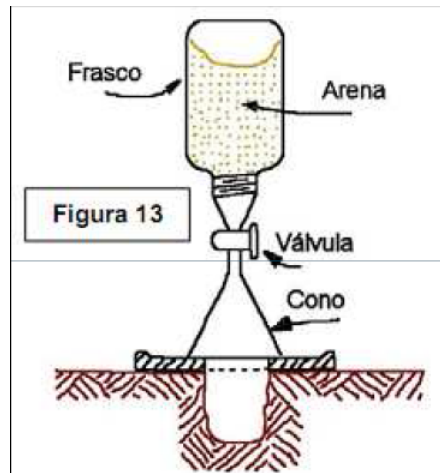


Figura 3: Cono de arena

Puede ser una representación indirecta de la resistencia al corte de un suelo y su valor depende en gran manera de:

- Características físico químicas del suelo.
- Densidad seca.
- Forma de compactación.
- Humedad con el que fue compactado.
- Humedad al momento del ensayo.
- Sobrecarga aplicada en el momento del ensayo.

Es necesario, además, tener en cuenta tres aspectos:

- **Humedad de compactación:** pequeñas variaciones de humedad de compactación pueden afectar significativamente el CBR.
- **Sobrecarga:** incrementa el valor del CBR en suelos friccionales, y disminuye el hinchamiento en suelos cohesivos.
- **Humedad de ensayo:** cuando se ensaya con el suelo embebido se toma el equivalente a la situación más desfavorable.

1.4.1. Correlación y valores orientativos

El valor del CBR nos permite hacer las siguientes correlaciones:

- Resistencia $kg/cm^2 \approx 100 * CBR$.
- Hinchamiento $\leq 2\%$ no presenta problemas.
- Se requieren ciertos valores para el paquete estructural:
 - Base: $CBR \geq 40\%$
 - Sub-base: $CBR \geq 40\%$
 - Subrasante buena: $CBR \sim 8\%$
 - Subrasante regular: $1\% \leq CBR \leq 5\%$

1.4.2. Ensayo dinámico simplificado

El ensayo dinámico simplificado nos permite hallar una relación entre el ensayo de Proctor y el CBR mediante gráficas, como se muestra en Figure 4.

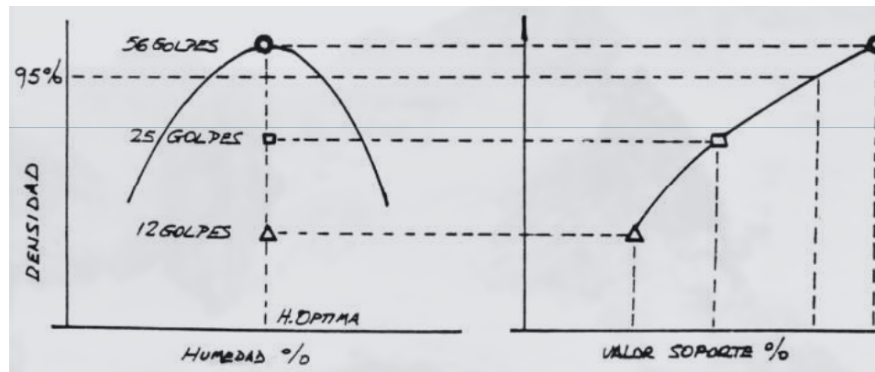


Figura 4: Relación Proctor-CBR

1.4.3. Módulo de reacción de la subrasante k

El módulo de reacción de la subrasante se define como la **relación** entre la presión aplicada mediante un plato de sección dada, a la rasante y la penetración o deflexión resultante. Éste módulo mide la resistencia (o capacidad soporte) del material de subrasante a ser comprimido bajo la acción de las cargas transmitidas al suelo.

Para su determinación, la presión del plato debe ser **similar** a la utilizar en el pavimento en servicio. Además, el valor de k dependerá en gran medida del **diámetro del plato**, donde la deflexión generalmente aumenta cuando se disminuye el diámetro. Normalmente para pavimentos rígidos se adoptan diámetros de 76cm.

1.5. Suelos expansivos

Los suelos expansivos son aquellos que pueden un cambio en su volumen cuando varia su humedad. La variación de frecuentes variaciones de humedad de los suelos de subrasante producen daños severos en los pavimentos que es denominado *daño silencioso*, y tiene un importante efecto económico.

Este tipo de suelos tiene deformaciones significativamente mas grandes que las elásticas, generando un movimiento desigual y causando daños tales como grietas o quiebres en los pavimentos.

En general, el componente arcilloso que provoca esto es la **montmorillonita**, que es altamente expansiva. Las partículas de arcilla tienen una carga neta negativa, por lo que el agua es atraída, y a medida que el agua es *adsorbida*, empuja partículas de arcilla causando el hinchamiento.

1.5.1. Propiedades del suelo

Las propiedades que pueden afectar esto son:

Mineralogía de la arcilla principalmente la montmorillonita, que genera grandes cambios de volúmenes.

Agua del suelo química particularmente cuando $Mg^{2+} \leq Na^{+}$.

Succión del suelo más agua atraída cuando la succión es alta.

Plasticidad un alto valor de índice plástico genera más hinchamiento.

Estructura del suelo las arcillas dispersivas se expanden con la floculación del suelo.

Densidad seca una mayor densidad da a un mayor potencial de hinchamiento.

Por otro lado, las condiciones ambientales que pueden afectar son: el clima, la profundidad del agua subterránea, fuentes de agua cercanos, permeabilidad y temperatura.

1.5.2. Medidas de control

Ciertas posibilidades para el control de esta problemática son las siguientes:

1. Re-localización del trazado.
2. Reemplazar el suelo expansivo por uno que no lo sea.
3. Modificar las propiedades expansivas del suelo mediante acciones físicas o químicas.

Físicas se puede inundar el suelo de manera que se produzca la expansión previa la construcción, o escarificar, rastrear y agregar arena, o en todo caso agregar un revestimiento no expansivo.

Químicas estabilización mediante cal, inyecciones, etc.

4. Aislar el suelo de manera que no sufra modificaciones de humedad, tales como membranas asfálticas.

El siguiente esquema muestra una solución de impermeabilización de taludes con arcillas expansivas, como se ve en Figure 5, Figure 6 y Figure 7.

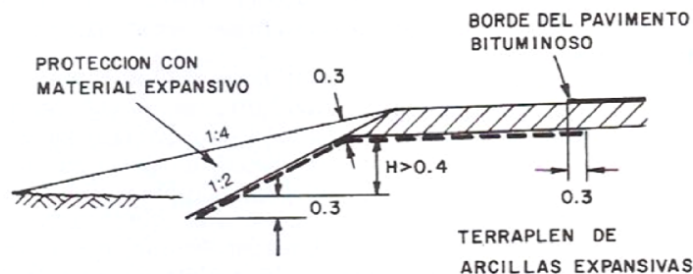


Figura 5: Impermeabilización de taludes en carretera

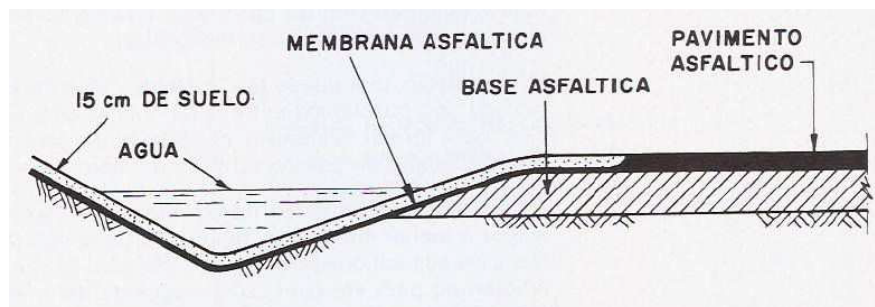


Figura 6: Impermeabilización de cunetas

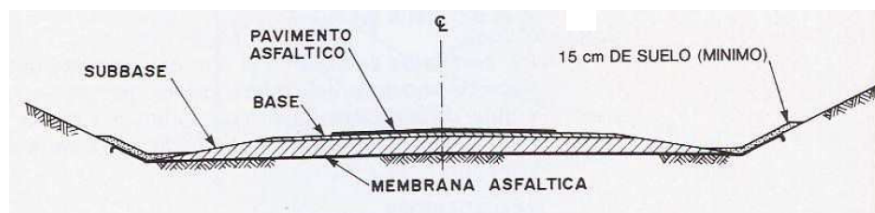


Figura 7: Impermeabilización de corte tipo

1.6. Congelamiento de pavimentos

Las heladas tiene dos efectos perjudiciales en los pavimentos:

1. Levantamiento del pavimento por la presión que origina el mayor espacio que ocupa el agua congelada.
2. Ablandamiento de la subrasante por el agua de deshielo.

La profundidad de penetración depende de la temperatura bajo el punto de congelamiento y del tiempo que la misma se mantiene, ya que la transmisión de calor no es instantánea, por lo que esto es un problema en lugares donde las bajas temperaturas se mantienen durante tiempos prolongados.

1.6.1. Influencia sobre la estructura del suelo

Se puede dar un proceso de congelación del agua, que mayor volumen en los espacios entre partículas, desplazando al aire y a las propias partículas en sí. Luego se da un efecto de **deshielo**, donde la mayor separación entre partículas queda de manifiesto, reduciendo la densidad del suelo y reduciendo el valor soporte del mismo.

Los suelos más susceptibles son los **suelos finos**, que tienen elevada capilaridad y baja cohesión, como los suelos limosos o limo-arenosos, mientras que las arenas y los suelos arcillosos resultan menos sensibles.

1.6.2. Tratamiento de suelos susceptibles

Existen varias soluciones para esta problemática, como:

1. Retirar el suelo susceptible a las heladas y reemplazarlo por uno no susceptible.
2. Ubicar y compactar el suelo no susceptible con un espesor tal que pueda evitar la congelación.
3. Retirar *bolsones* aislados de suelos susceptibles a las heladas para eliminar cambios abruptos.
4. Aumentar el espesor del pavimento de la capa estructural de forma de dar cuenta con la reducción de la capacidad portante del subsuelo.
5. Estabilizar el suelo susceptible a heladas mediante una barrera capilar.
6. Aumentar el espesor del pavimento para dar cuenta de la reducción de la capacidad portante durante el deshielo.
7. Estabilizar el suelo mediante la instalación de una barrera capilar, que pueden ser dos capas de geotextil.

1.7. Drenaje

El diseño de drenes debe considerar fuentes de humedad tales como la infiltración y el agua subterránea. Podemos encontrar varios tipos de drenes, tales como:

- Drenaje longitudinal (drenaje de borde o subdren).
- Drenes transversales y horizontales.
- Bases permeables.
- Sistemas de pozos.

También es importante su consideración en el diseño de las cunetas longitudinales como medida para reducir el daño por humedad. Otras opciones para

1.8. Tecnología de áridos

Son **rocas** que sufren un proceso de tratamiento industrial para convertirla en un material granular que tiene una distribución granulométrica adecuada. Son materiales baratos y abundantes, y luego del agua, la materia prima más utilizada.

1.8.1. Áridos naturales

A este tipo de áridos los podemos dividir en dos tipos:

Áridos granulares (rodados) son aquellos que se obtienen de yacimientos naturales (arenos y graveras) y que se usan tras haber sufrido un lavado y clasificación. Esto quiere decir que *solo* se modifica su granulometría.

Áridos de machaqueo son aquellos que se producen en *canteras*. Tras arrancar los materiales de macizos rocosos, se someten a un proceso de trituración, molienda y clasificación.

1.8.2. Propiedades como elementos granulares

Podemos distinguir lo siguiente:

Propiedades físicas macroscópicas tales como la dimensión, forma, redondez, densidad, porosidad, permeabilidad, dureza, módulo elástico, conductividad térmica, etc.

Propiedades químicas tales como estabilidad mineral, presencia de sulfatos y sulfuros, cloruros, etc.

Propiedades mineralógicas composición textura, tamaño de grano, cristalinidad, etc.

1.8.3. Propiedades como conjunto

Composicionales pueden ser áridos monogénicos y poligénicos.

Distribución de tamaños husos granulométricos.

Forma índice de lajas y agujas.

En general, se evalúan **parámetros geométricos, parámetros hidrogeológicos y parámetros de material extraíble**.

1.8.4. Rock Quality Designation

Es un parámetro para medir la calidad de la roca, y depende de la longitud de los trozos testigos con una longitud mayor a 10 con respecto a la tirada total recuperada. La fórmula es la siguiente:

$$RQD = \frac{\sum x_i}{L} * 100.$$

Su valor variará de 0 a 100, donde 100 es excelente y 0 es muy malo.

1.9. Rendimiento de los equipos

Comentario 1 los trabajos requieren varios equipos trabajando de forma simultánea. El ideal es que todos los equipos trabajen eficazmente y con continuidad, pero esto no es fácil, por lo que los valores obtenidos no son necesariamente reales. Esto nos indica que los rendimientos calculados de forma individual no son valores reales, sino que es necesario encontrar rendimientos para grupos de equipos.

Comentario 2 la organización de un *kit* de equipo de máquinas es el objetivo del ingeniero. Esta situación irá variando durante el transcurso de la obra.

Comentario 3 las empresas tienen los equipos que tienen. Esto implica que nosotros tenemos que ajustar a los rendimientos de equipos disponibles.

1.10. Especificaciones técnicas de un proyecto vial

Generalmente se consideran dos volúmenes de documentación, uno que no es necesario tener en obra, llamado **informe de ingeniería**, y otro que es necesario en obra, llamado **pliego**.

- Informe de obra**
- Estudios básicos: topografía, estudio de suelos, estudio de canteras
 - Cálculos de estructuras: obras de arte, paquetes estructurales y obras complementarias.
 - Estudios hidrológicos e hidráulicos.
 - Cómputos métricos de todos los trabajos.
 - Estimación económica. Análisis de precios.
- Legajo de obra**
- Listado de items: se detallan todos los trabajos necesarios, con unidad de medida y cantidad previstas.
 - Informes de interés: perfil edafológico, puntos fijos.
 - Cláusulas o especificaciones de condiciones.
 - Especificaciones técnicas.

En cuanto a las **especificaciones técnicas**, cada item debe tener al menos una especificación que indique:

- Descripción del trabajo involucrado.
- Reseña de prácticas constructivas.
- Características y propiedades de los materiales.
- Controles de calidad y de aceptación.
- Mediciones.
- Forma de pago.

En obra, el jefe de obra deberá respetarlas, y el Inspector aprobará solo los trabajos que las cumplen. En cuanto al movimiento de suelos, se tiene el **PETG**, que es el cuerpo de especificaciones técnicas generales de Dirección Nacional de Vialidad, mayor referencia en Argentina. [Clase 20210422](#)

1.11. Estabilizado: granular

1.12. Bases y sub-bases

Generalmente esta parte del paquete se conforma de una fracción gruesa, es decir, retenida en el tamiz N°10, que es el esqueleto resistente al impacto y desgaste, y una fracción intermedia, que se compone del pasante del tamiz N°40 y N°200, que sirve para el acúñamiento sin separación de las partículas grandes.

1.12.1. Idoneidad de uso

La composición mineralógica de los agregados determina la buena medida de sus características. Por lo tanto, al seleccionar una fuente de materiales, se debe conocer el tipo de roca que es, para determinar sus características.

1.12.2. Propiedades generales

Lo primero que se debe distinguir es la **estabilidad y densidad**, que se requiere que los materiales granulares tengan una adecuada trabazón mecánica, pudiendo soportar los esfuerzos impuestos. Esto se logra mediante una alta fricción interna, permitiendo una poca deformación bajo cargas.

También se debe evaluar la **durabilidad**, donde es la resistencia de las partículas a cambios mineralógicos y desintegración física a causa de los ciclos de humedecimiento.

La **permeabilidad** de un material granular dependerá de su granulometría, tipo de agregado, tipo de ligante y densidad.

[Clase 20210513](#)

Un estabilizado granular es una mezcla bien graduada de gravas, arena y finos, donde los dos primeros conforman un esqueleto granular firme, y el fino aporta cierta plasticidad, ya que permiten el llenado de los vacíos del esqueleto granular. Así se puede lograr una buena resistencia mecánica. Esto se fundamenta en la siguiente ecuación

$$\tau = c + \sigma' * tg(\phi).$$

Se consideran:

Fracción gruesa tiene un tamaño máximo de 1.º 2", y queda retenido en el tamiz Nº10.

Fracción intermedia si es arena gruesa, se encuentra entre los tamices Nº10 y Nº40. Si es arena mediana o fina, entre Nº40 a Nº200.

Fracción fina son limos y arcillas, pasante de Nº200.

Su capacidad de carga se estima en un Valor Soporte relativo tal que:

Para una sub-base \longrightarrow VSR ≥ 40 %

Para una base \longrightarrow VSR ≥ 80 %.

1.13. Los materiales

Se debe corroborar la idoneidad de los agregados. Se ve:

Árido grueso es preferentemente triturado, reconociendo su forma (lajosidad) y su resistencia a la fragmentación (ensayo Los Ángeles).

Árido intermedio se analiza su limpieza (ensayo Equivalente de arena).

A la misma mezcla se le debe reconocer su permeabilidad y realizarse ensayos de durabilidad. Esto es particularmente importante, por ejemplo, en capas drenantes.

1.13.1. Modulo resiliente

Es un estimativo del modulo de elasticidad que se basa en la relación de esfuerzos y deformaciones de cargas rápidas como las que reciben los pavimentos a través de los vehículos.

Este modulo no es una medida de resistencia de los materiales, ya que no se ensaya a la rotura.

1.14. La dosificación

1.14.1. La granulometría

Debe ser tal que asegure la fricción interna. La composición se realiza por tanteos, hasta obtener una mezcla dentro de la banda que se sugiere. Una vez definida la mezcla, se trata como un suelo.

1.14.2. La resistencia mecánica

Lo primero es realizar el ensayo Proctor (encontrar H_{op} y γ_{max}), y el Ensayo Valor Soporte Relativo. Si el VSR es menor al requerido, es necesario realizar una nueva dosificación granulométrica.

1.14.3. Construcción

El mezclado de los materiales se realiza preferentemente en planta. Su distribución es en el lugar, y se realiza con distribuidores mecánicos autopropulsados. Luego se compacta y se le hace un riego de imprimación.

Este tipo de solución tiene una muy buena respuesta, que además permite ser complementado con otro estabilizado, con cemento por ejemplo.

El mismo puede ser realizado en dos capas sucesivas del paquete estructural, pero con distinto grado de compactación.

2. Estabilizado: drenaje

2.1. Generalidades

Generalmente se consideran la infiltración y las aguas subterráneas. Podemos distinguir distintos tipos de drenes, tales como: drenaje longitudinal, drenes transversales y horizontales, bases permeables y sistemas de pozos.

Para reducir el daño, también se pueden tomar otras alternativas, que se desarrollan en la diapositiva 7 del documento "06_Drenaje".

Base permeable capa drenante de granulometría abierta. Esta puede ser tratada o no, y puede también ser drenada por los bordes. Normalmente se la usa en conjunto con una *capa separadora*, que es una capa de granulometría cerrada, y mantiene una separación entre la base permeable y la subrasante, dirigiendo la infiltración a los drenes horizontales.

Drenajes longitudinales generalmente se ejecutan mediante tubería circular, y corre a lo largo de un pavimento, interceptando el agua que sale de la estructura. Se ubica normalmente en la cuneta.

Drenajes transversales son tuberías cortas, conectadas a los drenajes longitudinales, que transportan el agua desde los drenajes longitudinales a las cunetas o quebradas.

Un sistema de drenaje típico se puede conformar mediante una base permeable, una capa de separación, y drenes longitudinales y transversales.

De no utilizarse un sistema de este tipo, se puede dar un **proceso de deterioro**, donde se puede producir una migración de suelos finos dentro de la a capa granular.

2.2. Método de diseño

Lo más normal es toma como parámetro de diseño el **tiempo de drenaje**. Durante una lluvia, el agua se infiltra en la base permeable hasta que la misma se satura, y el tiempo de drenaje será el tiempo requerido para drenar una cierta cantidad de agua de la capa drenante una vez que la lluvia ha parado.

3. Estabilizado: cal

Lo primero es distinguir entre los tipos de cal. Podemos distinguir tanto la **cal aérea** y la **cal hidráulica**. El endurecimiento se da debido a un intercambio de cationes con la arena, donde se pueden producir a corto plazo la floculación y aglomeración, y a largo plazo el efecto puzolánico y la carbonatación.

En el **corto plazo**, se genera una reducción contenido de agua, índice plástico y un aumento de la plasticidad. Por otro lado, en el **largo plazo**, se da un efecto puzolánico y carbonatación.

3.1. Cal útil vial

Es el porcentaje de la masa de cal liberado como óxido de calcio, que con agua es capaz de transformarse en solución de hidróxido de calcio, la sustancia activa que ataca a los silicatos y aluminatos.

3.2. Curado

El curado se da para evitar la evaporación del agua contenida en la masa de suelo cal y se hace inmediatamente después de terminada la capa, aplicando un riego de material bituminoso.

3.3. Aplicaciones de la cal

Mejoramiento de suelos se utiliza para mejorar la plataforma de trabajo por secado de las arcillas, disminuyendo la sensibilidad al agua. Se utiliza para dotar a la subrasante de mayor capacidad portante.

Estabilización de suelos se busca la reacción puzzolánica con suelos que contengan arcilla para obtener incrementos de resistencia a compresión y usar la mezcla como sub-base.

Tratado con cal se refiere a la incorporación de can en el suelo de la subrasante con el objeto de aprovechar los efectos a corto plazo del uso de la cal.

3.3.1. Dosificación en mejoramientos de suelos

Para este tipo de tratamiento se considera hasta un 4 % del peso del suelo, luego se determina LL, LP y IP, se moldean probetas para ensayar al CBR, y se evalúa la resistencia a la compresión a los siete días. Normalmente se tiene un tenor de CUV de 2 % a 5 %.

3.3.2. Dosificación en estabilización de suelos

Se verifica la evolución en el tiempo de la resistencia, y se tiene hasta el doble de tenor de CUV.

3.4. Proceso constructivo

4. Estabilizado: cemento

El suelo cemento es una **estabilización química**, que resulta de la mezcla de suelo, cemento Portland y agua en cantidades determinadas, que se compacta a alta densidad y curada.

Las principales propiedades que aporta son resistencia y durabilidad. Químicamente, su acción es diferente de acuerdo al tipo de suelo, según:

En suelos finos el agua y el cemento forman un hidrato de calcio, liberando iones de calcio, así, toma agua de la arcilla, disminuyendo la plasticidad y aumentando la resistencia y la durabilidad.

En limos, arenas y gravas en estos suelos, el cemento reacciona con los elementos silicosos de los suelos, actuando como ligante.

Este tipo de tratamiento permite aumentar la resistencia a la compresión y flexión simple del suelo.

4.1. Contracción

Es el resultado de la pérdida de agua por secado y de las reacciones ocurridas durante la hidratación del cemento. Existen varios factores que influyen en el mismo tales como:

- Tipo y cantidad de cemento.
- Contenido de agua aplicado en el campo.

- Propiedades de los agregados.
- Procedimientos de curado realizados y condiciones de clima.
- Rozamiento entre la capa de suelo-cemento y subyacente.

4.2. Resistencia al desgaste

Es excelente para soportar esfuerzos perpendiculares a la superficie pero deficiente para esfuerzos abrasivos. Por esto generalmente se cubre con una capa de rodamiento de hormigón o asfalto.

4.3. Los materiales

En general, se puede adoptar cualquier tipo de suelo, excepto en orgánicos o arcillas muy plásticas. Es particularmente apto para los suelos granulares, ya que: se pueden desmenuzar y mezclar fácilmente, y requieren menos cemento. La mezcla típica es:

$$\begin{aligned}\text{Pasante N}^{\circ}200 &\longrightarrow \text{entre } 5\% \text{ y } 35\% \\ \text{Pasante N}^{\circ}4 &\longrightarrow \geq 55\%.\end{aligned}$$

En cuanto el cemento, es generalmente el tipo Portland normal. Dependiendo el tipo de suelo variará su tenor en peso. Para suelos A-1-a normalmente es al rededor de 5 %, mientras que para un A-7 va del 11 % al 16 %.

4.4. Fisuración

Se deben alcanzar las exigencias con respecto a la compresión simple y al desgaste.

El suelo cemento se contrae al endurecer, lo que lo lleva a **fisurarse**. Esto depende del tenor de cemento, tipo de suelos, contenido de agua, grado de compactación y las condiciones de curado.

Para disminuir la fisuración hay que tener especial cuidado en el curado, y se recomienda trabajar con una humedad superior a la óptima.

4.5. Dosificación

Para la dosificación se puede adoptar la Norma VN-E20-66 de la DNV. El proceso consiste en lo siguiente:

1. Clasificación del suelo.
2. Adopción de un tenor de cemento tentativo.
3. Determinación de D_{max} y H_{opt} mediante Ensayo Proctor.
4. Determinar resistencia mediante ensayos de compresión y durabilidad.
5. Adopción de la cantidad óptima.

Donde los tres primeros pasos deben ser iterados con distintas cantidades de cemento, a fin de determinar la cantidad óptima.

4.6. Construcción

Se hace mediante el **mezclado** de los materiales, que se realiza en planta. Normalmente se utiliza una planta con un silo con suelo, un silo con cemento, un tanque del agua y un tornillo o equipo similar para el mezclado. En el tornillo se descarga el suelo y se agrega el agua necesaria con el cemento.

Luego, en el lugar se lo descarga y distribuye, para luego verificar condiciones de humedad y granulometría.

Luego se lo puede **compactar** y perfilar. Para esto se utilizan equipos adecuados, tales como compactadores neumáticos. Esto debe hacerse dentro del plazo de manejabilidad, que normalmente es de dos horas. Este proceso se finaliza con el **sellado final**.

Por último, se da el **curado** del suelo cemento. Esto se hace con un riego de curado, que normalmente es con materiales bituminosos, destinados a mantener la humedad de la capa cementada.

El suelo cemento puede alcanzar resistencias considerables, y generalmente puede ir por debajo inmediatamente por debajo de las capas de rodamiento.

Su resistencia a la erosibilidad lo hace especialmente apto para colocar por debajo de las capas asfálticas o de hormigón.

5. Estabilización: asfaltos

Esto se hace temperatura ambiente, por lo que se deben utilizar asfaltos tales como:

Emulsiones asfálticas es una dispersión homogénea de pequeños glóbulos de cemento asfáltico. La emulsión puede ser aniónica o catiónica.

Asfalto espumado se forma por inyección de agua fría y aire comprimido en cemento asfáltico, haciendo que queden atrapadas burbujas dentro del asfalto. Sus características más importantes son la relación de expansión y la vida media.

5.1. Mecanismo de estabilización: suelos finos

En este tipo de suelos, la estabilización consiste en la **impermeabilización**. Como el suelo poseerá cohesión, la función del asfalto será la de formar una membrana que impide la penetración del agua, previniendo cambios de volumen del suelo y reducciones en su resistencia.

5.2. Mecanismo de estabilización: suelos granulares

En los materiales granulares, se dan dos mecanismos. Primero el de **impermeabilización**, ya descrito. Además, se da uno de **adhesión** que brinda al agregado la cohesión de la cual carece, aumentando la resistencia al corte y a la flexión.

5.3. Factores

Algunos factores son: tipo de estabilizante, tipo y gradación del suelo, densidad de la mezcla compactada, curado, temperatura de ejecución de los ensayos y velocidad de aplicación.

5.4. Emulsión asfáltica

Para suelos finos se deben cumplir ciertos requisitos, dependiendo de la plasticidad y la cantidad de material que pasa el tamiz N°200. Un exceso de partículas finas se traduce en una superficie específica muy grande, que exigiría una proporción de asfalto muy alta.

5.4.1. Diseño de la mezcla

Se utiliza la durabilidad como criterio del comportamiento de la mezcla después de compactada y curada. Existen varios métodos, según el tipo de suelos, o sea de grano fino o granulares.

En el **método de inmersión-compresión**, se hace lo siguiente:

1. Determinación de la humedad óptima de compactación.
2. Determinación de contenido óptimo teórico de ligante.
3. Elaboración de mezclas.
4. Compactación de probetas.
5. Curado de probetas.
6. Ensayo de compresión.
7. Determinación del contenido óptimo de emulsión.

5.4.2. Módulo dinámico

Es importante saber que el módulo dinámico de las capas estabilizadas con emulsión asfáltica tiende a reducirse con el tiempo, a causa de la fatiga por la aplicación de las cargas de tránsito.

5.4.3. Comportamiento a la fatiga

El comportamiento a fatiga de las estabilizaciones con emulsión asfáltica es similar al de las mezclas bituminosas.

5.4.4. Dosificación

Tarea A Encontrar proporción de suelo y arena según densidad Proctor.

Tarea B Encontrar mejor mezcla con emulsión.

Tarea C Evaluar eficiencia de la estabilización por medio de absorción.

Se explica más en detalle en la diapositiva 40 de "10 Bases con asfalto".

5.4.5. Método constructivo

Puede hacer tanto en el camino, o en planta fija. Luego de aireada la mezcla se debe dar un proceso de compactación, con rodillos pata de cabra y neumático, y por último se da un perfilado e imprimado.

5.5. Asfalto espumado

Suele utilizarse para las siguientes zonas de la gráfica de granulometría

Zona A el material es adecuado para la estabilización de vías de tránsito pesado.

Zona B el material es apropiado para estabilización en vías de tránsito liviano.

Zona C el material es deficiente en finos y no responde bien al tratamiento.

5.5.1. Diseño de la mezcla

1. Optimización de las propiedades del asfalto espumado.
2. Determinación del contenido óptimo de humedad.
3. Elaboración de mezclas de ensayo.
4. Compactación de probetas de ensayo.
5. Curado de probetas.
6. Medida de dimensiones y pesos de probetas.
7. Ensayo de tracción indirecta.

5.6. Combinación de estabilizantes

Consiste en la combinación de estabilizantes es realizar un tratamiento previo del suelo para modificar algunas características antes de aplicar el estabilizante dominante.

5.6.1. Combinación cal-cemento

El cemento no se puede mezclar exitosamente con finos muy plásticos. Al realizar este tratamiento, se logra que la cal, que se agrega primero, flocule los finos con una reacción rápida, disminuyendo la plasticidad y reduciendo la humedad, y luego el cemento produce una rápida crecida en la resistencia mecánica del suelo.

5.6.2. Combinación cal/cemento-asfalto

El curado es un factor importante en los tratamientos con asfalto, por lo que el tratamiento previo del suelo con cal o cemento hace que la estabilización con el producto asfáltico sea más resistente a la humedad.

5.6.3. Otros

También se pueden ver bases permeables o bases de concreto pobre (ver PDF).

6. Bases estabilizadas con asfalto

[Clase 20210520](#)

[Clase 20210520](#)

En suelos cohesivos, esta estabilización produce impermeabilización, formando una membrana que impide la penetración del agua. En suelos granulares además produce adhesión, aumentando la resistencia al corte y módulo elástico.

7. Pavimentos flexibles

Normalmente se pueden utilizar los métodos Porter o método Shell. El más preferido es el último, que permitió el avance de muchas cosas en cuanto a como se realizaban.

7.1. Método Shell

Este método asume que se encuentra una estructura bien diseñada, que se comporta elásticamente bajo acción de las cargas dinámicas.

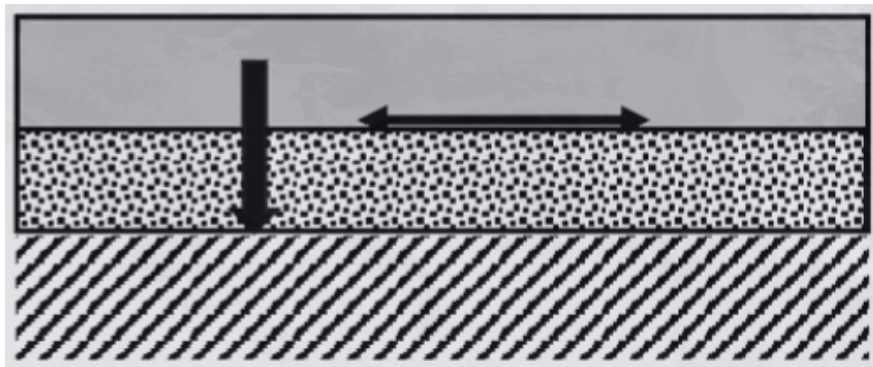


Figura 8: Esfuerzos críticos

Se deben considerar los siguientes **esfuerzos críticos**:

Excesiva deformación de la superficie por acumulación de pequeñas deformaciones permanentes en la estructura. En estructuras bien diseñadas, estas son primariamente dependientes de la compresión vertical en la superficie de la subrasante.

Rotura de la capa asfáltica por la flexión repetida de esta capa bajo las cargas del tráfico. El inicio de tales roturas es gobernada por la tracción en el borde inferior de la capa asfáltica.

7.1.1. Parámetros de diseño

Para la **subrasante** se considera el VSR o Valor Soporte Relativo, y en el **tránsito**, se considera un número N , que es la cantidad total de ejes equivalentes a 10 tn que pasan por la trocha más cargada durante la vida útil. Es equivalente a:

$$N_{10t} = N_x * \left(\frac{x}{10}\right)^4.$$

7.1.2. Cartas de diseño

En X se da el espesor de la capa granular total, y en Y se da el espesor de la capa asfáltica. En la misma se encuentran dos curvas, que dan las cargas críticas que corresponden a un N en particular. Esto se ve en Figure 9

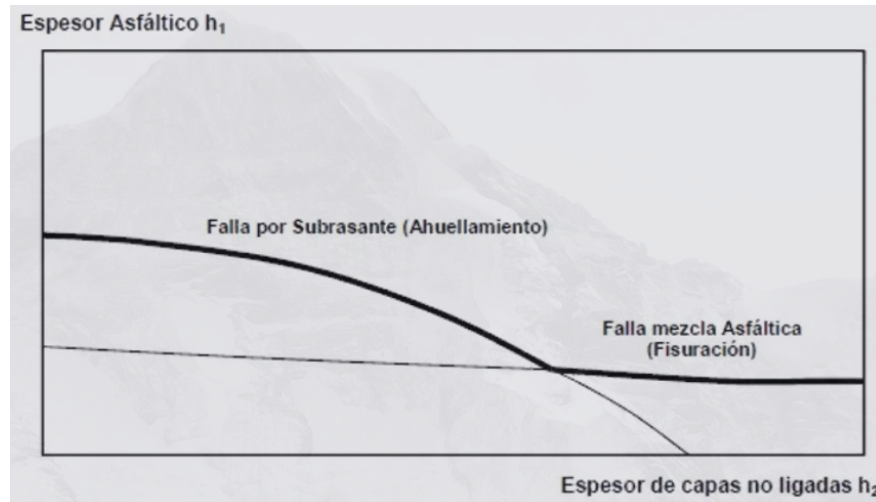


Figura 9: Carta Shell VSR

Lo que se busca que el punto se encuentre sobre las curvas mostradas, ya que menos no serán suficientes, y sobre la misma se estaría sobre dimensionando.

7.2. Método AASHTO

El método puede ser pensado como un equilibrio, donde por un lado se consideran todos los requerimientos a tener en cuenta, tales como la subrasante, tránsito, clima y serviciabilidad. En cuanto al tránsito, el método considera un N_{80KN} , que será aproximadamente $2,26N_{10t}$ del método Shell. En cuanto al clima, se tiene en cuenta un factor regional FR .

Por el otro lado, se requieren tener en cuenta ciertos índices, tales como coeficientes estructurales por unidad de espesor a_i y espesores e_i . Esto permite diseñar una carpeta que pueda cubrir las resistencias requeridas.

8. Pavimentos asfálticos

8.1. El petróleo

Es un componente elemental del asfalto, que se compone de de carbono, hidrógeno, azufre y nitrógeno.

8.2. Ligantes hidrocarbonados

Se pueden encontrar ligantes bituminosos, que son derivados del petróleo, tales como los betunes. Los mismos pueden ser betunes fluidificados, emulsiones bituminosas y ligantes bituminosos modificados.

Tienen como características lo siguiente:

1. Mezclas complejas de hidrocarburos.
2. Color negro o muy oscuro.

3. Materiales aglomerantes (adhesividad).
4. Carácter termo-plástico (Susceptibilidad térmica).
5. Pérdida de propiedades iniciales (envejecimiento).

8.2.1. Estructura coloidal

El asfalto cuenta con:

Asfáltenos son partículas sólidas bituminosas, que son de alta viscosidad, y proveen tanto elasticidad, resistencia y cohesión

Maltenos estos pueden dividirse entre resinas y aceites. Los primeros son muy sensibles a la temperatura, y son responsables de la viscoelasticidad. Se pueden transformar en asfáltenos mediante la oxidación. Los aceites aumentan la fluidez, y en la oxidación se transforman en resinas y asfáltenos.

Las propiedades deseables del asfalto son:

- Alta elasticidad a elevadas temperaturas.
- Suficiente ductilidad a bajas temperaturas.
- Baja susceptibilidad al cambio de temperatura.
- Bajo contenido de parafina.
- Buena adhesión y cohesión.
- Alta resistencia al envejecimiento.

Esto nos permite tener un **asfalto ideal**.

8.3. Ensayo de consistencia

Estos ensayos miden la dureza del material y como varía con respecto a la temperatura y cargas.

Entre estos encontramos los siguientes.

Ensayo de fragilidad Fraass

Ensayo de penetración se realiza a 25°C, y nos sirve para medir la consistencia del asfalto.

Ensayo de punto de ablandamiento nos permite determinar la temperatura de ablandamiento.

Ensayo de viscosidad

Otro índice que puede ser interesante es el *índice de penetración de Pfeiffer y Van Doormaal*, que indica la susceptibilidad térmica del asfalto. Dependiendo del valor que toma puede ser interpretado el tipo de desempeño que tendrá, donde un valor entre -1 y 1 es un desempeño moderado.

8.4. Ensayos de durabilidad

Se ensaya la capacidad que presenta el asfalto de mantener las propiedades cohesivas y cementantes con el paso del tiempo, y ciertos agentes tales como agua, rayos ultravioleta, oxígeno, etc.

El proceso de mezclado y compactación, a pesar de su corta duración, es crítico. Es importante controlar las temperaturas y la película de asfalto, que puede provocar la pérdida de volátiles.

Algunos ensayos son los de **ensayo de película delgada**.

8.5. Base asfáltica

Esta puede ser conformada por asfalto más otro aditivo, tales como:

- Con solvente, para conformar asfalto cortado.
- Con agua más emulsificante, para formar emulsión asfáltica.
- Destilación directa, para conformar cemento asfáltico.
- Con modificadores.

8.5.1. Asfalto cortado

Según la volatilidad del solvente y su viscosidad puede tener distintas velocidades de curado. En este tipo de asfalto se lo ensaya a consistencia, seguridad, contenido de asfalto y propiedades del residuo.

8.5.2. Emulsiones asfálticas

Son una dispersión estable de pequeños glóbulos de asfalto en agua, que se logra estabilizar mediante un emulsificador, que puede ser aniónicas o catiónicas.

Se da una etapa de **estabilidad y quiebre**, donde luego de un estado inicial de dispersión se genera una floculación y coagulación de asfalto, dada la evaporación del agua.

La velocidad de rotura de la emulsión dependerá de la afinidad del agregado y emulsión, el tipo de emulsificador y factores climáticos.

9. Caminos de bajo tránsito

Son la trama vial donde el tipo de calzada se compone de ripio o de tierra. Estos caminos conforman una red de servicio a la producción agropecuaria y otros.

Desde el punto de vista de diseño, tiene como ventaja que es de bajo costo inicial de la estructura, pero se debe buscar una transitabilidad bajo cualquier condición climática, y conservación simple y de bajo costo.

Se tiene como objetivo, cuando se diseña uno de estos caminos, lo siguiente:

- Evitar conflictos del uso de suelo.
- Controlar el agua superficial sobre el camino, y mantener los desagües naturales, controlando erosión.
- Estabilizar la superficie de rodamiento.
- Reducir el desperdicio de materiales.
- Impermeabilizar y alargar la vida útil del camino.

Luego, se deben hacer consideraciones dependiendo del clima el índice plástico recomendado, y la necesidad de mejoramientos, sea con estabilización con cal o cemento.

Los **materiales naturales aptos** que pueden ser utilizados son el suelo calcáreo y ripio.