

LA CARRETERA Y EL SUELO

Por VENTURA ESCARIO,
Ingeniero de Caminos. M. S. Harvard University.

Expone el autor algunas normas interesantes que deberían seguirse para el conocimiento del suelo en los estudios de carreteras, y da cuenta de lo que se hace actualmente en los Estados Unidos en tan importante materia.

La carretera es suelo en su mayor parte. De suelo es la estructura que la soporta: terraplenes y desmontes, y también pudiéramos decir que de tierra es el mismo firme, salvo la capa de rodadura; las sub-bases, tan en uso hoy en día, se hacen, en efecto, de tierras seleccionadas; las bases de piedra machacada llevan en la mayoría de los casos, como recebo, tierra que no debe ser de una clase cualquiera, y no hablemos de las bases de tierra estabilizada con cemento y betún, de aplicaciones tan insustituibles en muchas regiones. Sería un crimen, por lo tanto, que proyectáramos nuestras carreteras sin hacer un estudio de cuáles son las propiedades deseables e indeseables de cada tipo de suelo que atravesamos en su desarrollo.

Vamos a pasar revista a algunos pasos fundamentales que un ingeniero debe dar al proyectar y construir una carretera, en lo que a suelos se refiere.

El primero de todos es común a todas las obras de ingeniería y bien conocido y practicado por la mayoría de los ingenieros: la inspección visual de la zona afectada. La opinión de un especialista en Geología puede ser ayuda muy valiosa en este primer paso. Tipos y periodos geológicos de los terrenos atravesados, buzamiento de estratos, zonas afectadas por corrimientos, laderas que reptan, etc.; son todos estos, datos de primordial interés que el ingeniero debe barajar antes de tomar ninguna decisión preliminar. Como antes hemos dicho, estas consideraciones previas son comunes a toda obra de ingeniería y, por tanto, no vamos a insistir sobre ellas.

Una vez escogida la zona a atravesar, se hará un anteproyecto de trazado. Con él se sabrá cuál va a ser, muy aproximadamente, el eje del camino y cuáles las cotas de desmonte y terraplén. Y al llegar a este punto, es cuando es necesario proceder a hacer un estudio de los suelos con que se van a construir los terraplenes y que van a servir de apoyo en los desmontes. Para ello hay que hacer unos sondeos sencillos a lo largo del eje de la carretera. Se utilizan con este fin simples sondas de mano (fig. 1.^a), muy baratas de adquirir y de utilización muy sencilla. Dos hombres son suficientes para hacer el sondeo, y en condiciones normales se pueden alcanzar profundidades de 5 a 8 metros con ellas. El rendimiento de estas sondas es, naturalmente, muy variable con el tipo de terreno, pero en todo caso se trabaja con ellas

con gran rapidez. La distancia a que deben efectuarse los taladros depende de las condiciones de uniformidad del terreno; de 200 a 300 metros, puede considerarse una media normal. La profundidad a que se debe llegar es de unos 2 metros por debajo de la rasante de la explanación, en las zonas de desmonte: en las partes en terraplén se bajará en unos

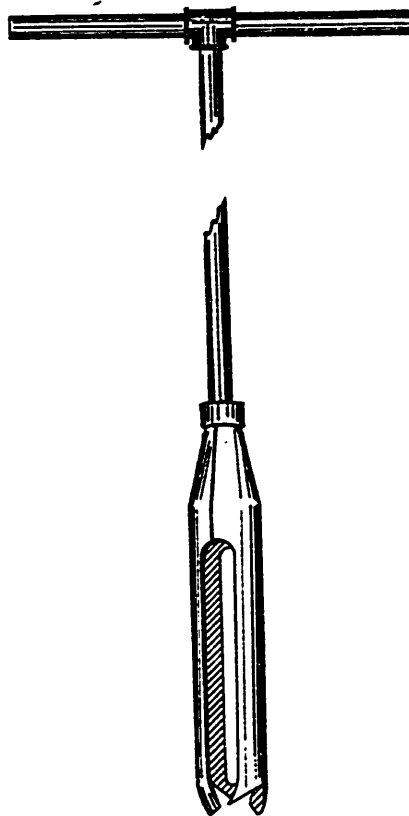


Figura 1.^a

2 metros también por debajo de la superficie del terreno. Estas son reglas generales solamente aplicables, desde luego, a condiciones normales. Si se tratara de terraplenes altos o fueran de temer capas compresibles, o por cualquier causa indeseables, habría que proceder a hacer sondeos más profundos en estas zonas.

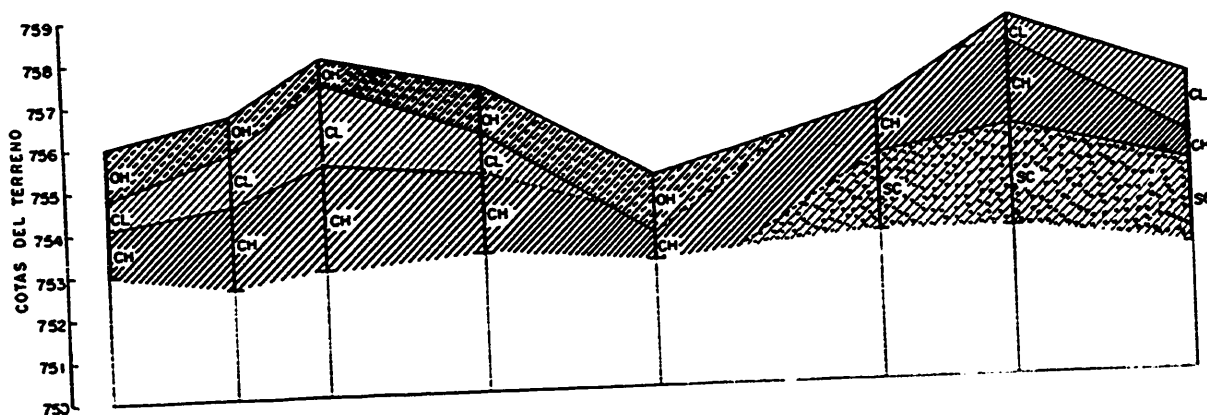


Figura 2.ª

En estos sondeos se suelen tomar muestras de cada estrato atravesado y como mínimo cada metro. Las muestras se guardan en botes de 1 a 2 litros de capacidad, y se parafrinan para que no pierdan humedad. Al mismo tiempo se toma nota del corte del terreno en cada uno de los sondeos, haciendo una descripción visual detallada de los distintos suelos atravesados. Los botes se envían al Laboratorio y se procede a hacer la clasificación de cada uno de ellos. Ya se siga la clasificación del Highway Research Board o la de Casagrande, los únicos ensayos que hay que hacer son los límites de Atterberg y el análisis granulométrico hasta el tamiz núm. 200 (0,074 milímetros). Y esto sólo con los suelos dudosos, pues los restantes, una persona un poco adiestrada los puede clasificar visualmente. El proceso es, por tanto, rápido y económico. No entramos en el detalle de cómo se hace la clasificación de Casagrande, que se puede ver en muchas obras relacionadas con la materia (*).

En la figura 2.ª se da un ejemplo de un perfil, dibujado con los resultados de los sondeos. Este perfil da ya una primera idea de cuáles van a ser las propiedades aproximadas de cada uno de los terrenos atravesados, y, por tanto, cuáles serán los problemas que se van a encontrar. En las publicaciones citadas se describen cuáles son estas propiedades. A continuación, y a la vista de los perfiles del terreno, se tomarán ya unas muestras mayores de los terrenos típicos que se presentan. Para ello se excavarán unos pozos hasta la profundidad deseada y se tomarán muestras perturbadas en sacos para poder efectuar el ensayo de Proctor, C.B.R., Límites de Atterberg y Granulométrico. El ensayo de Proctor, los límites y granulométrico servirán, en la mayoría de los casos,

para determinar de manera más definida cuáles van a ser las propiedades del suelo y ver si son aceptables o desechables para la construcción de terraplenes (*). El C.B.R. servirá para determinar cuál es el espesor preciso del firme (**). Pero si no hay tiempo para efectuar este ensayo o no se dispone del equipo necesario, simplemente los límites y el granulométrico son suficientes para determinar de una manera aproximada el espesor necesario de firme por medio del método del Índice de Grupo (**). En algunos casos puede ser preciso tomar muestras sin perturbar, por ejemplo, cuando se trate de arcillas compresibles sobre la que se va a apoyar un terraplén, o bien efectuar otros ensayos complementarios: pero esto será en general poco frecuente.

Una vez conocidas las características de las tierras, ya se puede decidir en el proyecto cuáles se van a poder utilizar y cuáles son inadmisibles, así como los tantos por ciento de la densidad Proctor que se deberán exigir en obra, según las características y la altura de los terraplenes. También se sabrá qué espesores de pavimento se van a necesitar aproximadamente, punto éste que convendrá decidir definitivamente haciendo nuevos ensayos sobre muestras tomadas directamente de la explanación, una vez hecho el movimiento de tierras.

Un aspecto que debe cuidarse con especial atención es qué taludes debe darse a los terraplenes. El talud 1,5:1 es, con frecuencia, insuficiente. En muchas obras hemos podido observar los calamitosos efectos derivados del empleo de taludes fuertes. Estos son ya escasos en proyecto y algunos contratistas se encargan, además, de hacerlos aún más

(*) Ver normas para la aceptación de tierras en *Boletín de Información Privada*, núm. 11, del Laboratorio del Transporte.

(**) Escario: *Caminos*, tomo II, 3.ª edición, 1956.
Métodos de Cálculo de Espesores de Pavimentos Flexibles para Carreteras y Aeropuertos, por Ventura Escario. Publicación núm. 4 del Laboratorio del Transporte, 1956.

(*) *Caminos*. Escario, tomo I, 3.ª edición, 1956.
Mecánica del Suelo. J. A. Jiménez Salas.
Boletines de Información Privada, núms. 8 y 9. Laboratorio del Transporte.

empinados de lo proyectado. A esto se suele unir la mala compactación, en parte debida al temor e incomodidad de acercar la maquinaria a los bordes del terraplén. Las consecuencias se traducen en asentamientos en dichos bordes y en ocasiones auténticos pequeños corrimientos que afectan a todo el mordiente de la carretera y que destruyen no sólo los paseos, sino además, muy frecuentemente, incluso la zona afirmada. La reparación constante de estos males

por un lado, que la capa freática esté demasiado próxima al firme, y por otro, que el agua de lluvia alcance directamente al terreno de apoyo del firme o sub-rasante.

Ocupémonos en primer lugar de este segundo aspecto. El agua de lluvia alcanza directamente, es decir, por gravedad, a la sub-rasante, filtrándose principalmente a través de los paseos y del mismo firme. Esto es indudable, en el caso de firmes sin impermea-

SOLUCION CORRECTA

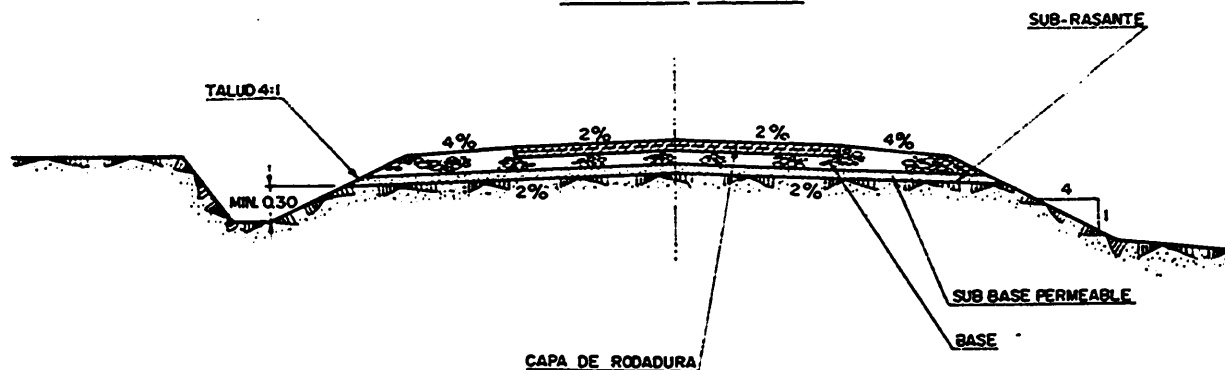


Figura 3.ª

SOLUCION INCORRECTA

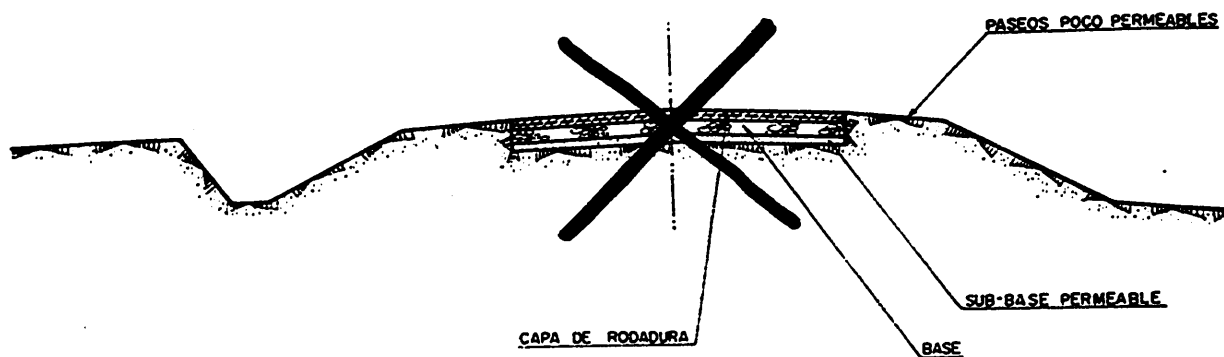


Figura 4.ª

es costosísima y a veces son muy difíciles de corregir definitivamente. Es, por tanto, mucho más económico aumentar los taludes en el proyecto que tener que hacer constantes reparaciones en el firme o acometer una reforma posterior de la carretera.

Y pasemos a hacer ahora algunos comentarios sobre drenaje. Las tierras se suelen comportar bien cuando están relativamente secas. Pero todo ingeniero de carreteras teme a las temporadas de lluvias, por los efectos desastrosos que suelen tener en los firmes. Pues si es el agua la que destruye las carreteras, tratemos de eliminarla a toda costa. Y éste es un mal que afecta a gran parte de las carreteras españolas: falta casi absoluta de drenaje.

Hay que evitar fundamentalmente dos cosas:

bilización superficial; pero también se filtra el agua por los firmes pavimentados, ya sea a base de hormigón o de un producto o mezcla bituminosa. Es fácil, efectivamente, que se produzcan pequeñas grietas en la capa de impermeabilización, por las cuales el agua se filtra de manera insospechada; lo mismo sucede con las juntas de los firmes de hormigón hidráulico o los contactos con los bordillos en los asfálticos. Incluso aunque estas vías no existieran, los firmes son siempre permeables, especialmente si se trata de aglomerados abiertos sin sellar; además, las inevitables desigualdades en la superficie hacen de depósitos que aumentan considerablemente la cantidad de agua que se filtra.

La moderna concepción de un firme está expre-

sada en las figuras 3.^a y 5.^a. En ambos casos, como se ve, se coloca una sub-base permeable sobre la sub-rasante. Pero es fundamental que dicha sub-base permeable esté perfectamente drenada para dar salida inmediata al agua que se filtre a través del pavimento. Cualquiera de las dos disposiciones de las figuras 3.^a y 5.^a es adecuada. La elección de una u otra dependerá de razones económicas u otros motivos de orden técnico que vayan asociados. Por ejemplo, si los paseos son anchos, será cara la solución de la figura 3.^a y al mismo tiempo inadecuada, pues el camino que tiene que recorrer el agua es largo y el gradiente hidráulico reducido. Es totalmente inadmisibles la solución de la figura 4.^a; los paseos, si están formados por un material que no es muy permeable, impiden la salida de la balsa de agua filtrada que se forma. Este agua va penetrando así lentamente en la sub-rasante, hasta ocasionar su

si sus huecos no están convenientemente cerrados por material fino. Se produce una especie de bombeo de la arcilla hacia la superficie, análogo en muchos casos, a nuestro juicio, al denominado "pumping" en los hormigones hidráulicos. En ocasiones hemos podido ver, incluso en la superficie del firme, las manchas de la arcilla que había penetrado a través de todo el firme, atravesando después el aglomerado de revestimiento. En los casos en que el peligro de infiltración es inminente por tratarse de un suelo muy arcilloso, incluso recomendamos no utilizar las granulometrias más gruesas de las dadas en las normas de la A.A.S.H.O., para tener una garantía completa de que no se producirá el citado fenómeno.

Los recargos sucesivos de macadam sobre firmes que padecen de este mal, pueden ser inútiles y la piedra continuar hundiéndose. Además se forman frecuentemente bolsas de piedra sin drenaje, que cons-

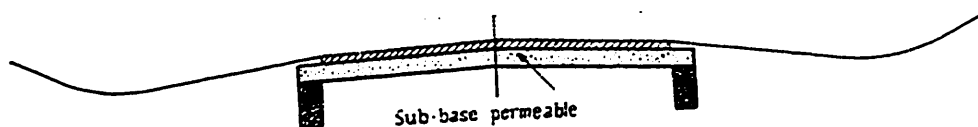


Figura 5.^a

total reblandecimiento y con ello la destrucción inmediata del firme (se originan los llamados "blandones").

El material que forma la sub-base debe de cumplir, claro está, ciertas condiciones que aseguren su permeabilidad y estabilidad. Al final de este artículo se dan las normas de la American Association of State Highway Officials (A.A.S.H.O.) para sub-bases.

Las sub-bases construidas de acuerdo con estas normas sirven, además, para evitar uno de los fracasos más peligrosos: la infiltración de la arcilla en el firme. Este es un mal que hemos podido observar en numerosas carreteras españolas y que además tiene solamente soluciones muy costosas. No se puede apoyar un firme de macadam directamente sobre un terreno arcilloso. Y no digamos un cimiento telford de los tradicionalmente usados en España. Aun suponiendo que las filtraciones de agua sean reducidas y que el telford o macadam estén convenientemente drenados, la arcilla que durante la construcción puede tener un aspecto apacible por estar relativamente seca, aumenta su contenido de agua notablemente al impermeabilizarla por medio del firme en su superficie. El proceso es lógico, pues el firme impide la evaporación del agua y, como consecuencia, la costra superficial más o menos seca desaparece y la arcilla adquiere en la sub-rasante grados de humedad análogos a los existentes a profundidades superiores. Su valor suele llegar a ser del orden del límite plástico, y si hay filtraciones, bastante superior. Con la sub-rasante en estas condiciones, al pasar las cargas, la arcilla empieza a infiltrarse en el firme

tituyen depósitos donde el agua se acumula y reblandece el terreno.

Según hemos dicho anteriormente, hay que dar a la sub-base un buen drenaje y ello se puede hacer en cualquiera de las dos formas indicadas en las figuras 3.^a y 5.^a. Si la solución que se adopta es la de la figura 3.^a, la cuneta debe tener la profundidad debida. El criterio que se debe seguir para disponer de un drenaje adecuado es que, según se indica en el dibujo, el fondo de la cuneta esté, por lo menos, 30 centímetros por debajo de la parte inferior de la sub-base. Ello da lugar a cunetas bastante profundas, y por ello, para que no representen un peligro para la circulación, sus taludes deben ser suaves, adoptándose en la figura el valor 4:1 como recomendable. Si los paseos no se piensa afirmarlos, se puede recurrir a la solución de prolongar solamente la sub-base, permeable hasta la cuneta, y hacer encima un relleno de tierras seleccionadas. En todo caso, si no se impermeabilizan los paseos en su parte superior, deben de tener una pendiente transversal de un 4 %, para eliminar rápidamente el agua superficial.

Si la solución que se adopta es la de la figura 5.^a, los tubos para el dren deberán tener un diámetro mínimo de 10 cm. y podrán estar dispuestos con perforaciones o con juntas abiertas. Pero en todo caso, el material filtrante que los rodea reunirá las condiciones granulométricas necesarias para que no haya arrastres que lo cieguen al poco tiempo. Al final de este artículo se dan las normas que habrá de cum-

plir el material filtrante para que el dren pueda actuar en las debidas condiciones. Según los materiales de que se disponga, habrá que hacer el filtro en una o varias capas, para que entre cada dos consecutivas se cumplan las reglas de los filtros. La construcción de un filtro con una sola capa, no tiene dificultad alguna. En la figura 6.^a se da un esquema típico de filtro construido en dos capas.

Señalábamos anteriormente que había también que evitar que la capa freática esté demasiado próxima al firme. La norma que se suele fijar es que en todo

Especificaciones para sub-bases, bases y capas de rodadura compuestas de mezclas suelo-árido.

A.A.S.H.O. Designación: M 147-55.

OBJETO.

1. Estas especificaciones estipulan la calidad y composición granulométrica de mezclas arena-arcilla; detritus de machaqueo de piedra o escoria; o arena, árido grueso de machaqueo, piedra machacada o es-

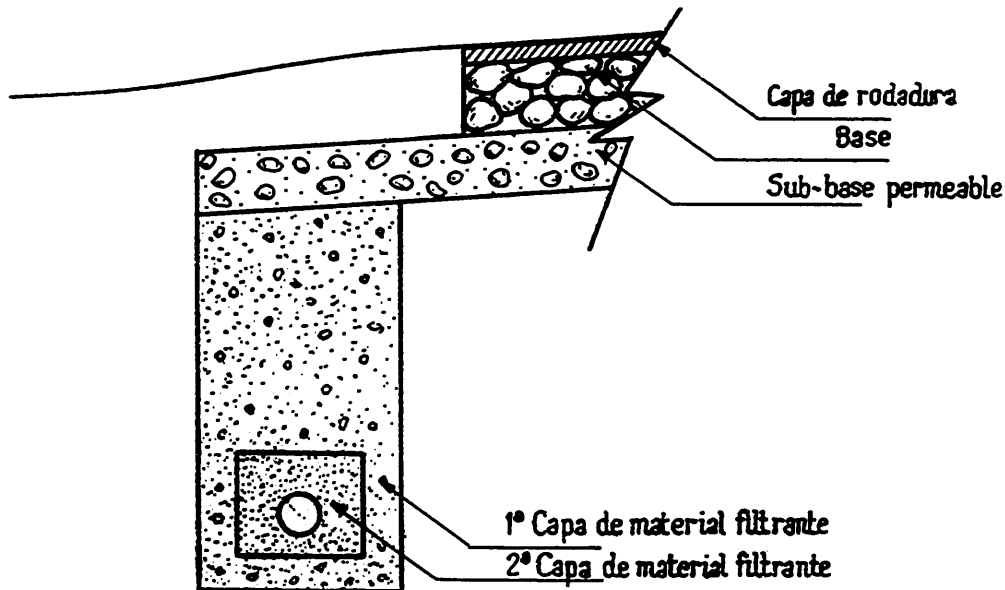


Figura 6.^a

tiempo su distancia a la capa de apoyo de la sub-base no sea inferior a 1.20 m. Cuando esta condición no se cumpla, una buena solución puede ser disponer drenes longitudinales, como se indica en la figura 5.^a. La profundidad del tubo en estos drenes deberá ser la adecuada para que esta norma quede satisfecha. Si los drenes longitudinales se construyeran con el único fin de drenar el agua superficial por estar la capa freática suficientemente alejada, la distancia de la parte inferior de la sub-base al eje del tubo no deberá ser menor de 0.30 m.

Y por último, conviene insistir sobre un punto que todo el mundo conoce, pero que muchos no practican. En el proyecto hay que dibujarse los perfiles longitudinales de las cunetas y estudiarse los desagües. Unas cunetas bien proyectadas y construidas son la base de la vida de una carretera. No debe dejarse al capricho del contratista su construcción, lo que suele traer como consecuencia, que puede verse en numerosas carreteras, el que las cunetas no desagüen. Eliminemos rápidamente el agua y salvaremos nuestras carreteras.

coria mezcladas con suelo, o cualquier combinación de estos materiales para su empleo en la construcción de sub-bases, bases y capas de rodadura. Estas normas sólo se refieren a materiales con características normales o medias de peso específico, absorción y granulometría. Cuando se empleen otros materiales deberán fijarse límites adecuados para su uso.

CONDICIONES GENERALES.

2. a) El árido grueso (retenido en el tamiz número 10) a emplear estará formado por partículas o fragmentos de piedra, grava o escoria, duras y estables. Los materiales que se desintegren al someterlos a ciclos alternos de hielo y deshielo, o humedad y sequedad, no deberán utilizarse.

b) El árido grueso tendrá un porcentaje de desgaste en el ensayo de Los Angeles, no superior al 50 %.

NOTA: El ingeniero puede especificar un porcentaje superior o inferior a esta cifra, de acuerdo con los materiales de que se disponga.

TABLA I.—Granulometría para complejos suelo-árido.

Designación del tamiz	TANTO POR CIENTO QUE PASA					
	Granulometría A	Granulometría B	Granulometría C	Granulometría D	Granulometría E	Granulometría F
2"	100	100	—	—	—	—
1"	—	75-95	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	—	—
Núm. 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Núm. 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Núm. 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Núm. 200	2- 8	5-20	5-15	10-25	6-20	8-25

3. a) El árido fino (que pasa por el tamiz número 10) que ha de emplearse estará formado por arena natural o de machaqueo y partículas minerales finas que pasen por el tamiz núm. 200.

b) La fracción que pasa por el tamiz núm. 200 no será superior a los dos tercios de la fracción que pasa por el tamiz núm. 40. La fracción que pasa por el tamiz núm. 40 tendrá un límite líquido no mayor de 25 y un índice de plasticidad no superior a 6.

4. El material no tendrá en su composición restos vegetales ni bolas de arcilla, y cumplirán las condiciones de granulometría que se dan en la tabla I.

SUB-BASE.

5. Los materiales para sub-base se ajustarán a las condiciones de las secciones 2, 3 y 4, para las granulometrias A, B, C, D, E o F. El tipo y la granulometría a utilizar se escogerán en cada caso.

NOTA: Cuando la experiencia local haya demostrado que para los materiales de la sub-base es necesario un porcentaje de material que pase por el tamiz núm. 200, más bajo del que se pide en la tabla I, para evitar los daños producidos por la helada, el ingeniero encargado deberá especificar dicho porcentaje más reducido.

BASE.

6. Los materiales para las capas de base deberán cumplir lo exigido en las secciones 2, 3 y 4, para las granulometrias A, B, C, D, E o F. Se designará la granulometría que se prefiera.

NOTA: Cuando la experiencia local haya demostrado que para los materiales de la base es necesario un porcentaje de material que pase por el tamiz núm. 200, más bajo del que se pide en la tabla I, para evitar los daños producidos por la acción de la helada, el ingeniero encargado deberá especificar dicho porcentaje más reducido.

CAPA DE RODADURA.

7. Los materiales para capas de rodadura deberán cumplir lo exigido en las secciones 2, 3 y 4, para

granulometrias C, D, E o F. Se designará la granulometría que se prefiera.

NOTA: Cuando se piensa conservar la capa de rodadura durante varios años, sin revestimiento bituminoso o cualquier otro tratamiento superficial, el ingeniero debe especificar un mínimo del 8 % de material que pase por el tamiz núm. 200, en lugar de los porcentajes mínimos que se dan en la tabla I para las granulometrias C, D o E, y un límite líquido máximo de 35, e índice de plasticidad de 4 a 9, en vez de los límites que se dan en la sección 3 b).

HUMEDAD.

8. Todos los materiales contendrán la humedad igual o ligeramente inferior a la óptima necesaria para lograr la densidad requerida, después de haberlos compactado.

ADITIVOS.

9. El cloruro cálcico que se emplee para controlar el contenido de humedad deberá cumplir las condiciones exigidas por las "Standard Specific. for Calcium Chloride" (A.A.S.H.O. Designation M 144).

TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS.

10. Se harán de acuerdo con los métodos de la American Association of State Highway Officials que se dan a continuación:

Toma de muestras	T 2
Análisis granulométrico	T 11, T 27 y T 88
Reconocimiento y toma de muestras para las capas de apoyo del firme de carreteras (subrasantes)	T 86
Preparación de muestras	T 87
Límite líquido	T 89
Límite plástico	T 90
Índice de plasticidad	T 91
Porcentaje de desgaste	T 96

Condiciones que deben de cumplir los materiales para protección de drenes.

En un sistema de drenaje no se debe poner en contacto directo el material destinado a encauzar el agua reunida o dren (grava gruesa, tubo perforado, etcétera.) con un suelo más o menos fino, porque se producirían arrastres indeseables. Para evitar esto, se colocan entre los dos materiales citados uno o más tipos de otros intermedios que hagan de filtro y cuyas granulometrias están graduadas entre las de los dos materiales que separan.

A continuación se relacionan los principales problemas que resuelve el sistema de los filtros para protección de drenes y las condiciones de granulometría que se deben de cumplir entre cada dos materiales adyacentes.

1.º Para evitar que el material penetre por los orificios o aberturas de la tubería de drenaje:

$$\frac{\text{Abertura del tamiz por el que pasa 85 \% material filtr.}}{\text{tamaño aberturas tubo}} \leq 2.$$

2.º Para evitar que haya arrastres del suelo protegido en el material filtrante:

$$\frac{\text{Abertura del tamiz por el que pasa 15 \% material filtr.}}{\text{Abertura del tamiz por el que pasa 85 \% suelo proteg.}} \leq 5.$$

Cuando el suelo protegido es plástico y no contiene vetas de limo o arena, esta condición se puede simplemente sustituir por la condición de que el tamaño correspondiente al 15 % no sea superior a 1 milímetro.

3.º Para que el material filtrante sea suficientemente permeable:

$$\frac{\text{Abertura del tamiz por el que pasa 15 \% material filtr.}}{\text{Abertura del tamiz por el que pasa 15 \% suelo proteg.}} \geq 5.$$

4.º Para evitar que el material filtrante se segregue durante su colocación, es recomendable que su coeficiente de uniformidad no sea superior a 20.

Coeficiente de uniformidad:

$$C_u = \frac{\text{Abertura del tamiz por el que pasa 60 \% del material}}{\text{Abertura del tamiz por el que pasa 10 \% del material}}$$