

6.CARRETERAS

6.1 TIPOS DE CARRETERAS

Se consideran **carreteras** las vías de dominio y uso público proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. No tendrán la consideración de carreteras:

1. Los caminos de servicio, entendiéndose por tales los construidos como elementos auxiliares o complementarios de las actividades específicas de sus titulares.
2. Los caminos construidos por las personas privadas con finalidad análoga a los caminos de servicio.

Legalmente las carreteras se clasifican en España en:

- Autopistas
- Autovías
- Vías rápidas
- Carreteras convencionales

Son **autopistas** las carreteras que están especialmente proyectadas, construidas y señalizadas como tales, para la exclusiva *circulación de automóviles y reúnen las siguientes características:*

1. No tener acceso a las mismas las propiedades colindantes.
2. No cruzar a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía y no ser cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.
3. Constar de distintas calzadas para cada sentido de circulación, separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios.

Son **autovías** las carreteras que, no reuniendo todos los requisitos de las autopistas, tienen calzadas separadas para cada sentido de la circulación y limitación de accesos a las propiedades colindantes.

Son **vías rápidas** las carreteras de una sola calzada y con limitación total de accesos a las propiedades colindantes.

Son **carreteras convencionales** las que no reúnen las características propias de las autopistas, autovías y **vías rápidas**.

Son áreas de servicio las zonas colindantes con las carreteras, diseñadas expresamente para albergar instalaciones y servicios destinados a la cobertura de las necesidades de la circulación, pudiendo incluir

estaciones de suministro de carburantes, hoteles, restaurantes, talleres de reparación y otros servicios análogos destinados a facilitar la seguridad y comodidad de los usuarios de la carretera.

6.2 VARIABLES DEL TRÁFICO POR CARRETERA. ESTUDIOS DE TRÁFICO

Para estudiar la circulación se emplean unas magnitudes que recogen los aspectos más importantes, las magnitudes empleadas más frecuentemente son : la intensidad, velocidad y densidad.

INTENSIDAD

La intensidad es el número de vehículos que pasa a través de una sección fija de una carretera por unidad de tiempo (vehículos/hora o vehículos/día). Es la característica más importante de la circulación, ya que las demás están relacionadas con ella. Para su medición se emplean aforos.

La variación de la intensidad a lo largo del tiempo presenta gran importancia. Como valor representativo de la misma durante el período se suele adoptar la intensidad diaria (u horaria) media de todas las registradas.

Generalmente el período de aforo se extiende a un año, y se obtiene la intensidad media diaria (IMD) que es la magnitud más utilizada para caracterizar la intensidad en las carreteras y se puede definir como el número total de vehículos que ha pasado por una sección de la carretera durante el año , dividido por 365. La IMD define la importancia de las vías y permite su clasificación, empleándose también en otros estudios

VELOCIDAD

Es más interesante estudiar valores medios de **velocidad** que los instantáneos o puntuales. Estos valores medios se pueden obtener de formas diversas. Existen los siguientes conceptos:

Velocidad instantánea: es la de un vehículo en un instante determinado.

Velocidad de recorrido de un vehículo: es la velocidad media conseguida por el vehículo al recorrer un tramo determinado. (longitud / tiempo)

Velocidad media temporal (V_t): Es la velocidad media de todos los vehículos que pasan por un punto fijo de la carretera durante un período de tiempo.

Velocidad media espacial (V_e): Es la velocidad media de todos los vehículos que, en un instante determinado, están en un tramo de carretera.

Velocidad media de recorrido: es la media de las velocidades de recorrido de todos los vehículos en un tramo de carretera.

DENSIDAD

La densidad es el número de vehículos por unidad de longitud sobre una carretera. Esta magnitud raramente se mide directamente, ya que es posible calcularla a partir de medidas de velocidad e intensidad ya que la relación básica entre las tres magnitudes fundamentales es $I = V_e \cdot D$ Siendo:

I: intensidad del tráfico

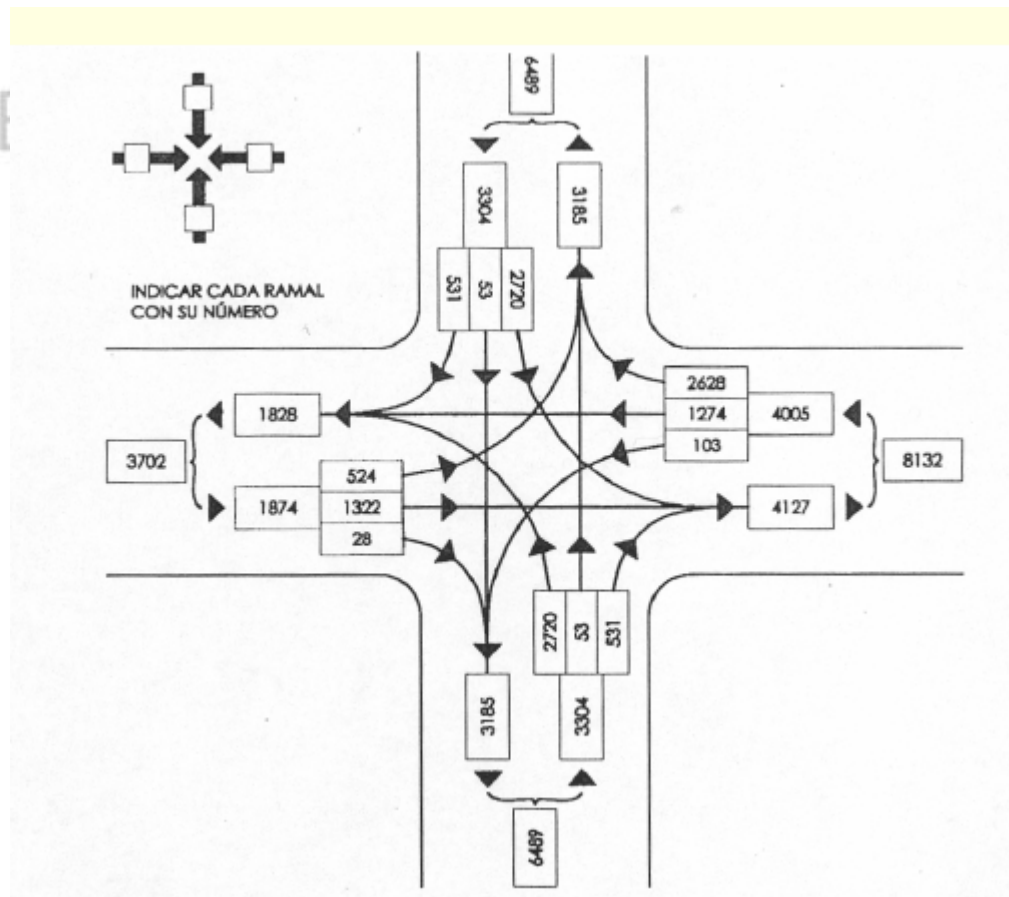
D: densidad del tráfico

Ve: velocidad media de la distribución espacial

Para conocer las características del tráfico es necesario realizar medidas y estudios en las carreteras existentes. Con los datos que se obtengan se mejora el planeamiento del tráfico, la explotación de las redes viarias existentes, la necesidad o no de regulaciones, y la investigación de los efectos de los elementos de la carretera en el tráfico.

El dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento, proyecto y explotación de redes viarias es la intensidad de circulación. Para conocerla es necesario contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la red. Esta operación puede realizarse manualmente o por medio de aparatos especiales.

La realización manual consiste en situar un observador que cuente todos los vehículos que pasan por ella durante un periodo de tiempo determinado, para facilitar la tarea se utilizan generalmente unos impresos preparados con la clasificación de los vehículos que interesa contar. A veces se les proporciona también contadores manuales que el operador acciona cada vez que pasa un vehículo.



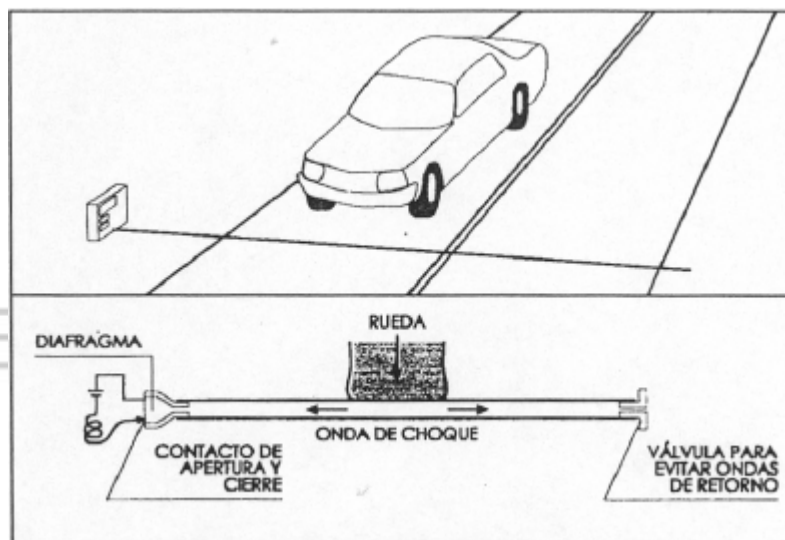
Esquema de intersección en cruz para toma de datos en aforos manuales

La mayor parte de aforos se realizan de forma automática empleando unos aparatos que son capaces de detectar el paso de los vehículos, contar el número de pasos detectados y registrar el número de pasos contados en un periodo de tiempo.

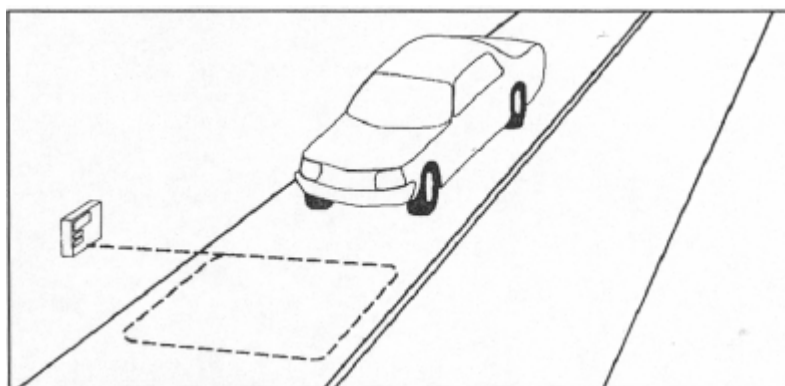
Tipos de **aforadores automáticos**:

- Detectores de lazo
- Detector de tubo de goma
- Detector de placas de reflexión magnética

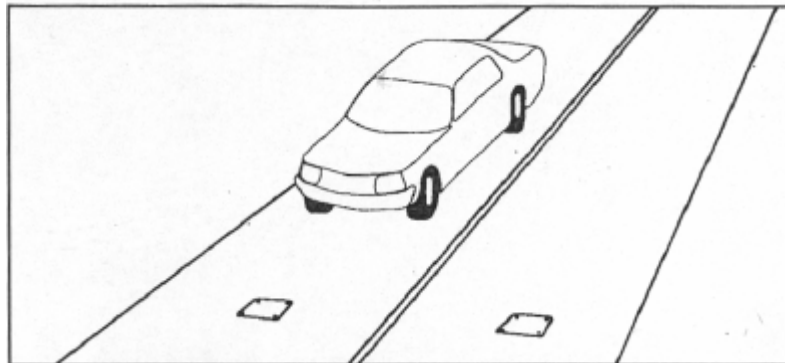
Los resultados se almacenan en soporte magnético retirado periódicamente o se envían por línea telefónica a un centro del control de datos



Detector de tubo neumático



Detector de lazo de inducción magnética



Detector de placas de reflexión magnética

1.Estación	287	Permanente
2.Provincia	SG	
3.Poblado más próx.	MADRONA	
4.Carretera	N 110	P.K. 199.2
5.Carril 1	PLASENCA	A
6.Carril 2	SORIA	D

MD Motos	23
MD Ligeros	2761
MD Pesados	315
MD Autobuses	29
TOTAL	3128

MD Extranjeros	18
MD M. Peligrosas	6

Coef. S(Ligeros)	0.981
Coef. S(Pesados)	0.818
Coef. S(Total)	0.960

% de Coches	94.57
% de Camionetas	5.04
% de Tractores	0.36
% de Camiones sin R	73.47
% de Camiones con R	26.52

H 30	309	%P 30	6.14
H 100	285	%P 100	9.12

Días Aforados	278	Nivel de Fiabilidad	3
---------------	-----	---------------------	---

Mes	K	L	N	F
Enero	2,767	1,248	1,150	1,377
Febrero	2,550	0,858	1,176	0,968
Marzo	2,576	1,105	1,081	1,146
Abril	2,540	1,144	1,208	1,326
Mayo	2,561	1,024	1,103	1,084
Junio	2,501	0,970	1,135	1,056
Julio	2,568	0,882	1,149	0,972
Agosto	2,506	0,805	1,132	0,874
Septiembre	2,538	0,949	1,104	1,005
Octubre	2,586	1,032	1,103	1,092
Noviembre	2,476	1,054	1,088	1,100
Diciembre	2,595	1,123	1,108	1,194

Datos obtenidos por una estación permanente de aforo

Las estaciones también se pueden clasificar según la duración de las medidas que realizan, así tenemos:

Estaciones de aforo permanente: En ellas se realiza un aforo continuado por medio de un contador automático, lo que permite conocer la intensidad de tráfico de todas las horas del año. Estas estaciones permiten un conocimiento de las variaciones del tráfico (diarias, semanales y estacionales), de la frecuencia de las intensidades horarias a lo largo del año y la obtención de las tendencias del tráfico a largo plazo.

Estaciones de control: tienen por objeto conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales, para establecer unas leyes que puedan aplicarse a un grupo de estaciones similares y afines, se distinguen estaciones de control primario y secundario.

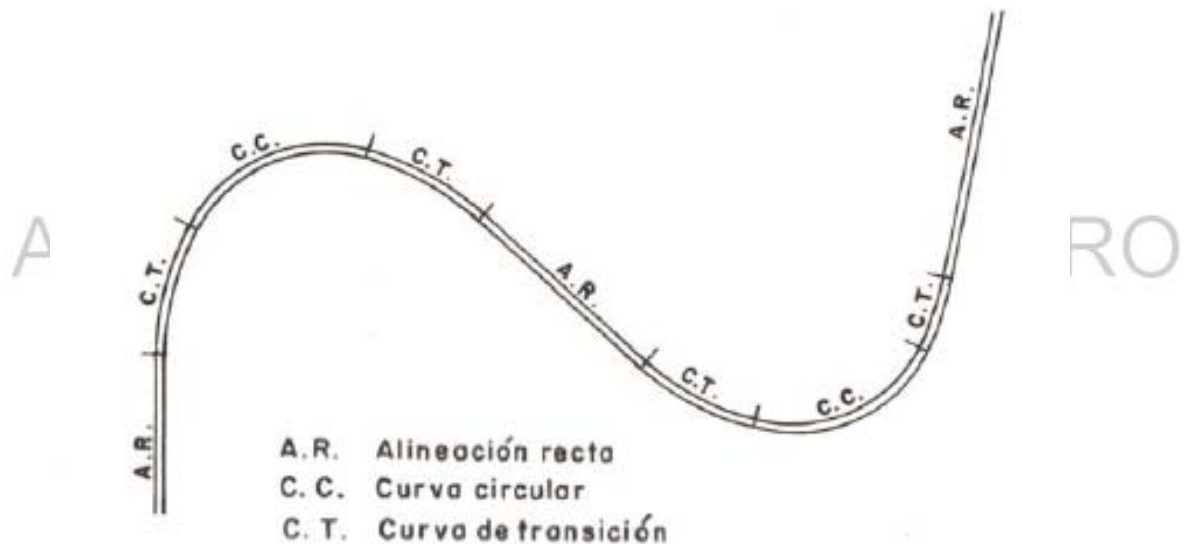
Estaciones de cobertura: Se realiza un aforo al año en día laborable y durante 16 horas (de 6 a 22 horas)

El objetivo principal de un plan de aforos es obtener el valor de la intensidad media anual IMD en todos los tramos de la red

6.3 TRAZADO EN PLANTA Y ALZADO. SECCIÓN TRANSVERSAL

TRAZADO EN PLANTA

La planta del camino está constituida por una serie de alineaciones rectas enlazadas por alineaciones curvas, formadas por marcos circulares con distintos radios, y unas curvas de transición que permiten una variación gradual de la curvatura



Alineaciones rectas: No se producen cambios de dirección y su radio de curvatura = 0. Resultan especialmente indicadas en los siguientes casos:

- En terrenos llanos
- Donde sea preciso adaptarse a algún condicionante externo que sea recto (una infraestructura, un corredor urbanístico, un valle de configuración recta)
- En las proximidades de los nudos, o de las conexiones con otras vías
- Donde resulte necesario detenerse, como en las estaciones de peaje
- En las carreteras de calzada única con dos carriles en las que, para adelantar a otros vehículos es preciso ocupar temporalmente el carril normalmente reservado a la circulación en sentido contrario

Para evitar problemas relacionados con el cansancio, deslumbramientos, excesos de velocidad, etc, es deseable limitar las longitudes máximas de las alineaciones rectas y para que se produzca una acomodación y adaptación a la conducción es deseable establecer unas longitudes mínimas de las alineaciones rectas.

Las longitudes mínima admisible y máxima deseable, en función de la velocidad de proyecto, serán las dadas por las expresiones siguientes:

$$L_{\min,s} = 1,39 \cdot V_p$$

$$L_{\min,o} = 2,78 \cdot V_p$$

$$L_{\max} = 16,70 \cdot V_p$$

Siendo:

$L_{\min,s}$ = Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura de sentido contrario)

$L_{\min,o}$ = Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura del mismo sentido)

L_{\max} = Longitud máxima

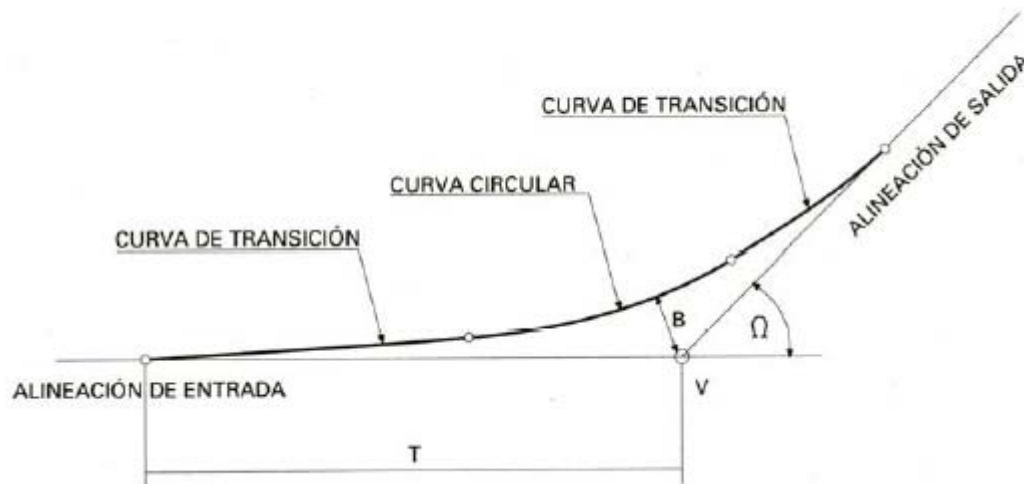
V_p = Velocidad de proyecto (km/h)

Curvas circulares: alineaciones formadas por arcos de circunferencia, permiten realizar cambios de dirección, nos la define el radio, que nos determina el radio de curvatura y la longitud del tramo.

Otro elemento importante del trazado en planta es el peralte, que es la inclinación transversal, en relación con la horizontal, que se da a la calzada hacia el interior de la curva, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo que transita por un alineamiento en curva. Dicha acción está contrarrestada también por el rozamiento entre ruedas y pavimento.

El enlace entre las alineaciones rectas y las curvas circulares exige(salvo el caso de curvas de radios muy grandes) emplear un tercer tipo de alineación: las **curvas de transición**. Éstas tienen una curvatura variable con la distancia recorrida, con lo que suavizan las discontinuidades en la variación de la curvatura y el peralte.

Tanto la curvatura de la trayectoria (obtenida mediante el giro de la ruedas directrices) como el peralte varían paulatinamente a lo largo de una longitud de transición, desde un valor nulo en la alineación recta hasta un valor infinito en la curva circular. Con esta solución aumenta la comodidad en la conducción, pues el volante se gira paulatinamente.



La curva de transición más utilizada es la **clotoide**, su desarrollo es una espiral cuyo radio de inicio es el de la alineación que la precede y en su punto final debe tener el radio de curvatura de la alineación siguiente. Tiene la propiedad de que la curvatura varía proporcionalmente a la longitud recorrida. Su ecuación intrínseca es: $R \cdot L = A$

Siendo:

R = radio de curvatura en un punto cualquiera

L = longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R = \infty$) y el punto de radio R

A = parámetro de la clotoide, característico de la misma

La clotoide, como curva de transición, tiene la particularidad de que si se recorre a velocidad constante y se combina con una variación lineal del peralte se obtiene una variación de la aceleración centrífuga constante y además la clotoide es la curva de transición más sencilla de replantear en el terreno. Además, existen otras curvas de transición como la lemniscata de Bernoulli y los óvalos de Cassini.

TRAZADO EN ALZADO

Los elementos que constituyen el trazado en alzado son las alineaciones verticales formadas por las rasantes en rampa ó pendiente y por los acuerdos entre las mismas.

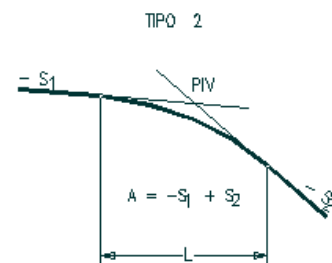
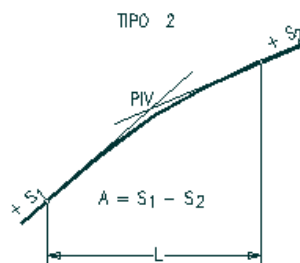
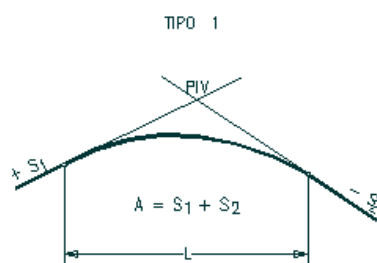
La **rasante** es el conjunto de segmentos, rectos o curvos, que definen el trazado en alzado de una carretera. La definición de rasante es bidimensional: relaciona la distancia ' S ' recorrida a lo largo del trazado en planta (desde un origen de las distancias), con la cota ' Z ' (referida a un plano horizontal de comparación). La inclinación de una rasante se mide por la tangente del ángulo que la recta tangente a ella forma con la horizontal, expresado en tanto por 100

$$i = 100 \cdot dz/ds$$

Los valores positivos de 'i' corresponden a las rampas (se sube en el sentido del avance), los valores negativos de 'i' corresponden a las pendientes (se baja en el sentido del avance).

La inclinación de la rasante depende principalmente de la topografía de la zona que atraviesa, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en rampas.

Entre dos rasantes uniformes consecutivas con diferente inclinación hay que intercalar un segmento curvo y de inclinación variable, que suavice el paso de una a otra. Estos segmentos se denominan acuerdos verticales. Pudiendo ser los acuerdos verticales cóncavos o convexos. La curva más utilizada para los acuerdos verticales es una parábola de segundo grado de eje vertical.

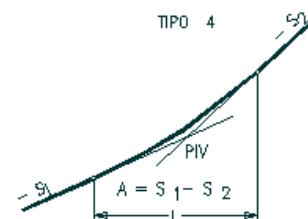
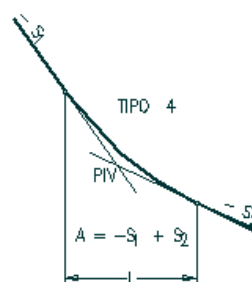
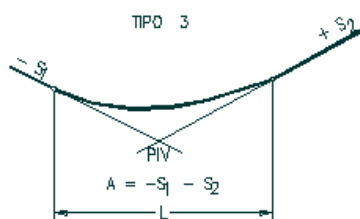


CURVAS VERTICALES CONVEXAS

S_1 = Pendiente de entrada
 S_2 = Pendiente de salida

A = Diferencia de pendientes
 L = Longitud de la curva

K = Variación por unidad de pendiente: $K = L/A$



CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS

SECCIÓN TRANSVERSAL

En general la sección transversal de una carretera está integrada por:

La **calzada** que es la zona de la carretera destinada normalmente a la circulación de vehículos. La calzada se considera dividida en franjas longitudinales, cada una de las cuales permite la circulación de una sola fila de vehículos. Esas franjas se llaman carriles y se distinguen mediante líneas pintadas en el pavimento.

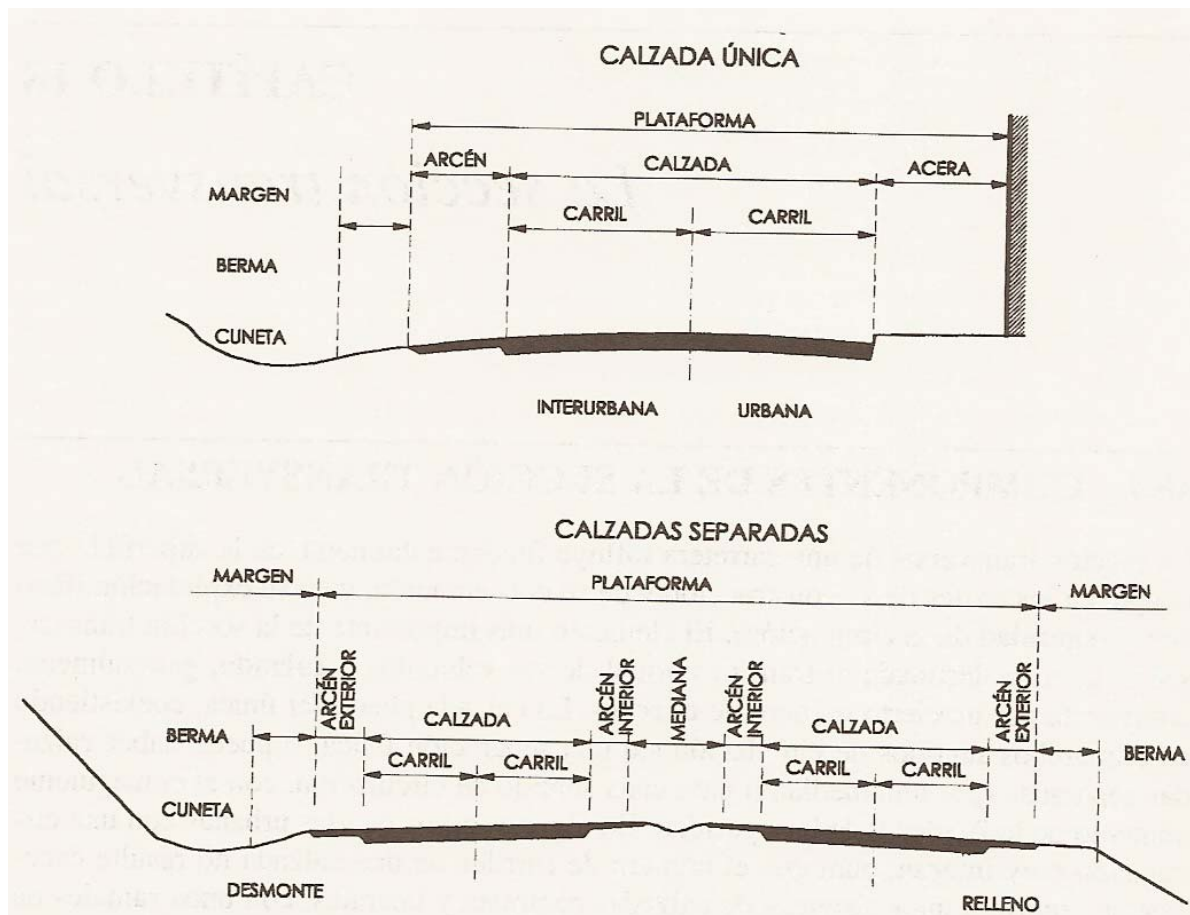
El **arcén**, que es la franja longitudinal no destinada a la circulación de vehículos, comprendida entre el borde exterior de la calzada y el borde de la plataforma, y que sirve para que los vehículos puedan realizar breves detenciones fuera de la calzada y que puedan rectificar su trayectoria en caso de salirse de ella.

Berma, o franja longitudinal de la carretera comprendida entre el borde exterior del arcén pavimentado y la cuneta o el terraplén. Es utilizada eventualmente para colocar la señalización, la iluminación, el balizamiento, las comunicaciones, las barreras de seguridad, etc.

Cunetas: permite la eliminación del agua de la forma más efectiva posible. Realizadas en el terreno o de hormigón. La sección transversal de la misma puede ser variable, siendo preferibles las secciones transversales con taludes suaves 1/6, fondos amplios y aristas redondeadas.

Márgenes: zonas exteriores a la plataforma y contiguas a ella.

Al conjunto de calzada y arcenes se les denomina **plataforma** de la carretera. La mayor parte de las carreteras y calles están formadas por una calzada única por la que circulan vehículos en dos sentidos opuestos. Las vías con mayor tráfico pueden disponer de dos calzadas separadas, una para cada sentido de circulación. La separación se realiza mediante una franja longitudinal no destinada a la circulación, que se denomina **mediana** y cuya anchura puede variar entre amplio límites.



Las dimensiones y los demás características de todos estos elementos de la sección transversal dependen del tipo de carretera, de su entorno, de la intensidad de la circulación. Algunas de las medidas (carril, arcén y berma) se recogen en la tabla siguiente

CLASE DE CARRETERA		Velocidad de Proyecto (km/h)	Carriles (m)	Arcén (m)		Bermas (m)		Nivel de servicio en la hora de proyecto del año horizonte
				exterior	interior	mínimo	máximo	
De calzadas separadas		120	3,5	2,5	1,0 - 1,5	0,75	1,5	C
		100	3,5	2,5	1,0 - 1,5	0,75	1,5	D
		80	3,5	2,5	1,0	0,75	1,5	D
De calzada única	Vías rápidas	100	3,5	2,5		0,75	1,5	C
		80	3,5	2,5		0,75	1,5	D
	Carreteras convencionales	100	3,5	1,5 - 2,5		0,75	1,5	D
		80	3,5	1,5		0,75	1,5	D
		60	3,5	1,0 - 1,5		0,75	1,5	E
		40 IMD > 2000	3,5	0,5		-	-	E
		40 IMD < 2000	3,0	0,5		-	-	E

Las características de la mediana se fijarán a partir del preceptivo estudio técnico-económico en el que se tendrán en cuenta el radio en planta, la visibilidad de parada (considerando los sistemas de contención de vehículos) y la necesidad de incrementar el número de carriles, en su caso, así como cualquier otra consideración que pueda intervenir en dicho estudio (apoyos de estructuras y de señalización; excavaciones y rellenos, drenaje, iluminación, coste de expropiaciones, etc).

En cualquier caso la anchura mínima de la mediana será:

- Cuando se prevea la ampliación del número de carriles a expensas de la mediana:
 - Diez metros (10 m) si la velocidad de proyecto es 100 ó 120 km/h.
 - Nueve metros (9 m) si la velocidad de proyecto es 80 km/h
- Cuando no se prevea la ampliación del número de carriles a expensas de la mediana (2 m).
- En casos excepcionales debidamente justificados (estructuras singulares) (1m)

Para poder evacuar la lluvia caída sobre la plataforma es necesario que esta tenga una inclinación transversal, por lo que ese bombeo del agua de la plataforma en recta se proyectará de modo que se evacuen con facilidad las aguas superficiales, y que su recorrido sobre la calzada sea mínimo.

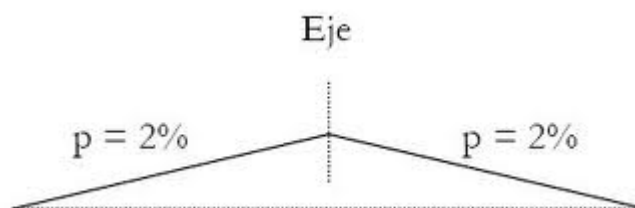
Para ello se utilizarán los siguientes criterios:

En carreteras de calzadas separadas

La calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento (2 %) hacia un solo lado. En zonas en que la pluviometría lo aconseje, por la frecuencia o intensidad de las precipitaciones, podrá justificarse aumentar la inclinación transversal mínima al dos y medio por ciento (2,5 %). Las bermas se dispondrán con una inclinación transversal del cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma.

En carreteras de calzada única

La calzada y los arcenes se dispondrán, con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento (2 %) hacia cada lado a partir del eje de la calzada. En zonas en que la pluviometría lo aconseje, por la frecuencia o intensidad de las precipitaciones, podrá justificarse aumentar la inclinación transversal mínima al dos y medio por ciento (2,5 %). Las bermas, se dispondrán con una inclinación transversal del cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma.



En curvas circulares y de transición la pendiente transversal de la calzada y arcenes coincidirá con el peralte. Las bermas tendrán una pendiente transversal del cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma.

Cuando dicho peralte supere el cuatro por ciento (4 %), la berma en el lado interior de la curva, tendrá una pendiente transversal igual al peralte, manteniéndose el cuatro por ciento (4 %) hacia el exterior de la plataforma en el lado exterior de la curva. En todos los casos se estudiará cuidadosamente el desagüe en el margen interior de la curva.

6.4 CONSTRUCCIÓN DE CARRTERAS. TIPOS DE FIRMES

Las explanaciones u obras de tierra son las actuaciones de remodelación del terreno natural mediante la adición o retirada de materiales, de forma que se consiga una superficie de geometría y capacidad de soporte adecuadas para el apoyo del firme y del resto de la superestructura.

Las obras de tierra se clasifican en:

Desmontes: si es necesario retirar material

Rellenos: si es necesario aportar material

A media ladera: si son necesarias ambas operaciones en la misma sección transversal

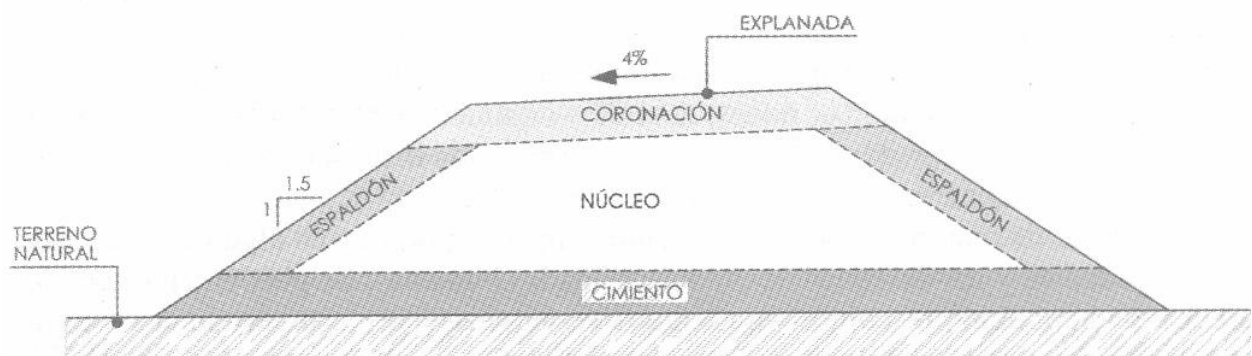
Dentro de los rellenos dependiendo el tamaño de las partículas tendremos:

Terraplén: si el tamaño característico de las partículas esta entre 0 y 10 cm

Pedraplén: si el tamaño característico de las partículas esta entre 10 y 60 cm

Todo uno: si el tamaño característico de las partículas esta entre 0 y 30 cm.

En un relleno pueden distinguirse varias zonas atendiendo a la función que cumplen los materiales constituyentes. Así tendremos:



Cimiento: se trata del material situado bajo la cota del terreno natural, la profundidad que se debe considerar es variable, pero puede cifrarse normalmente entre la altura del relleno y un tercio de ésta.

Arranque: son las primeras tongadas del relleno inmediatamente por encima del cimiento (1 a 2m). En esa zona puede ser necesario tomar precauciones especiales relacionadas con la geometría (si el relleno descansa sobre una ladera de forma que su apoyo no es horizontal) o con los materiales (si se espera la circulación de agua en el contacto entre el relleno y el cimiento)

Núcleo: es el material colocado entre el cimiento y la coronación en la zona central de la sección de relleno. Su altura es muy variable, ya que depende de la altura de relleno que se desee construir: puede llegar a ser de decenas de metros. Cuando se trata de un todo uno o un pedraplén, la parte superior del núcleo tiene una zona especial que se denomina transición, y que se construye de forma que la granulometría se va cerrando en tongadas sucesivas para que la coronación, que tiene que estar constituida por suelos (terreno de partículas de tamaño inferior a 1 decímetro), por razones de regularidad geométrica y continuidad de apoyo de firme pueda construirse y compactarse.

Espaldones: material que envuelve lateralmente al núcleo protegiéndolo de los agentes externos, especialmente de los meteorológicos.

Coronación: la zona que constituye la parte superior del relleno, generalmente con un espesor entre 0,5 y 1m. Su superficie constituye la explanada sobre la que asienta el firme de la calzada y de los arcenes. Lo que está por debajo de la explanada y que denominamos infraestructura y lo que está por encima de la explanada lo denominamos superestructura

Encima de la explanada se situaría el firme, estando constituido el **cimiento del firme** en general por los propios suelos o la roca de la traza, por un suelo de aportación o, al menos en su parte superior por un suelo estabilizado in situ, ocasionalmente el cimiento del firme puede ser el tablero de una estructura.

Tradicionalmente, se ha identificado el cimiento con la coronación del relleno o con la parte superior del fondo del desmonte, hasta una profundidad de unos 50 cm. En la actualidad, se tiende a englobar en el cimiento todo espesor de materiales bajo la explanada cuyo comportamiento pueda influir en el del firme. Aunque este espesor depende tanto de la naturaleza de los materiales como de la del firme, puede admitirse que está entre 1 y 2 m.

El cimiento del firme debe resistir tanto el peso propio de éste como las tensiones procedentes de las cargas del tráfico sin deformaciones diferidas apreciables. Estas deformaciones tienen dos limitaciones: una para el asiento general y otra, mucho más estricta para los asientos diferenciales, que podrían afectar a la regularidad superficial del pavimento y, en definitiva, a sus condiciones funcionales.



La **capacidad de soporte** del cimiento del firme es la resistencia a la deformación bajo las cargas del tráfico. Para determinar la capacidad de soporte se utilizan los ensayos CBR (en laboratorio) y los ensayo de carga con placa (in situ)

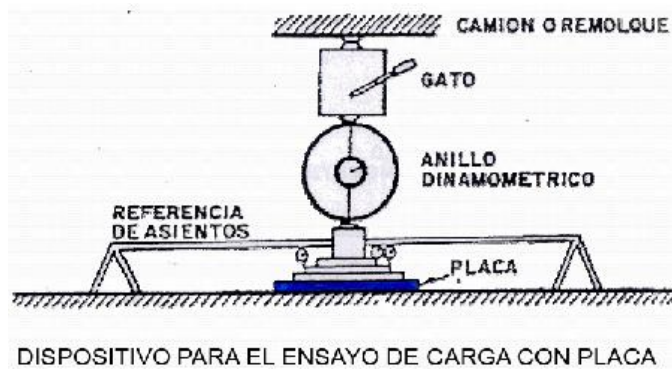
El **ensayo CBR** (California Bearing Ratio) es probablemente le ensayo más utilizado en todo el mundo para estimar la capacidad de soporte de los suelos constitutivos de los cimientos de los firmes. Se trata de un ensayo en el que el suelo se somete a la penetración de un vástago cilíndrico a una velocidad constante. El suelo compactado se sumerge en agua (para poder preveer la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción) y en el proceso de saturación se mide, además, el eventual hinchamiento del suelo a medida que se satura.

El resultado (índice CBR) es la capacidad de soporte del suelo comparado con la de una grava patrón, en porcentaje. El CBR es, pues, el porcentaje de la presión ejercida por un pistón sobre el suelo con relación a la presión ejercida por una muestra tipo cuando este pistón es introducido en la muestra de suelo con una velocidad de penetración constante.



Aparato del ensayo CBR

El **ensayo de carga con placa** consiste en la aplicación de unas ciertas cargas sobre una placa circular apoyada sobre la capa que requiere evaluar, ya sea de relleno, de coronación o de firme. Se mide entonces su respuesta a través de los asientos producidos. La relación presiones/ asientos está evidentemente relacionada con la capacidad de soporte del material existente hasta una cierta profundidad (aquella afectada por el bulbo de presiones)



Dependiendo de cómo se constituya el cimiento del firme se pueden obtener explanadas de diferente calidad, evaluada generalmente por su capacidad de soporte. En España, la normativa estatal de secciones de firme (norma 6.1-IC) establecen tres categorías de explanada, denominadas respectivamente E1, E2 y E3. Estas categorías se determinan según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}), obtenido de acuerdo con la NLT-357 "Ensayo de carga con placa", cuyos valores se recogen en la tabla

CATEGORIA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 80	≥ 120	≥ 300

La formación de las explanadas de las distintas categorías se recoge en la tabla de abajo, dependiendo del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles, según se definen en el artículo 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Para la correcta aplicación de la figura 1 se deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

- Todos los espesores que se indican son los mínimos especificados para cualquier punto de la sección transversal de la explanada.
- Los materiales empleados han de cumplir las prescripciones contenidas en los correspondientes artículos del PG-3
- La tabla de abajo se estructura según el tipo de suelo de la explanación en el caso de los desmontes, o de la obra de tierra subyacente en el caso de los terraplenes, los pedraplenes o los rellenos todo-uno. Se consideran los siguientes tipos de suelo: inadecuados y marginales (IN), tolerables (0), adecuados (1), seleccionados (2), seleccionados con $CBR \geq 20$ en las condiciones de puesta en obra (3) y roca (R). A los efectos de aplicación de esta norma, los pedraplenes (artículo 331 del PG-3) y rellenos todo-uno (artículo 333 del PG-3), salvo que se proyecten con materiales marginales de los definidos en el artículo 330 en el PG-3, serán asimilables a los suelos tipo 3.
- Para poder asignar a los suelos de la explanación o de la obra de tierra subyacente una determinada clasificación deberán tener un espesor mínimo de un metro (1m) del material indicado. En caso contrario, se asignará la clasificación inmediatamente inferior.

e) Salvo justificación en caso contrario, será preceptivo proyectar una capa de separación (estabilización in situ con cal en 15 cm de espesor, geotextil, membrana plástica, etc.) entre los suelos inadecuados o marginales con finos plásticos y las capas de suelo adecuado o seleccionado, para la formación de explanadas del tipo E2 y E3 en las categorías de tráfico pesado T00 a T2.

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS O MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{v2} \geq 60 \text{ MPa}$					
	E2 $E_{v2} \geq 120 \text{ MPa}$					
	E3 $E_{v2} \geq 300 \text{ MPa}$					

IN Suelo inadecuado o marginal (Art. 330 del PG-3)

0 Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)

1 Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)

2 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

3 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

S-EST1 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST2 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST3 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

HM-20 Hormigón espesor mínimo: 15 cm (Art. 610 del PG-3)

Formación de la Explanada

Materiales para la explanada se especifican en la tabla siguiente:

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	SUELO INADECUADO O MARGINAL	330	- Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	SUELO TOLERABLE	330	- CBR ≥ 3 (*). - En capas para formación de explanada: - Contenido en materia orgánica < 1%. - Contenido en sulfatos solubles (SO_3) < 1%. - Hinchamiento libre < 1%.
1	SUELO ADECUADO	330	- CBR ≥ 5 (*).
2	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR ≥ 10 (*).
3	SUELO SELECCIONADO	330	- CBR ≥ 20
S-EST1 S-EST2 S-EST3	SUELO ESTABILIZADO IN SITU CON CEMENTO O CON CAL	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.
HM-20	HORMIGÓN DE RELLENO	610	- Espesor mínimo: 15 cm.

(*) El CBR se determinará de acuerdo con las condiciones especificadas de puesta en obra, y su valor se empleará exclusivamente para la aceptación o rechazo de los materiales a utilizar en las diferentes capas que conforman las explanaciones y obras de tierra, de acuerdo con la figura 1. Para la capa de coronación de explanadas, el suelo adecuado definido como tipo 1 deberá tener el CBR ≥ 6 y el suelo seleccionado definido como tipo 2 dispondrá de un CBR ≥ 12 .

Las tipos de explanadas se pueden conseguir con distintos tipos de suelos mediante estabilización

La **estabilización de un suelo in situ** es la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo, aumentar la capacidad de soporte del suelo, controlar la erosión y los cambios de volumen. Con ello se pueden aprovechar suelos mediocres e incluso francamente inadecuados en el cimiento de los firmes.

La estabilización puede ser mecánica, por mezcla de dos o más suelos de diferentes características, a fin de obtener un suelo de características suficientes en cuanto a granulometría, plasticidad o impermeabilidad, etc. se refiere. Uno de los suelos es el existente en la traza y el otro es de aportación para mejorar sus propiedades. Se trata de una técnica de posibilidades muy limitadas y que en la actualidad se utiliza solo en vías de baja intensidad de tráfico.

Más a menudo, la estabilización se lleva a cabo incorporando aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo. Los más utilizados son el cemento y la cal, pero también se emplean escorias granuladas, cenizas volantes, ligantes hidrocarburos fluidos, cloruro sódico, cloruro cálcico, etc. En los procesos de estabilización con aditivos, el grado de estabilización que puede alcanzarse depende fundamentalmente del tipo de suelo, del aditivo utilizado, de la cantidad añadida (aunque algunos suelos de buena granulometría y reducida plasticidad pueden resultar muy modificados aun con proporciones muy bajas de aditivo) y, muy especialmente, de la ejecución.

Quando se trata únicamente de mejorar ligeramente las propiedades de un suelo por adición de una pequeña cantidad de aditivo, es usual hablar de "*suelo mejorado con...*"; en cambio, la mezcla que ofrece finalmente una resistencia y rigidez apreciables suele designarse como "*suelo estabilizado con...*". Las técnicas de estabilización propiamente dicha se aplican no solo en la formación de explanadas, sino también para construir capas de firme, en cuyo caso a veces se emplean los mismos suelos de la traza, pero en otras ocasiones se recurre a suelos de préstamo. Cuando la mezcla se va a destinar a capas de firme suele, en general, realizarse *en central*, mientras que para la formación de explanadas se realiza *in situ*.

En la **estabilización in situ con cal** se obtiene una mezcla de suelo, cal área (viva o apagada) y agua. Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina, de plasticidad apreciable, y en particular, de elevada humedad natural. Según el tipo de suelo, se emplean proporciones (sobre la masa seca del suelo) del 2 al 7 por 100 de cal, si bien no se suele sobrepasar el 5 por 100. Los suelos estabilizados in situ con cal se emplean para:

- Formación de explanada tipo E1 y E2
- Construcción de terraplenes con suelos marginales o inadecuados
- Reducir la humedad de un suelo permitiendo transitar por él

Por su lado el material denominado **suelo estabilizado in situ con cemento** se obtiene por la mezcla de un suelo granular, suficientemente disgregado, con cemento, agua y eventuales adiciones seguida de una compactación y de un curado adecuados. Se emplean proporciones de cemento que ,general, no superan el 6 por 100 sobre la masa seca del suelo. La normativa española considera dos tipos de suelos mejorados con cemento S-EST 1 Y S-EST 2 y un tipo de suelo estabilizado con cemento el S-EST 3. Los Suelos estabilizados in situ con cemento se emplean para:

- Formación de explanadas tipo E1, E2 y E3
- Mejorar las características de cualquier suelo, y especialmente su capacidad de soporte

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
Contenido de cal o cemento	% en masa de suelo seco		≥2	≥3	
Índice CBR a 7 días(*)		UNE 103502	≥6	≥12	-
Compresión simple a 7 días(**)	MPa	NLT - 305	-	-	≥1,5
Densidad (Proctor modificado)	% de la densidad máxima	UNE 103501	≥95(**)	≥97	≥98

(*) Para la realización de estos ensayos, las probetas se compactarán, según la NLT-310, con la densidad especificada en la fórmula de trabajo.

(**) Para la capa de coronación de la categoría de explanada E1 definida en la Norma 6.1- IC de Secciones de firme, este valor será del noventa y siete por ciento (97%).

La **ejecución de un suelo estabilizado in situ con cal o cemento** incluye las siguientes operaciones:

1. Caracterización del suelo en el laboratorio
2. Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo. La fórmula de trabajo indicará:

- La dosificación mínima de conglomerante
- El tipo de conglomerante a utilizar
- El contenido de humedad del suelo antes de la mezcla
- El contenido de humedad del suelo estabilizado en el momento de su compactación
- La compacidad a obtener, mediante el valor mínimo de la densidad del Proctor Modificado
- El índice CBR o Resistencia a Compresión Simple a 7 días exigible
- El plazo de trabajabilidad en el caso de suelos estabilizados con cemento

3. Preparación de la superficie existente

4. Disgregación del suelo

El suelo se escarificara y disgregara hasta que no existan elementos ni terrones con tamaño superior a 80 mm.

5. Humectación o desecación del suelo

La humedad del suelo deberá ser tal que permita que, con el quipo que se vaya a realizar la estabilización, se consiga el grado de disgregación requerido y su mezcla con la cal o cemento sea total y uniforme.

6. Distribución del aditivo

La cal o cemento se distribuirán uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la formula de trabajo

7. Ejecución de la mezcla

Inmediatamente después de la distribución del conglomerante deberá procederse a su mezcla con el suelo, todo el conglomerante se deberá mezclar con el suelo disgregado antes de haber transcurrido una hora desde su aplicación. Se deberá obtener una dispersión homogénea, lo que se reconocerá por un color uniforme de la mezcla y la ausencia de grumos. En obras complementarias (pistas de obra, caminos agrícolas, etc.) y de pequeñas dimensiones se puede realizar el mezclado mediante varias pasadas con aperos agrícolas: gradas de discos, arados de vertedera, chísels, rotocultores (rotabator), etc. Estos son baratos y disponibles en cualquier lugar del mundo. También puede realizarse la mezcla con la hoja de motoniveladora, pero sólo en obras secundarias donde se esté buscando el secado y/o un tratamiento leve del suelo. Para la estabilización con cal y cemento de capas soporte de infraestructuras civiles, cuyas especificaciones son muy exigentes por razones obvias de calidad, la maquinaria específica para realizar el mezclado son los “estabilizadores de suelos”, o equipos pulvimezcladores de eje horizontal.

8. Compactación

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla deberá estar disgregada en todo su espesor y su humedad será la correspondiente a la de la óptima del Ensayo Proctor Modificado. Se compactara hasta alcanzar la densidad especificada

9. Terminación de la superficie

Dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla se podrá hacer un refino con motoniveladora para conseguir la rasante y sección definida en los planos, y posterior recompactación de la siguiente corregida

10. Ejecución de juntas

Se dispondrán juntas transversales y/o longitudinales, en el caso de estabilizaciones con cemento, cuando el proceso constructivo se interrumpa más del tiempo de trabajabilidad de la mezcla

11. Curado y protección superficial

En los suelos estabilizados con cemento o con cal para formación de explanadas se aplicará un riego de curado para mantener la humedad del suelo estabilizado, y además se prohibirá la circulación de vehículos ligeros en los 3 primeros días y la circulación de vehículos pesados en los 7 primeros días. En el caso de estabilizaciones para ejecución de terraplenes con suelos marginales o inadecuados, o para reducir la humedad de los suelos, se podrá extender la siguiente capa de terraplén, inmediatamente después de la terminación de la superficie, prescindiendo en este caso del curado final. Antes de iniciarse la estabilización in situ del suelo será perceptiva la realización de un tramo de prueba, para comprobar la Fórmula de Trabajo y el funcionamiento de los equipos necesarios



Existen dos **métodos para la ejecución** de la disgregación, dosificación, distribución de la cal o cemento y del agua, y de mezclado en la estabilización de suelos:

Por Vía Húmeda: Para carreteras con categoría de tráfico T00 a T1 ó cuando la superficie a tratar sea superior a los 70.000 m², será preceptivo el empleo de equipos que integren en una sola máquina las operaciones de disgregación, dosificación y distribución de la cal o del cemento y del agua, y de mezclado. El cemento o la cal se dosificarán como lechada. El equipo para su fabricación tendrá un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal del conglomerante.

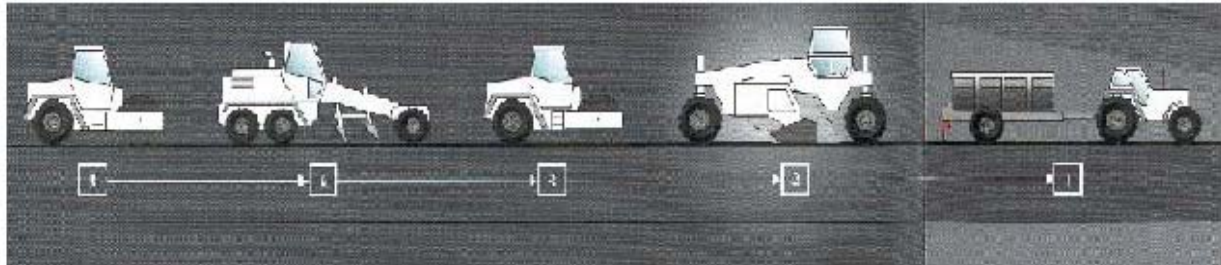
Por Vía Seca: Se realiza cuando la superficie a tratar sea inferior a 70.000 m² o cuando sea conveniente una reducción de la humedad natural del suelo. El cemento o la cal se dosificarán en polvo. La disgregación, la dosificación y distribución de cal o cemento y el mezclado se realiza con equipos independientes que realizan por separado las distintas operaciones.

El equipo de estabilización de suelos por vía seca está compuesto por

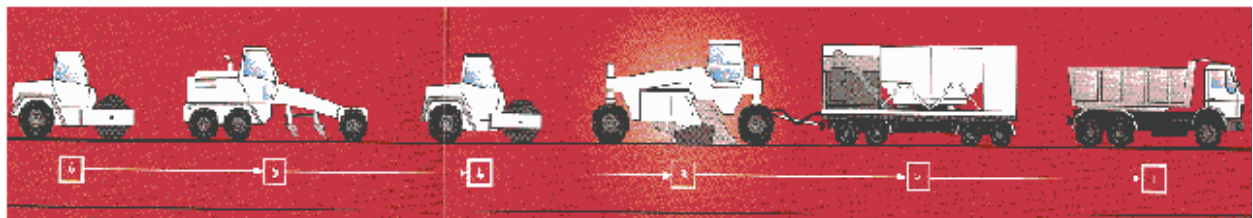
- Un Equipo de Riego de agua, en caso necesario
- Un Equipo de Aportación de Cal o Cemento (Camiones-Silo ó Tractor con Tolva)
- Un equipo para mezclar el suelo con la Cal o el Cemento (Estabilizador ó Rotobator)
- Una Motoniveladora para corregir el perfil de la mezcla
- Un compactador vibratorio de rodillo metálico o compactador de neumáticos

El equipo de estabilización de suelos por vía húmeda está compuesto por

- Un equipo de mezclado y estabilización de suelos
- Una motoniveladora para corregir el perfil de la mezcla.



Ejecución in situ por vía seca



Ejecución in situ por vía húmeda



Extendido de la cal por vía seca (tractor con tolva)



Equipo de mezcla del suelo con la cal (estabilizador)



Equipo de mezclado y estabilización (vía húmeda)

TIPOS DE FIRMES

En el proyecto del firme intervienen como factores fundamentales el tráfico previsto de vehículos pesados y las características resistentes del cimiento, representadas habitualmente por la capacidad de soporte de la explanada

Los firmes suelen clasificarse en dos grandes grupos: firmes flexibles y firmes rígidos

Los **firmes flexibles** están formados por una serie de capas constituidas por materiales con una resistencia a la deformación que usualmente es decreciente con la profundidad. El aumento de las intensidades y cargas del tráfico llevó a los firmes **semirrígidos** con capas tratadas o estabilizadas con cemento y los **semiflexibles** con un espesor importante de 15 cm o más de mezclas bituminosas. Habitualmente los firmes semirrígidos y semiflexibles se incluyen dentro de los flexibles. Los firmes flexibles, semirrígidos y semiflexibles están compuestas por varias **capas** denominadas de abajo arriba pavimento, base y subbase respectivamente.

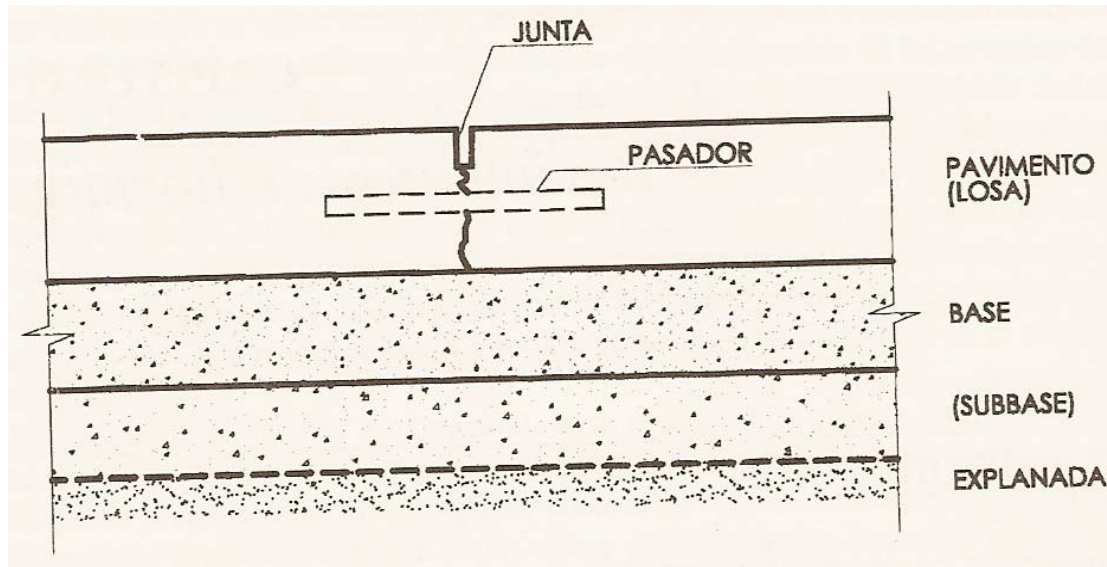
El **pavimento** es la parte superior del firme y la que recibe directamente las solicitaciones del tráfico. aporta las características funcionales y , desde un punto de vista estructural, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. Los pavimentos más habituales son los riegos con gravilla y las mezclas bituminosas. Las mezclas bituminosas se emplean en pavimentos de carretera para tráficos con intensidades medias o altas y en vías urbanas. Cuando el espesor del pavimento es superior a 8 cm, suele ejecutarse en dos capas denominadas respectivamente, capa de rodadura y capa intermedia, que presentan normalmente diferencias de composición, particularmente en lo que se refiere a la resistencia al pulimento del árido grueso. A veces la capa de rodadura es porosa para proporcionar una rápida infiltración del agua de lluvia.

La **base** es la capa del firme situada debajo del pavimento. Su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales. Para tráfico con intensidades medias y bajas se emplean bases granulares con gravas y arenas trituradas. Para tráfico con intensidades elevadas de vehículos pesados, se emplean materiales granulares tratados con un ligante o con un conglomerante, normalmente bases de mezcla bituminosa y bases de gravacemento, otras empleadas son las de gravaemulsión, gravaescoria, gravacaliza y suelo cemento.

La **subbase** es la capa de firme situada debajo de la base y encima de la explanada. Esta capa puede no ser necesaria con explanadas de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un apoyo uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. Se emplean subbases granulares constituidas por gravas y arenas rodadas o trituradas, suelo cemento, etc.

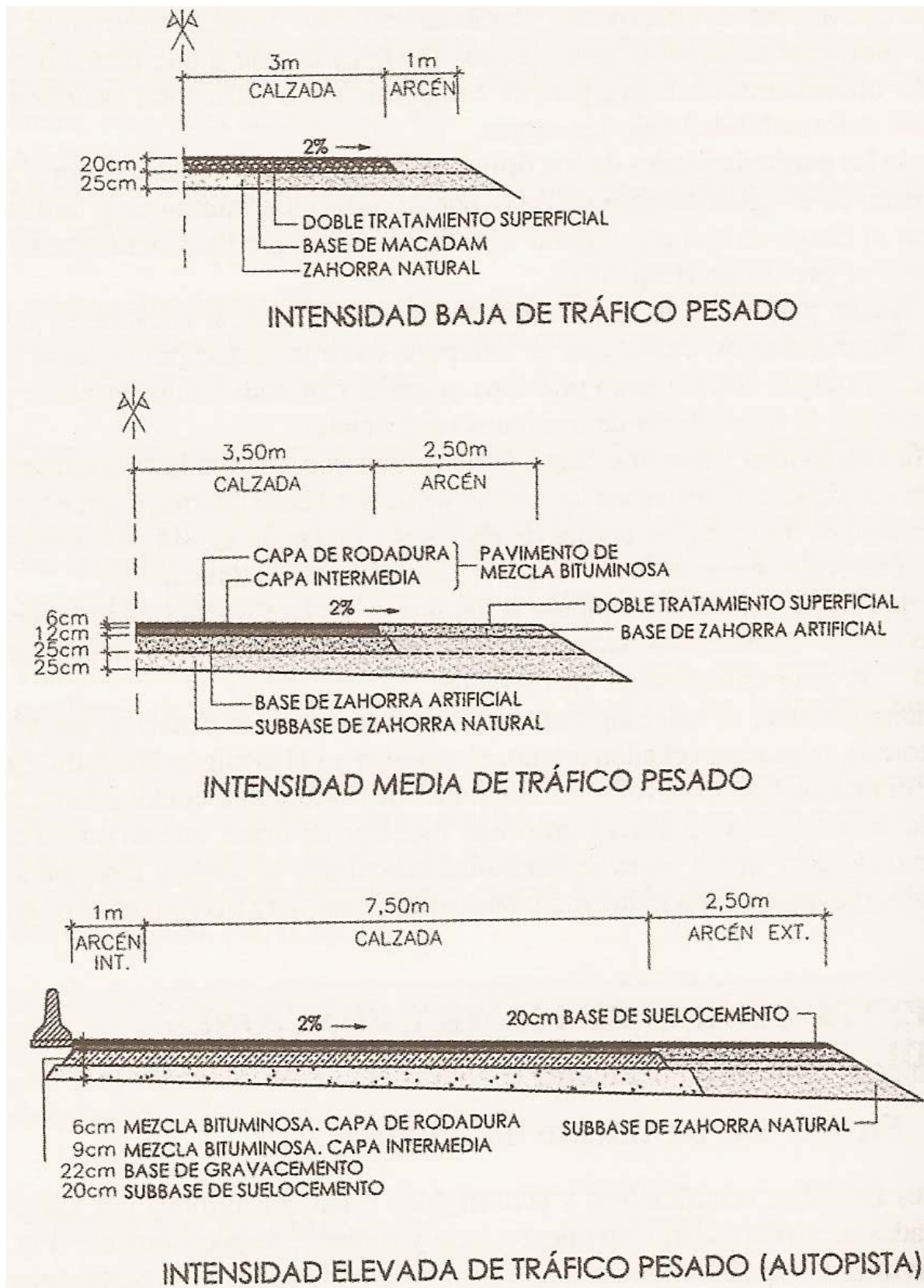
Los **firmes rígidos** tienen una capa de hormigón que asegura la función resistente. constan fundamentalmente de un pavimento de hormigón, con frecuencia también de una capa de base y a veces incluso una capa de subbase. El pavimento más empleado es el de hormigón vibrado en masa,

dividido por losas mediante juntas para evitar, por un lado, las fisuras que aparecerían por retracción del hormigón y por otro para facilitar el alabeo de las losas. También pueden ser de hormigón armado, empleándose barras de acero, cuya misión es mantener cosidas y cerradas las fisuras que aparezcan. Los firmes compuestos o mixtos, constituidos por una capa de hormigón cubierta por un pavimento bituminoso, son muy utilizados en vías urbanas.

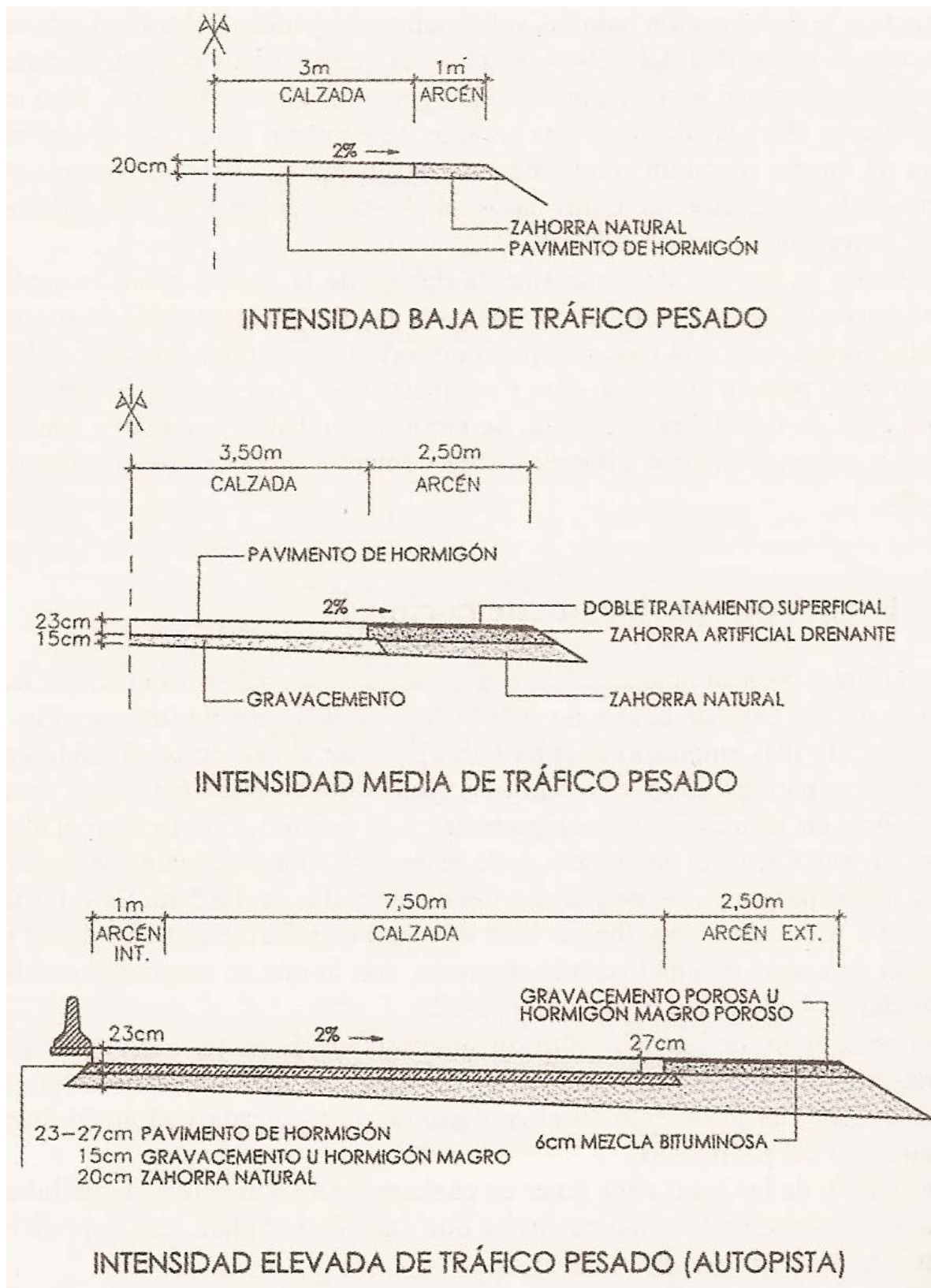


Pavimento de hormigón vibrado

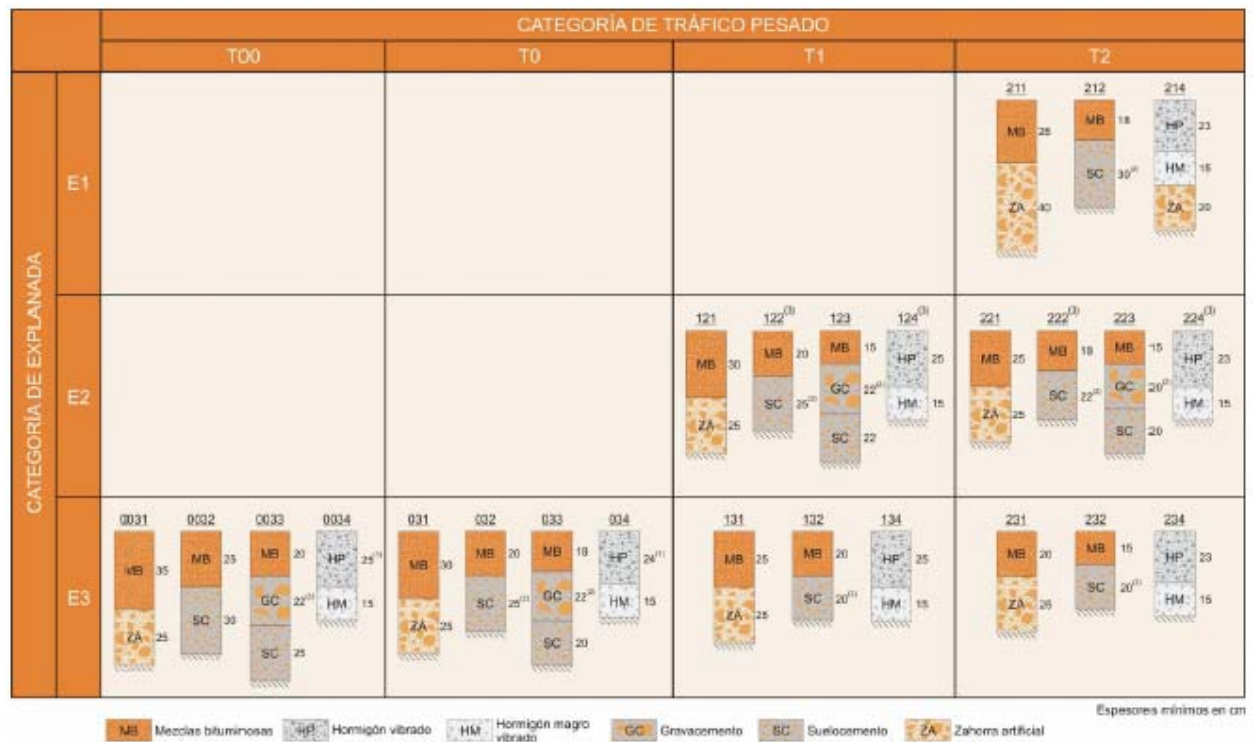
ALBERTO VILLARINO OTERO



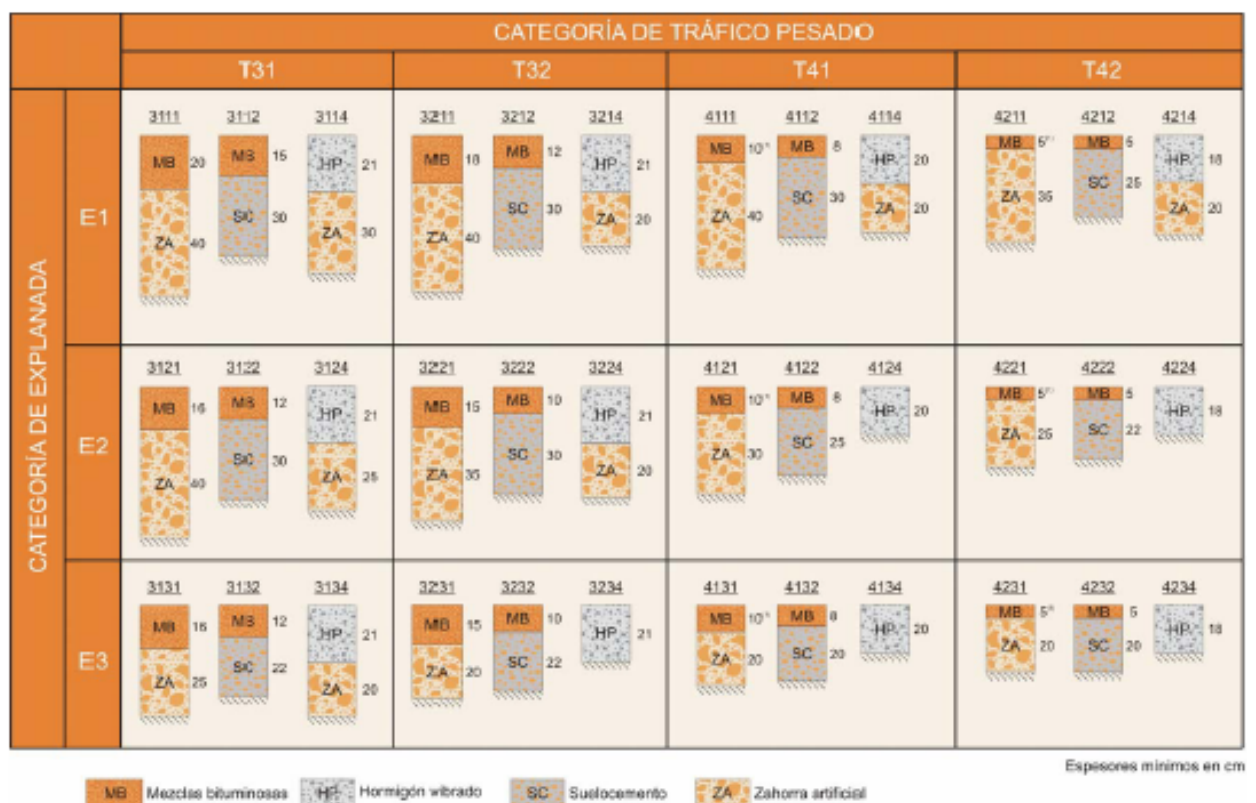
Secciones de firme con pavimento bituminoso



Secciones de firme con pavimento de hormigón



Catálogo de secciones de firme para las categorías de tráfico pesado T0 a T2, en función de la categoría de explanada



Catálogo de secciones de firme para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) y T4 (T41 y T42), en función de la categoría de explanada

En alusión a las tablas anteriores se definen los siguientes materiales para capas de base y subbase:

Zahorra natural: es el material granular, formado por árido de tamaño diversos, de tal manera que los huecos dejados por los más gruesos, que constituyen el esqueleto mineral, van siendo rellenados por partículas más finas.

Zahorra artificial: es el constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso.

Los materiales para la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural. Para la zahorra natural procederán de graveras o depósitos naturales, suelos naturales o una mezcla de ambos.

Macadam: Esta constituido por áridos (50 a 100mm) obtenidos por trituración la granulometría de estos áridos es uniforme y para proceder al encaje de unas partículas con otras es necesaria una compactación muy enérgica. Los áridos forman un esqueleto cuyos huecos se rellenan por la parte superior de la capa, tras una humectación, mediante una arena denominada recebo. Salvo en algunas zonas en las que los contratistas han mantenido su utilización actualmente el macadam está en desuso.

Suelo cemento: se obtiene por la mezcla en central de un material granular con cemento, agua y eventuales adiciones seguida de una compactación y un curado adecuados.

TIPOS DE PAVIMENTOS

Un **tratamiento superficial** es una técnica de pavimentación, cuyo objetivo es dotar al firme de unas ciertas características superficiales (textura, impermeabilidad, etc) sin aumento directo y apreciable de la capacidad resistente, ni en general tampoco de la regularidad superficial. Se trata de una capa delgada que forma una piel con un espesor a veces inferior a 1 cm y nunca superior a 4cm.

Los más significativos son los **riegos con gravilla** (monocapa y multicapa), que están compuestos por un riego con ligante bituminoso y aplicaciones de gravillas. El otro gran grupo lo forman las **lechadas bituminosas** (en inglés, "slurry seal"), que son mezclas fabricadas a temperatura ambiente con un ligante hidrocarbonado (emulsión bituminosa), áridos, agua y, eventualmente, polvo mineral de aportación y adiciones, cuya consistencia es adecuada para su puesta en obra y pueden aplicarse en una o varias capas. También entran dentro de la definición general las restantes mezclas bituminosas en capas de pequeño espesor o microaglomerados. Estos tratamientos deben proporcionar una superficie de rodadura rugosa, no pulimentable, impermeable y resistente a los esfuerzos horizontales causados por el tráfico. Son los más utilizados del mundo en pavimentos para vías de baja o media intensidad por su baja relación coste/durabilidad.

Existen otras técnicas consistentes en un único riego de ligante sin aplicación de gravilla **riegos sin gravilla** (en negro, antipolvo, de adherencia, de imprimación y curado) generalmente, suelen emplearse como tratamientos auxiliares o provisionales.

A continuación se explicarán los tipos de riegos sin gravilla

Riego en negro: es todo tipo de tratamiento que se realiza en vías de baja intensidad de tráfico sobre superficies de rodadura pobres en ligante, envejecidas y con una impermeabilidad pobre. Mediante su aplicación se consiguen paliar parte de estos deterioros y se “rejuvenece” el pavimento. Para no depositar un exceso de ligante sobre la superficie antigua, que la haría deslizante, el riego tiene que hacerse con ligantes muy fluidos, con una mínima dotación en función de la textura y grado de envejecimiento del pavimento. Los ligantes usuales en estos tratamientos son emulsiones aniónicas de rotura lenta o media diluidas en agua. Dentro de la definición de “riegos en negro” entran también los riegos antipolvo, que consisten en la aplicación de un ligante sobre la superficie de un camino no pavimentado para, de esta forma, evitar que el tráfico levante polvo. Estos tratamientos también protegen contra los efectos de la erosión y la humedad y pueden ayudar a conservar el firme durante un corto periodo de tiempo hasta que sea posible ejecutar un riego con gravilla. La eficacia de estos tratamientos es muy limitada.

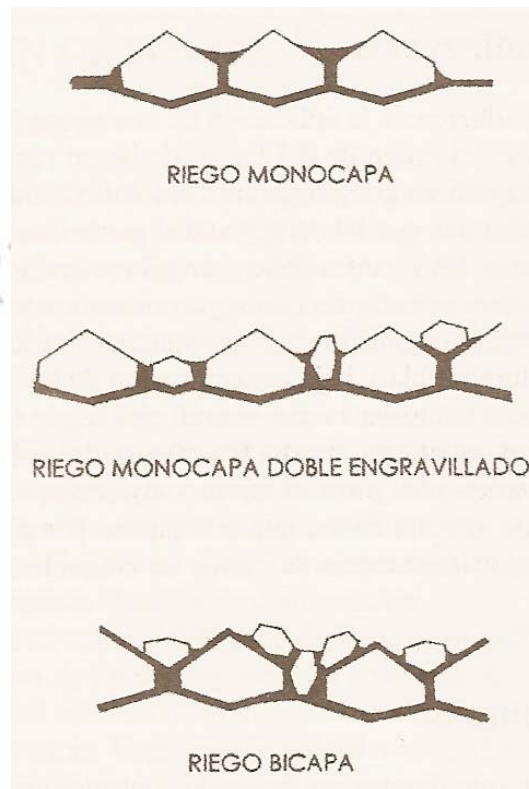
Riego de imprimación: es un tratamiento consistente en la aplicación de un ligante fluido sobre una superficie no tratada anteriormente mediante un conglomerante o ligante (ya sea capa granular o explanada). El principal objetivo que se persigue es que el riego penetre lo máximo posible (incluso si lo hace pocos milímetros) para preparar la superficie de apoyo y contribuir a la sujeción del tratamiento superficial o capa bituminosa posterior. Los más adecuados para estos fines son las emulsiones especiales de imprimación, pese a que también pueden utilizarse, aunque con menor eficacia, emulsiones de rotura lenta.

Riego de adherencia: es una pequeña cantidad de emulsión bituminosa (del orden de $0,3 \text{ kg/m}^2$ de betún residual) sobre una superficie bituminosa o tratada mediante un conglomerante hidráulico con el fin de conseguir su unión con una capa bituminosa de ejecución posterior. Para estos fines, los ligantes deben tener una baja viscosidad y una rotura o curado rápidos, puesto que, de este modo, obtenemos un buen reparto con una pequeña dotación y, además, la extensión de la nueva capa se puede efectuar de forma más rápida. Las emulsiones de uso más extendido son emulsiones de rotura rápida y baja concentración de betún residual que, en ocasiones, se diluyen en agua para un mejor control de la uniformidad de la dotación. Pese a su carácter de riego auxiliar, la correcta ejecución de los riegos de adherencia y de imprimación es crucial para el buen comportamiento estructural posterior de los firmes.

Riego de curado: su finalidad es la de asegurar que, durante el fraguado y primer endurecimiento de las capas tratadas con conglomerantes hidráulicos (gravacemento, suelocemento, hormigón compactado, etc.), éstas conserven la humedad necesaria para dichos procesos. El objetivo es la formación de una delgada película que impermeabilice la superficie de la capa para evitar la pérdida de humedad por evaporación. Los ligantes utilizados son los mismos que se indican para riegos de adherencia. Por otra parte, para pavimentos de hormigón se utilizan productos especiales de colores claros, denominados productos filmógenos de curado.

Los **riegos con gravilla** son a los que, comúnmente, se les suele denominar como “riegos”, si ningún tipo de descripción adicional. Su composición es de un riego de ligante hidrocarbonado más la extensión de una gravilla de tamaño uniforme para lograr una capa de rodadura del mismo espesor que el tamaño de la gravilla empleada. Finalmente, mediante el apisonado se consigue un adecuado contacto del árido con el ligante y una buena distribución. Si sólo hay una única extensión de ligante y árido, se habla de **riego monocapa**, sin embargo, si estos procesos se hacen dos o más veces, con tamaños decrecientes de gravilla, se denominan **riegos bicapa o multicapa**.

Existen variantes de este proceso, como la técnica del **riego monocapa doble engravillado**, que consiste en la realización de un único riego de ligante seguido de la extensión sucesiva de una gravilla gruesa y otra fina para acodalar las partículas grandes de la primera. Por otro lado, están los **riegos sandwich**, donde se extiende, en primer lugar, una gravilla de tamaño apreciable directamente sobre el soporte para, inmediatamente, regarla con ligante y proceder al extendido de una gravilla de menor tamaño que la anterior, teniendo el árido más grueso la misión de “anclaje”. Son de aplicación en carreteras de baja intensidad de tráfico.



Los riegos con gravilla deben proporcionar en todos los casos una superficie de rodadura rugosa, no pulimentable, impermeable y resistente a los esfuerzos horizontales del tráfico. Por su baja relación coste/durabilidad, constituyen de hecho los pavimentos más utilizados en todo el mundo para tráficos de baja o media intensidad. En situaciones especiales, como zonas de frenado en vías de alta velocidad, curvas de radio reducido en autopistas y autovías, etc.), se han empleado, en ocasiones, tratamientos formados por un riego de resina epoxi y áridos artificiales.



Camión cuba con rampa de riego asfáltico



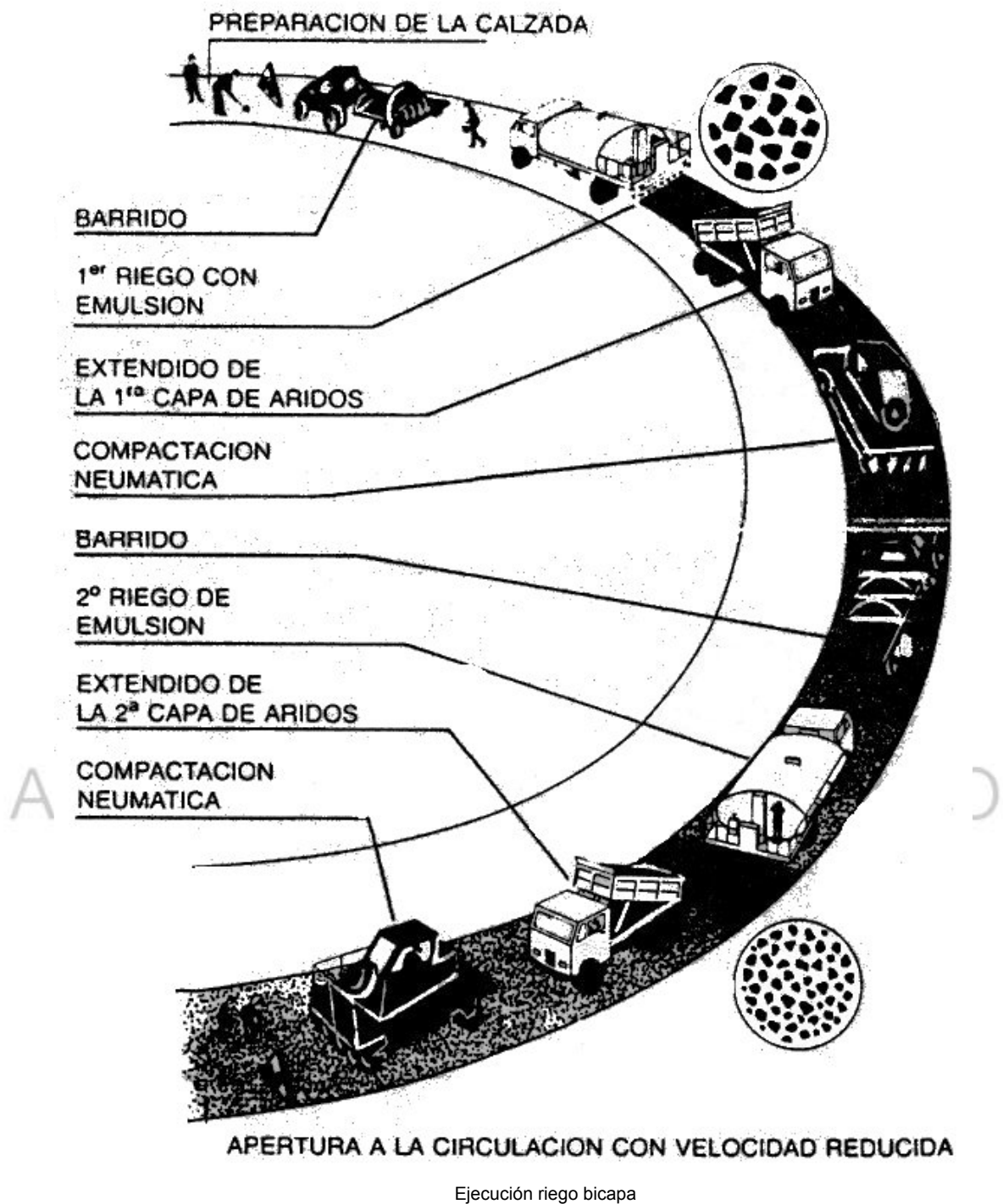
Camiones dumpers dotados de utensilio especial llamado gravilladora para repartir las gravillas artificiales

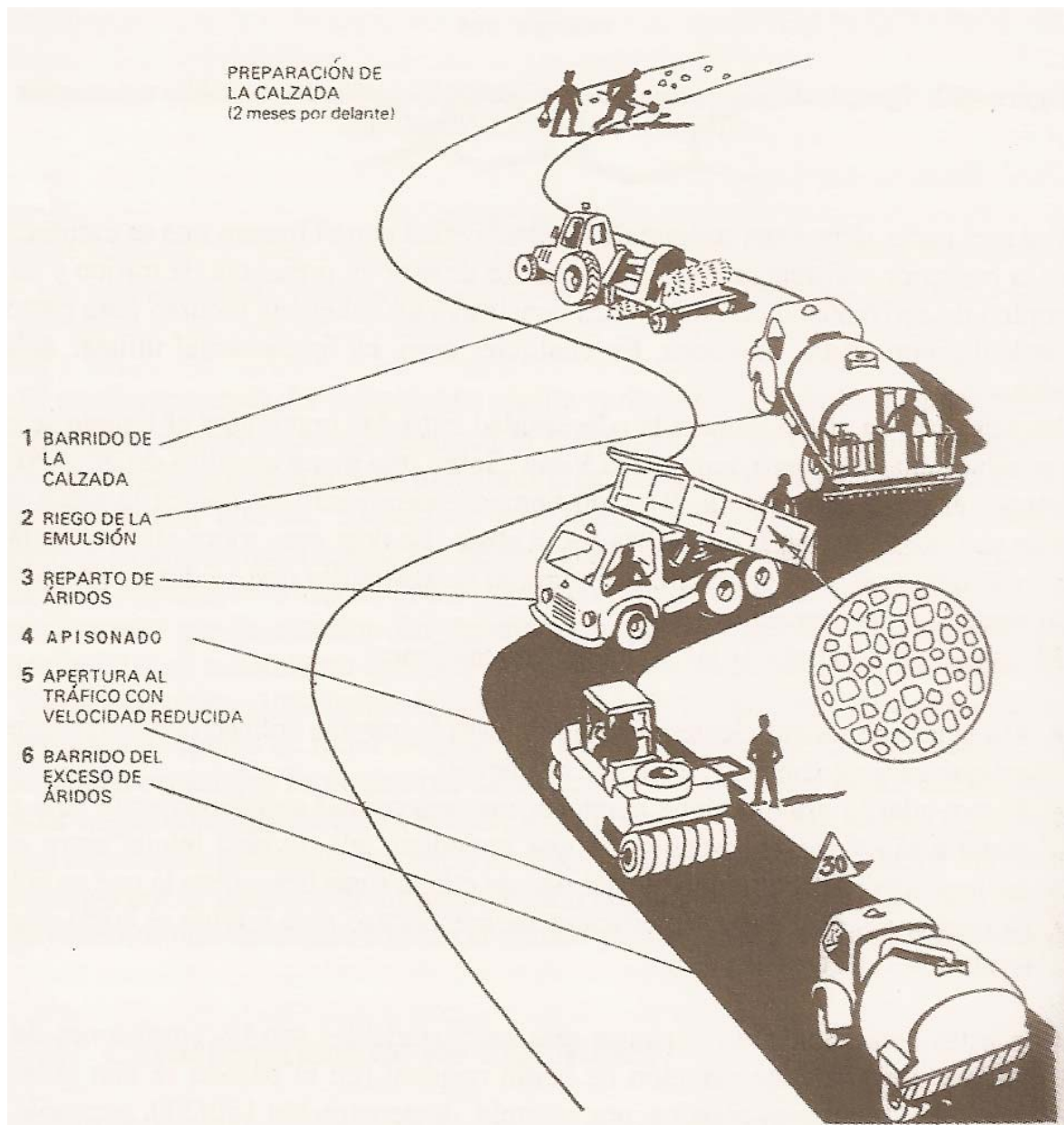


Rodillo compactador



Riego de emulsión





Ejecución riego monocapa

En el caso de vías de alta y media intensidad de tráfico se utilizan **mezclas bituminosas** que son hormigones en los que el material cementante es un ligante bituminoso, estando formadas, por tanto, por un conjunto de áridos con una granulometría muy estudiada a fin de conseguir la máxima compacidad y por un material bituminoso que envuelve a estos áridos creando una película adhesiva que los une. Se pueden dividir en dos tipos fundamentales: mezclas bituminosas en frío y mezclas bituminosas en caliente. A su vez, estas mezclas pueden clasificarse en: mezclas densas, semidensas, gruesas y abiertas.

Las mezclas bituminosas en caliente implica calentar el ligante y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente (160° aproximadamente). La mezcla bituminosa en frío es la combinación de áridos y un ligante

bituminoso para realizar la cual no es preciso calentar previamente los áridos. La mezcla se extenderá y compactará a la temperatura ambiente. El ligante bituminoso al ser puesto en frío debe ser poco viscoso utilizándose por lo tanto emulsiones bituminosas y betunes fluidificados entre otro.

A continuación se muestran unas fotos de las pavimentadoras y camiones usados en el extendido de mezcla bituminosa

