



V Congreso Argentino de Caminos Rurales 2024

Del 11 al 13 de septiembre - Paraná, Entre Ríos

CAPÍTULO V - ESTABILIZADO GRANULAR APLICADO A CAMINOS RURALES
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRETERAS
ING. BLANC GASTÓN FRANCISCO

www.caminosrurales.org.ar

OBJETIVOS A ALCANZAR PARA ASEGURAR TRANSITABILIDAD PERMANENTE

- ✓ Procurar por diversos **medios** estabilidad, para cualquier condición **climática** y de **servicios**, de manera que la capa sea **insensibles** a **cambios** de **humedad** y **solicitaciones**.
- ✓ Estos **medios** van desde **incorporación** a los **suelos** de **materiales y/o agentes**, hasta la formación de **mecanismos** de **defensas** contra acciones climáticas.
- ✓ Generar una estructura **estable, permanente, segura y confortable** para una I.M.D., comprendida **e/ 150 a 400 o más v/diarios (10 a 20% Pesados → E.Equivalentes)**
- ✓ Aplicación de **fáciles técnicas de conservación**.



CAPACIDAD PORTANTE – SOLICITACIONES (CARGAS) - ESTABILIDAD

Esta dada por la fórmula de Coulomb

$$R_c = c + N \operatorname{tg} \varphi$$

c = cohesión (kg./cm²).

φ = ángulo de frotamiento o fricción interna.

N = carga normal aplicada por unidad de superficie (kg./cm²).



Valor Soporte de la
capa **crece a mayor**
Δ, c y φ

Los **tres factores** más importantes a tener en cuenta para **incrementar** la **estabilidad** son; la **densidad** Δ (la más importante), la **cohesión** c y la **fricción** interna (ángulo φ).

DEFINICIÓN DE ESTABILIZADO GRANULAR

- ✓ Mezcla bien **graduada** de materiales, que en proporciones adecuadas de agregados, suelo, agua y eventualmente aditivos, se alcanza la estabilización y aporte estructural a la capa mediante su densificación.
- ✓ Las partículas **gruesas** suministran **fricción** y **resistencia** al impacto, las **intermedias** **acuífamiento** de la estructura y las más **finas** el **sostén** de delgadas películas de agua, para desarrollar **cohesión**.

TIPO DE ESTABILIZACION QUE INTERVIENE EN UN ESTABILIZADO GRANULAR

- ✓ **Estabilización mecánica:** manipuleo y compactación para obtener densificación.
- ✓ **Estabilización física:** obtención de una adecuada graduación granulométrica para un T_{máx}, sin puntos de inflexión, cóncava, mediante la incorporación de agregados pétreos, arenas trituradas, finos y cumplimiento de relación de finos PT200/PT40.



REQUISITOS DE LOS INSUMOS

Agregado Gruesos (Retiene 4,75 mm)

- ✓ Índice de Lajas $\leq 35\%$.
- ✓ Desgaste Los Ángeles $\leq 35\%$.
- ✓ Granulometría (cumplimiento entorno individuales de trabajo).
- ✓ Pesos Específicos, Absorción.
- ✓ Caras de Fractura $\geq 75\%$.



Agregado Finos (Pasa 4,75 mm)

- ✓ Equivalente Arena $\geq 35\%$.
- ✓ Plasticidad PT 425 um.
- ✓ Granulometría.
- ✓ Pesos Específicos, Absorción.

Suelo de Aporte (Única naturaleza)

- ✓ Materia Orgánica $\leq 0,20\%$.
- ✓ Sales Totales $< 1,5\%$.
- ✓ Sulfatos $< 0,5\%$.
- ✓ Límite Líquido $\leq 40,0\%$.
- ✓ Índice de Plasticidad $\leq 10,0\%$.

REQUISITOS DE LA MEZCLA

Sobre el Total de la Mezcla

- ✓ Huso Granulométrico s/tmáx.
- ✓ Cumplimiento Entorno de Trabajo.

Sobre la Fracción Pasa 425 um (TN°40)

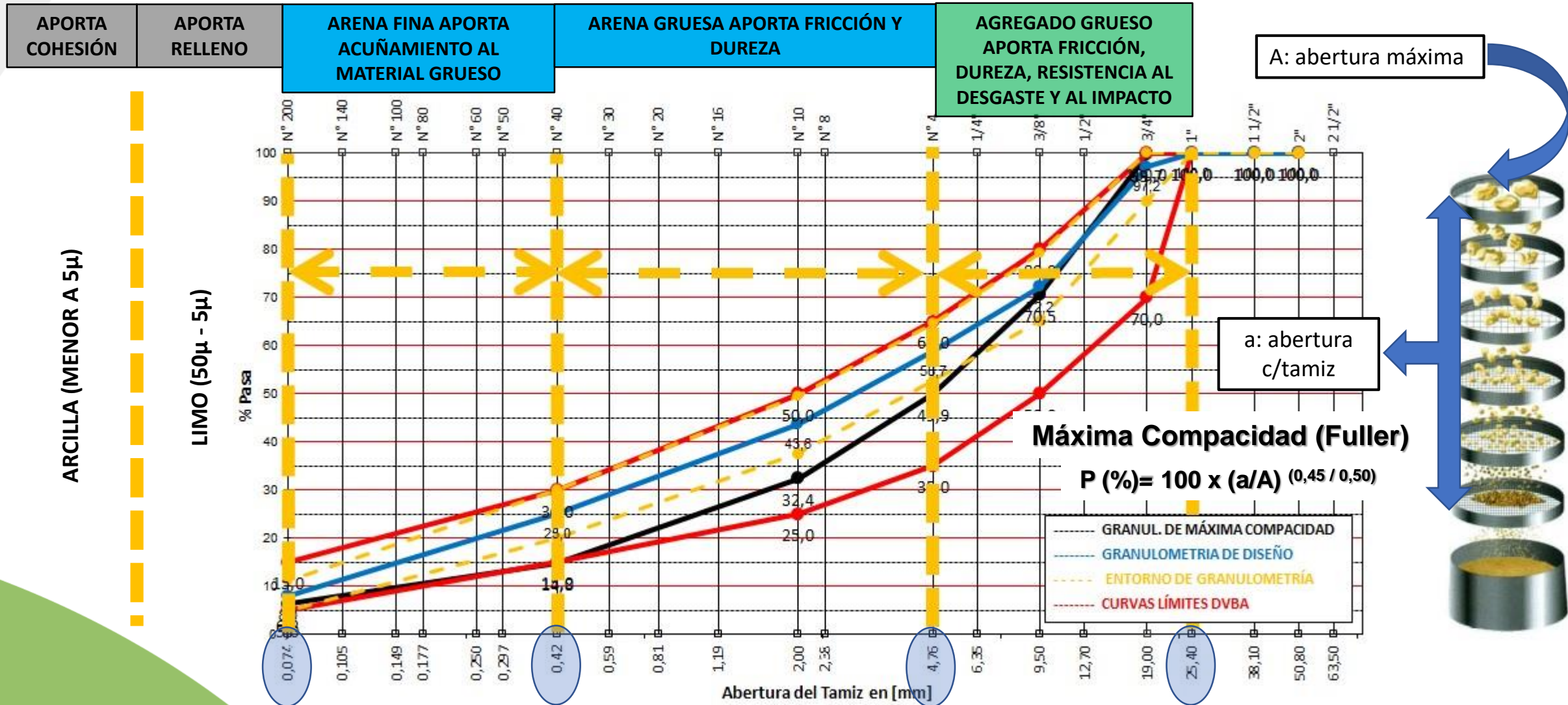
- ✓ Límite Líquido $\leq 25,0 \%$.
- ✓ $4,0\% \leq IP \leq 10,0\%$.
- ✓ PT200 / PT40 0,50 a 0,65.
- ✓ $LL \leq 1,6 LP + 14$ (consideración)

Sobre la Fracción Pasa 3/4"

- ✓ Valor Soporte Dinámico Simplificado para (D.S.Máx $\leq 97,0\%$); P.E.
- ✓ Compensación hasta un máx. 15% entre 3/4" y N°4.



APORTE DE PROPIEDADES DE CADA FRACCIÓN EN UNA MEZCLA GRANULAR



CON LIGANTE

COMPARACIÓN ENTRE ESTABILIZADOS GRANULARES

SIN LIGANTE

CEMENTO 2%

SUELO DE APOORTE
28 A 33%



**ARENA +
AGREGADO
FINO
35 A 40%**

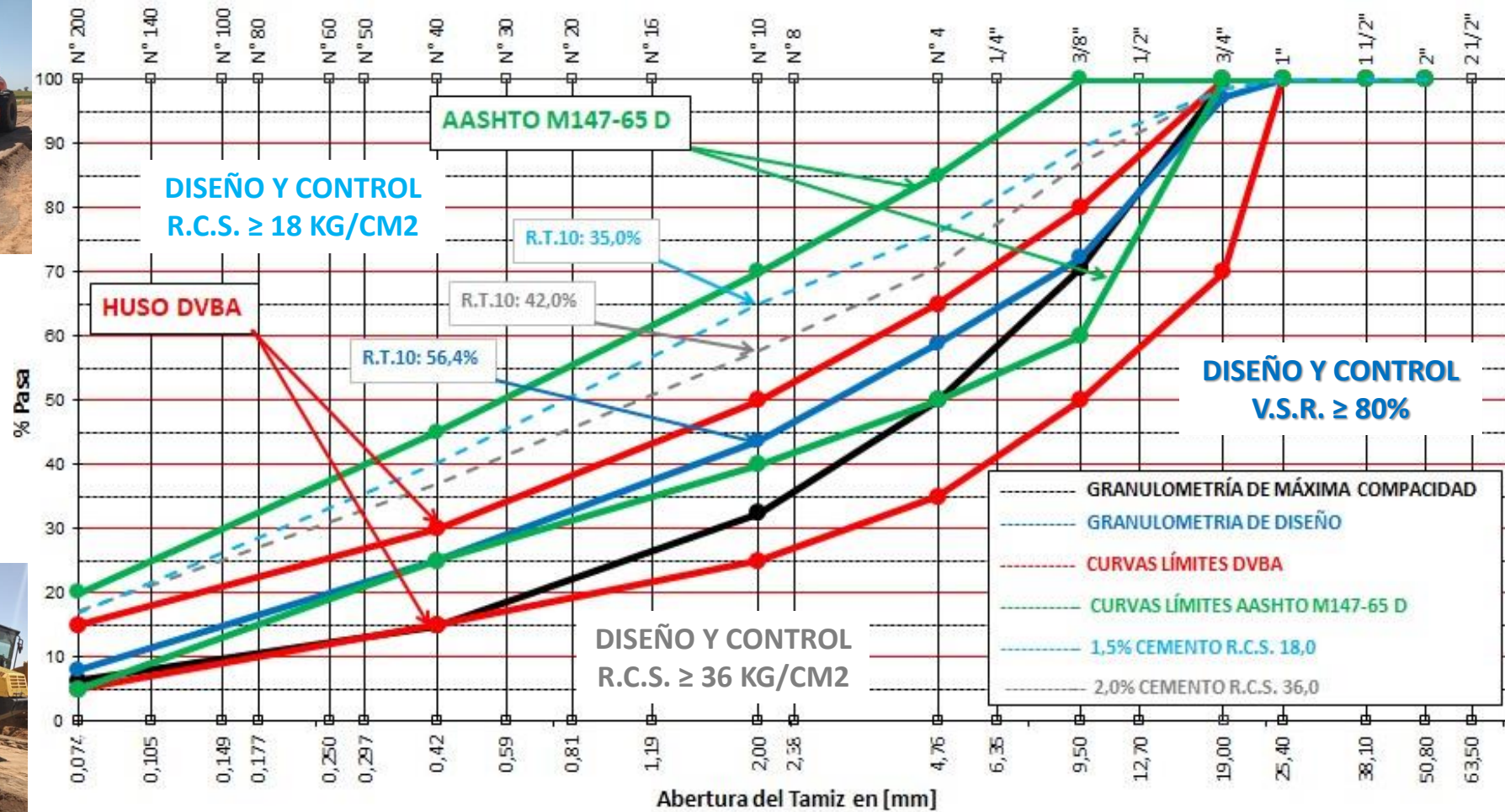
**AGREGADO
GRUESO
25 A 35%**



**SUELO DE
APORTE
15 A 20%**

**AGREGADO
FINO
40 A 45%**

**AGREGADO
GRUESO
35 A 45%**



DISEÑO Y CONTROL POR VALOR SOPORTE E HINCHAMIENTO – RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE



Valor Soporte e Hinchamiento

(VN-E6-84)

- 1 - Método Estático a Carga Fija Preestablecida
- 2 – Método Estático a Densidad Prefijada (DPV)**
- 3 – Método Dinámico Simplificado (DNV)**
- 4 – Método Dinámico Completo



Moldeo, Curado y Rotura a **Compresión Simple**

1 – Moldeo Estático o Dinámico

2 – Curado a 7 días (Diseño)

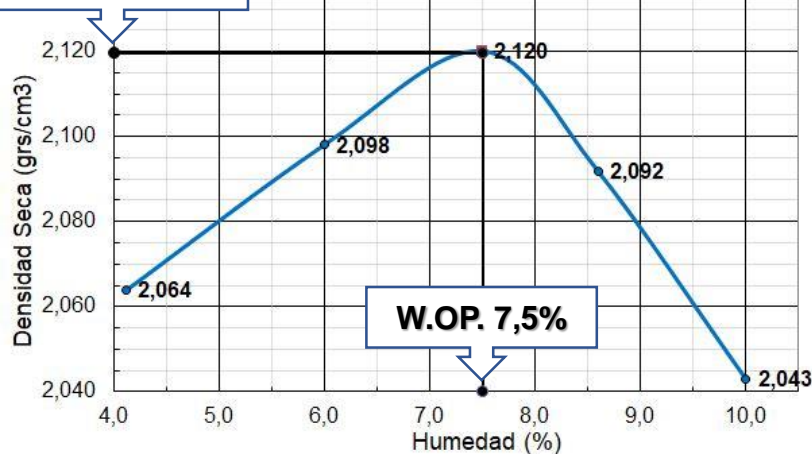
3 – Compresión Simple

(VN-E33-67 o UNE-EN 13286-41)

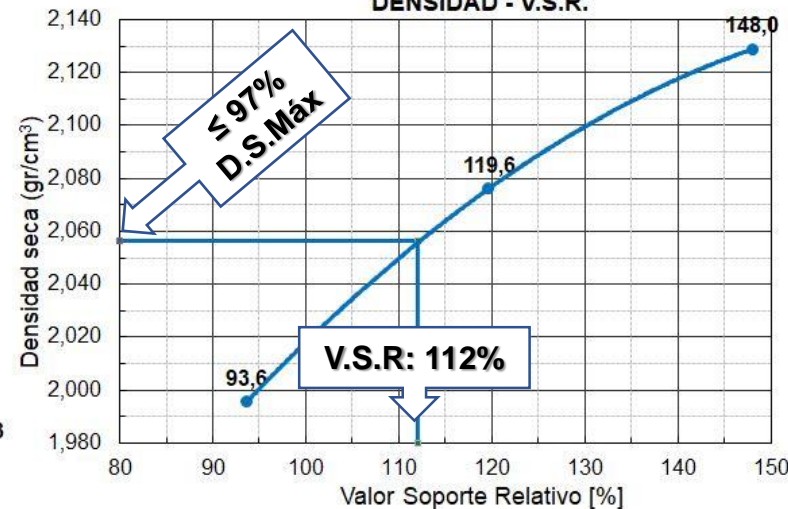


ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS (VN-E5-93)

D.S.Máx. 2,120



DENSIDAD - V.S.R.



Resistencia a Compresión: 36,5 Kg/cm²

Molde de 6" de ϕ

o Molde de 4" de ϕ

PROYECTO DE ESTABILIZACIÓN GRANULAR EN CAMINOS RURALES

Aspectos a considerar en un proyecto.

- 1 – Función como Base o Capa de Rodamiento
- 2 – Forma de la Sección Transversal
- 3 – Parámetros a considerar para el Diseño de Espesor
- 4 – Proceso Constructivo
- 5 - Tipos de Control
- 6 - Conservación



1 - USO COMO REVESTIMIENTO O BASE

DIFERENCIAS EN CUANTO A SUS FUNCIONES, GRANULOMÉTRICAS Y DE PLÁSTICIDAD (CONTENIDO DE ARCILLA)

A - REVESTIMIENTO: ACTUA COMO CAPA DE RODAMIENTO Y ESTÁN EXPUESTO A:

- ✓ ACCIONES DIRECTAS DEL CLIMA
- ✓ ACCIONES DEL TRÁNSITO

PROPIEDADES A CUMPLIR

- ✓ ESTABILIDAD MECÁNICA
- ✓ RESISTENCIA AL EFECTO ABRASIVO DEL TRÁNSITO (DESGASTE)
- ✓ MECANISMO QUE IMPIDAN LA PENETRACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA
- ✓ MEZCLAS QUE EVITEN PÉRDIDA DE HUMEDAD, SIN DESECAMIENTO EXCESIVO (EVAPORACIÓN).

B - BASE: CUBIERTA POR CAPAS IMPERMEABLES DELGADAS O GRUESAS, SE EXPONEN A:

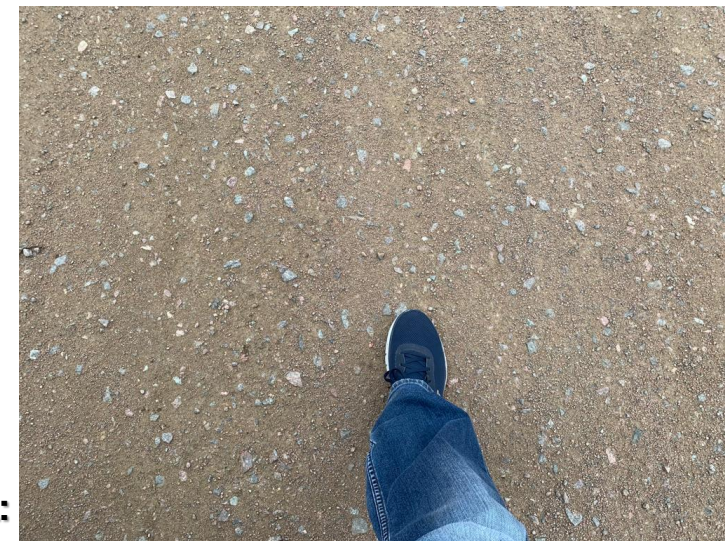
- ✓ ESFUERZO PROVENIENTE DE LA CAPA DE REVESTIMIENTO

PROPIEDADES A CUMPLIR

- ✓ ESTABILIDAD MECÁNICA

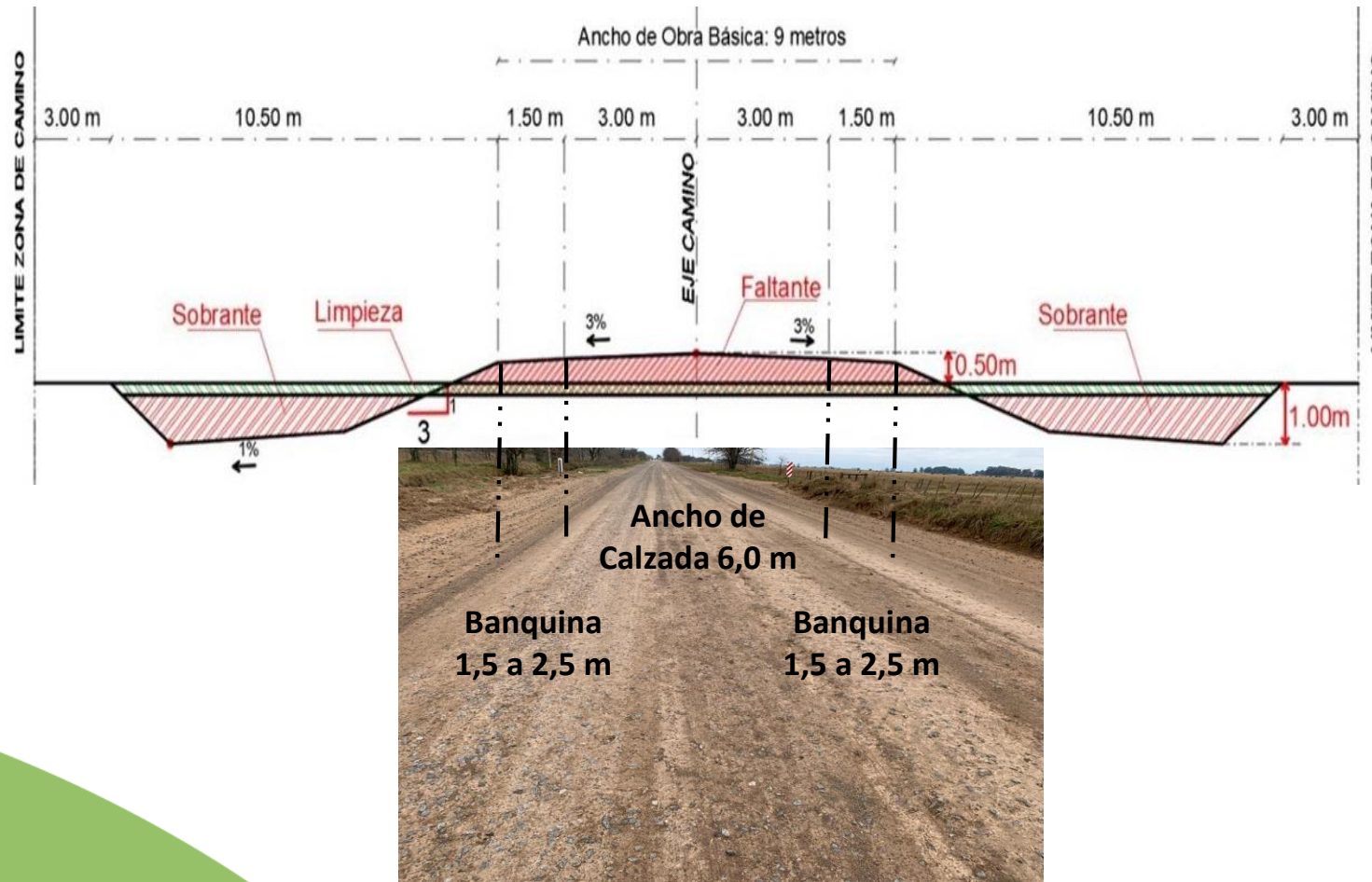
CONDICIONES DE EXPOSICIÓN

- ✓ ZONA Y PRECIPITACIONES MEDIAS PLURIANUALES
- ✓ DIFERENCIAS E/ ALTURA DE RASANTE Y MÁXIMO NIVEL FREÁTICO.
- ✓ BASE O CAPA DE RODADURA.



ZONA	LLUVIA (mm/año)	INDICE DE PLASTICIDAD IP	
		BASE	RODADURA
MUY HÚMEDA	> 1000	< 2	3 - 5
HÚMEDAD MEDIA	700 - 1000	2 - 4	5 - 8
SECA	< 700	4 - 8	8 - 12

2 – FORMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

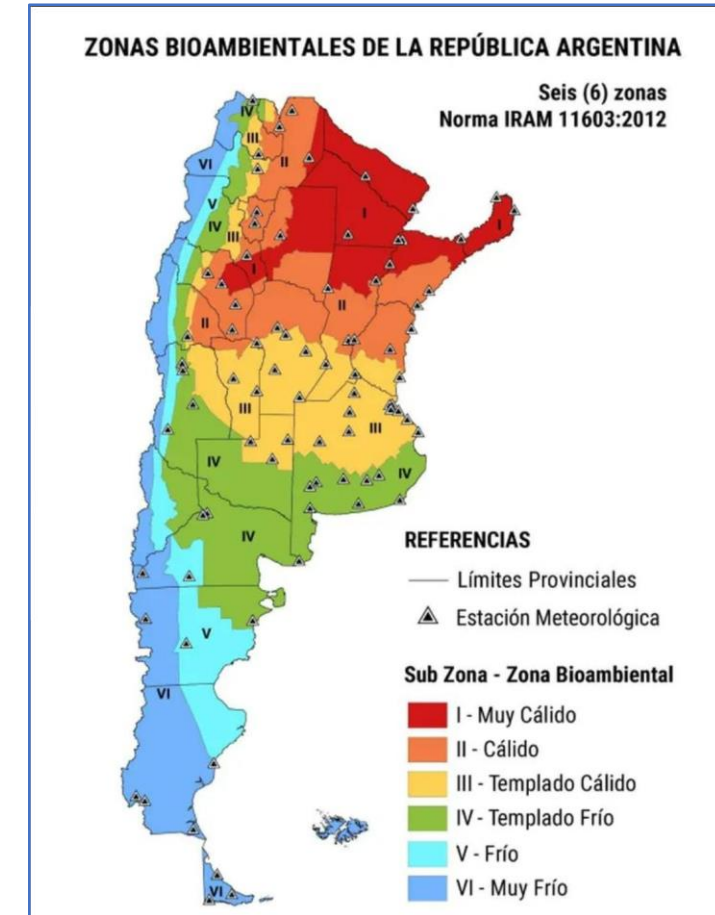


- ✓ **Pendiente Calzada 3% a 4%.**
- ✓ **Pendiente Banquina 4% a 6%.**
- ✓ **CR > 0,50 TN.**
- ✓ **Taludes internos 1:2 a 1:4.**
- ✓ **Pendientes drenaje lateral 1%.**
- ✓ **Taludes externos 1:1 a 1:2.**

3 - ESPESTORES – PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE ESPESOR

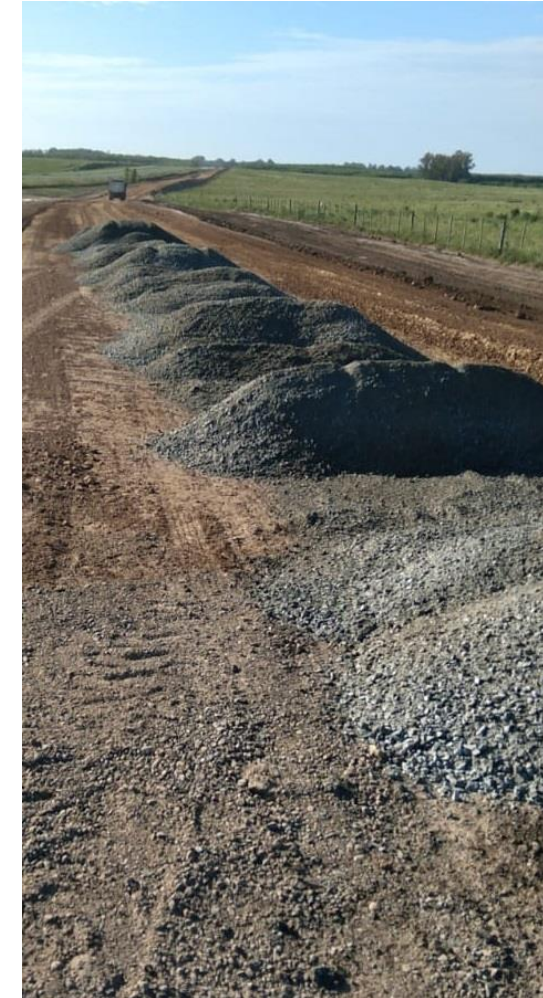
Requerimientos principales de diseño con superficies granulares:

- ✓ Tráfico previsto W18 para el período de diseño
 - ✓ Duración de cada estación estival
 - ✓ Módulo resiliente estacional del suelo de fundación
 - ✓ Módulo elástico E_{BS} (psi) de la capa de rodamiento granular
 - ✓ Módulo elástico E_{SB} (psi) de la capa inferior (si se incorpora al paquete)
 - ✓ Pérdida de serviciabilidad de diseño, ΔPSI
- ✓ Ahuellamiento permisible, RD (pulgadas), en la capa superficial
 - ✓ Pérdida de agregados, GL (pulgadas), de la capa superficial



4 - PROCESO CONSTRUCTIVO – ETAPAS EN UN CAMINO RURAL

- 4.1 - Condiciones iniciales para estabilizar; sub-rasante**
- 4.2 - Preparación de la sub-base (s/ proyecto)**
- 4.3 - Distribución de los materiales**
- 4.4 - Humedecimiento, mezclado y homogeneización**
- 4.5 - Conformado**
- 4.6 - Construcción de banquetas**
- 4.7 - Compactación inicial**
- 4.8 - Corte, perfilado y sellado final**



4.1 – CONDICIONES INICIALES Y NECESARIAS PARA ESTABILIZAR; SUB-RASANTE ESTABLE

- ✓ **Elevar la rasante y alejarla** del **nivel** de las **aguas**, para mejorar la **aptitud portante** de la subrasante.
- ✓ Acondicionamiento de los **perfiles** en sentido **transversal**, como **longitudinal**.
- ✓ Todo material que presente irregularidades en la ejecución, deberán ser retirados y se reacondicionara la subrasante en perfil, lisura y compactación.
- ✓ Solución: dotar de ciertas características **geométricas** y **superficiales**, de manera que con un adecuado **tratamiento** y adecuadas **técnicas de operación**, se asegure una estructura **estable** de soporte a la capa que se desea estabilizar.



4.2 – PREPARACIÓN DE LA SUB-BASE

De acuerdo al tipo de proyecto, se **podrá incluir** una **capa intermedia**, llamada sub-base de suelo de aporte, en la cuál:

- ✓ Se pulverizara y disgregará en espesor de 15 a 20 cm, y el material será trabajado y **compactado** en forma **especial**.
- ✓ Se **perfilará** según los **perfiles tipo**, respetando las pendientes de proyecto.
- ✓ **Controles** de **densidad in-situ** según las exigencias contractuales.

4.3 – DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES - MÉTODO TRADICIONAL

- ✓ Los materiales serán depositados en caballetes, con camiones en tramos x jornada de subrasante o subbases aprobadas.
- ✓ Se efectuarán **drenes** en el caballete.
- ✓ Si el caballete se confecciona con más de un material, se debe disponer en forma superpuesta, cumpliendo una **buena distribución** por **unidad** de **superficie**, para la obtención de una **granulometría** en cumplimiento a su **entorno de trabajo**.
- ✓ El **suelo cohesivo** pulverizado se **depositará** en forma **intercalada** e/ los **agregados**, **evitando pérdidas** de finos por el viento.

**Que debemos tomar en cuenta
para la distribución x insumo**

- ✓ Espesor y ancho de la capa
- ✓ % Interviniente de materiales
- ✓ Pérdidas 5% a 10% o 1 cm más
- ✓ Peso x ml del estabilizado y de cada insumo
- ✓ PUV de cada material
- ✓ Capacidad de cada transporte



4.3 – CALCULO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES – FLOTA DE CAMIONES JORNADA

1 - DATOS DE LA CAPA A ESTABILIZAR

ESPESOR:	20,0	CM
ANCHO:	6,0	M

2 - DISEÑO

A.T.G.6-19	40,0%
A.T.G.0-6	35,0%
SUELO	25,0%

3 - DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR Y W.OPTIMA

D.S.M.:	2120,0	KG/M3
W.OPTIMA:	7,5	%

4 - PERDIDAS DE MATERIALES

P.M.:	5,0	%
-------	-----	---

5 - PESO POR METRO LINEAL

PESO X M.L.	2671,2	KG/M
-------------	--------	------

6 - PESO X METRO LINEAL DE CADA UNO

PESO X M.L. A.T.G. 6-19:	1068,5	KG/M
PESO X M.L. A.T.G. 0-6:	934,9	KG/M
PESO X M.L. SUELO:	667,8	KG/M

7 - DENSIDAD APARANTE O P.U.V.

PUV. A.T.G. 6-19:	1550	KG/M3
PUV. A.T.G. 0-6:	1450	KG/M3
PUV. A.T.G. SUEL:	1230	KG/M3

8 - DISTANCIA DE DISTRIBUCIÓN

A.T.G.6-19:	1,45	M/M3
A.T.G.0-6:	1,55	M/M3
SUELO:	1,84	M/M3

9 - CAPACIDAD DE TRANSPORTE

A.T.G.6-19:	18,0	M3
A.T.G.0-6:	20,0	M3
SUELO:	22,0	M3



10 - RENDIMIENTO JORNADA DIARIA

300	M/DIA
-----	-------

11 - DISTANCIA X UNIDAD DE TRANSPORTE Y CANTIDAD DE FLOTA DE TRANSPORTE

A.T.G.6-19:	26,1	M	A.T.G.6-19:	11,0	CAMIONES DE AGREGADO GRUESO
A.T.G.0-6:	31,0	M	A.T.G.0-6:	10,0	CAMIONES DE AGREGADO FINO
SUELO:	40,5	M	SUELO:	7,0	CAMIONES DE SUELO



CUMPLIMIENTO GRANULOMETRICO



- ✓ Caballete
- ✓ Uniformidad
- ✓ Distribución
- ✓ No Segregable
- ✓ Humedad Mezcla
- ✓ Cubicaje x Unidad
- ✓ Longitud x Jornada
- ✓ Superpuesto
- ✓ Suelo Intercalado

4.4 – HUMEDECIMIENTO Y MEZCLADO

1 - DATOS DE LA CAPA Y REGADOR

ESPESOR:	20,0	CM
ANCHO:	6,0	M
ANCHO BARRA:	2,50	M
ESP. MAX. RIEGO:	5,0	CM
CAPACIDAD RIEGO:	4270,0	LITROS
TIEMPO DE DESCARGA:	15,0	MINUTOS

2 - DISEÑO

A.T.G. 6-19	40,0%
A.T.G. 0-6	35,0%
SUELO	25,0%

CUMPLIMIENTO HUMEDAD OPTIMA

3 - DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR Y W.OPTIMA

D.S.M.: 2120,0 KG/M³

W.OPTIMA: 7,5 %

4 - HUMEDAD A ADICIONAR

W.PERDIDA:	2,0	%
W.MEZCLA:	1,5	%
W.ADICIONAR:	8,0	%

5 - P.U.V. SUELTO MEZCLA

P.U.V. SUELTO: 1435,0 KG/M³

6 - PESO X METRO LINEAL DE LA MEZCLA

PESO X M.L. MEZCLA: 2671,2 KG/M

7 - CANTIDAD DE AGUA POR METRO LINEAL

H₂O LITROS/M: 213,7 LTRS/M

8 - VOLUMEN X METRO LINEAL

VOL. MEZCLA: 1,861 M³/M

9 - VOL. CADA CAPA X MTR S/ANCHO RIEGO

VOL. CAPA: 0,125 M³/M

10 - CANTIDAD DE CAPAS A DISTRIBUIR

Nº DE CAPAS: 15

11 - CANTIDAD DE AGUA X CAPA Y X ML

H₂O X CAPA/ML: 14,2 LTRS / M

12 - LONGITUD DE CABALLETE A REGAR

LONGITUD: 300,0 M

13 - CALCULO VELOCIDAD DEL RIEGO, TAL QUE SU DESCARGA SE REALICE EN LAS SIGUIENTES PASADAS

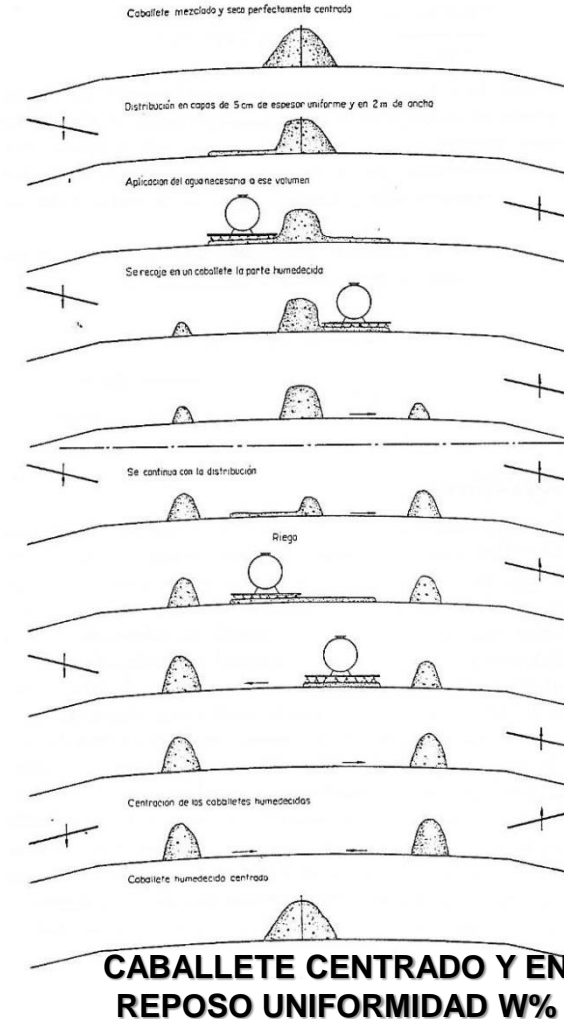
VELOCIDAD DEL RIEGO: 9,6 KM/H

VELOCIDAD
DE CISTERNA



CANTIDAD DE
PASADAS

8



4.4 – MEZCLADO Y HOMOGENEIZACIÓN

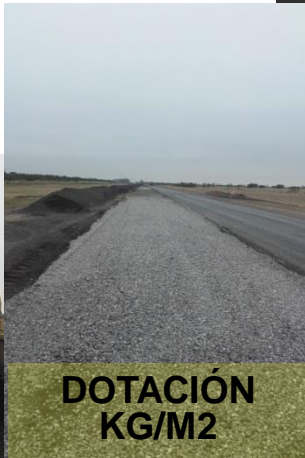
- ✓ La humectación y homogeneización granulométrica, mejorarán la trabajabilidad, calidad durante su colocación y aumento del período de servicio.
- ✓ La operación con motoniveladora se efectuará llevando el material acordonado sobre un lateral, hacia el lado opuesto y luego al centro de la calzada.
- ✓ Tiempo de mezclado resulta función de la humedad y granulometría.
- ✓ Controles de **granulometría** de muestras a cada lado del caballete, con el fin de verificar, su aceptación dentro del **entorno de trabajo** de la curva de diseño.

4.5 y 4.6 – CONFORMADO Y CONSTRUCCIÓN DE BANQUINAS

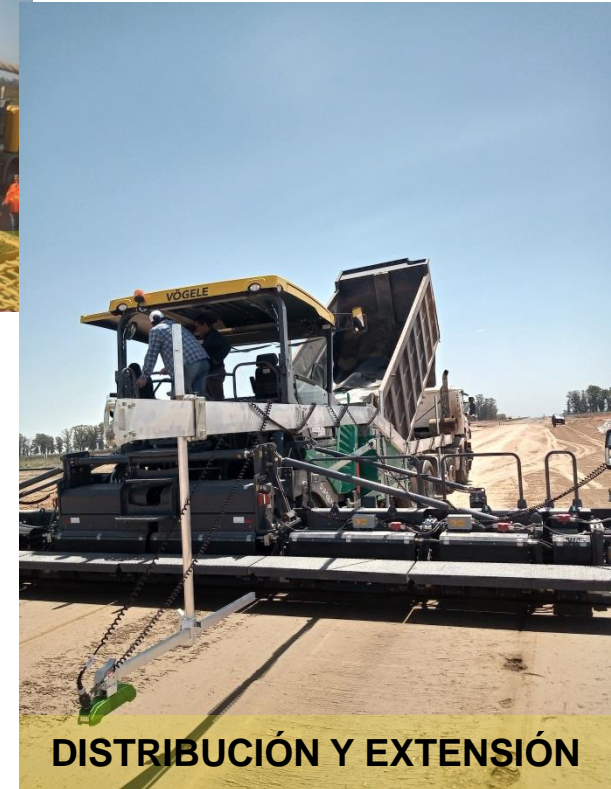
- ✓ Se inicia con el caballete centrado en el eje de la calzada.
- ✓ No generar segregaciones en las operaciones y se humectará para compensar pérdidas por evaporación.
- ✓ El material deberá ser llevado desde el centro hacia los bordes de la calzada.
- ✓ Se controlará la **flecha** y **espesores** del **material suelto**.
- ✓ Se ejecutarán los empalmes **transversales** y **longitudinales**, a fin de obtener transiciones con mejor densificación.
- ✓ Se ejecutara ambas banquetas para calzar y mejorar el efecto de confinamiento de la capa de estabilizado granular (se evita descalce y desmoronamiento).



DISTRIBUCIÓN Y MEZCLADO EN CAMPO CON Y SIN LIGANTE HIDRÁULICO – ALTO RENDIMIENTO



DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO EN PLANTA + DISTRIBUCIÓN EN CAMPO CON Y SIN LIGANTE HIDRÁULICO



4.7 – COMPACTACIÓN INICIAL

- ✓ Se inicia desde los bordes hacia el centro, con equipo **pata de cabra** o **liso con vibro** (dependiendo de la **característica** de la **mezcla granular**).
- ✓ El número de pasadas resultara de un análisis del **tramo de prueba** (**amplitud, frecuencia y velocidad**), pero en general podrán variar entre 6 (seis) y 8 (ocho).
- ✓ En las mezclas cuando la **granulometría** tienda hacia el **límite inferior** del huso, es decir **gruesa**, el número de pasadas será aumentado hasta **no** producir **segregación** y **descompactación**.

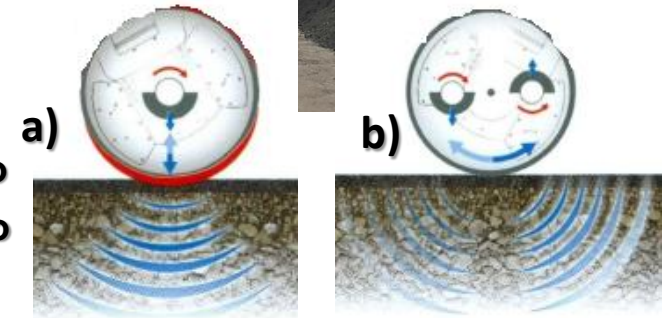


Factores

- ✓ Tipo de mezcla de estabilizado granular
- ✓ Energía de aplicación
- ✓ Humedad inicial de compactación
- ✓ Espesor de la capa
- ✓ Forma de los agregados gruesos

Tipos de Compactación

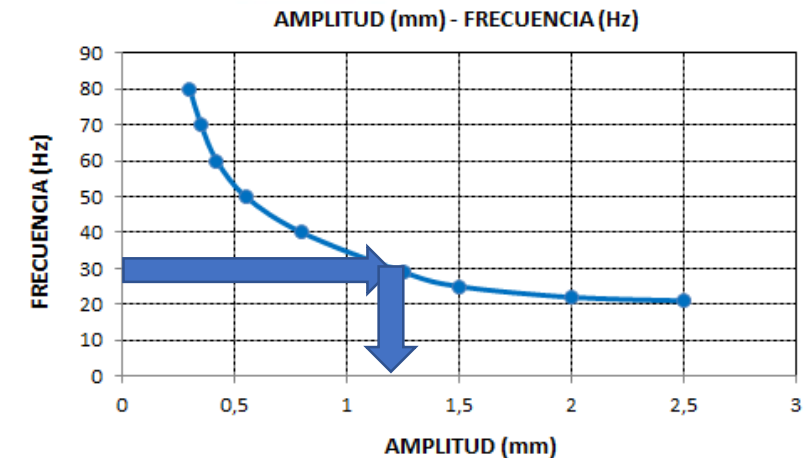
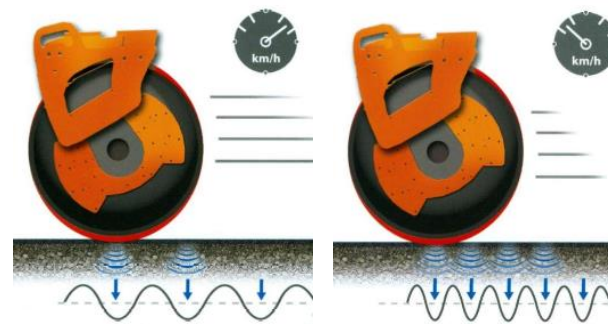
- a) Con sistema de **vibrado**
- b) Con sistema **oscilatorio**



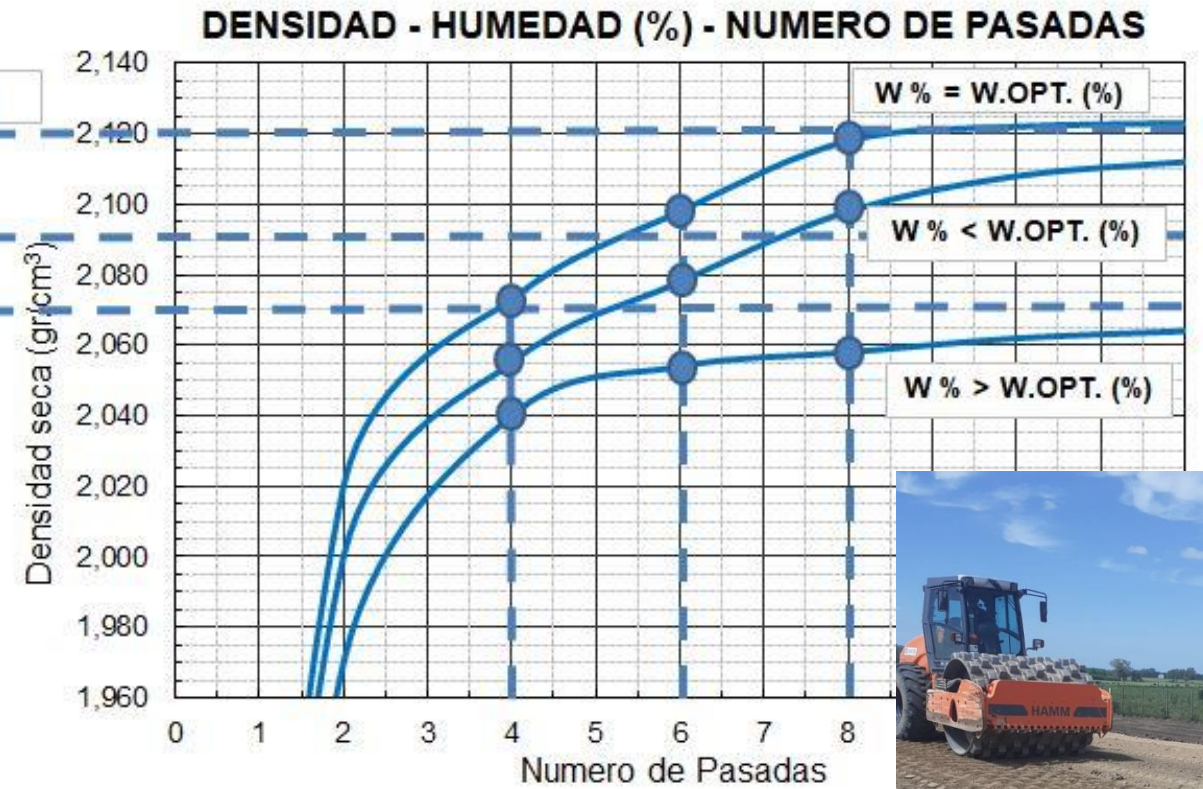
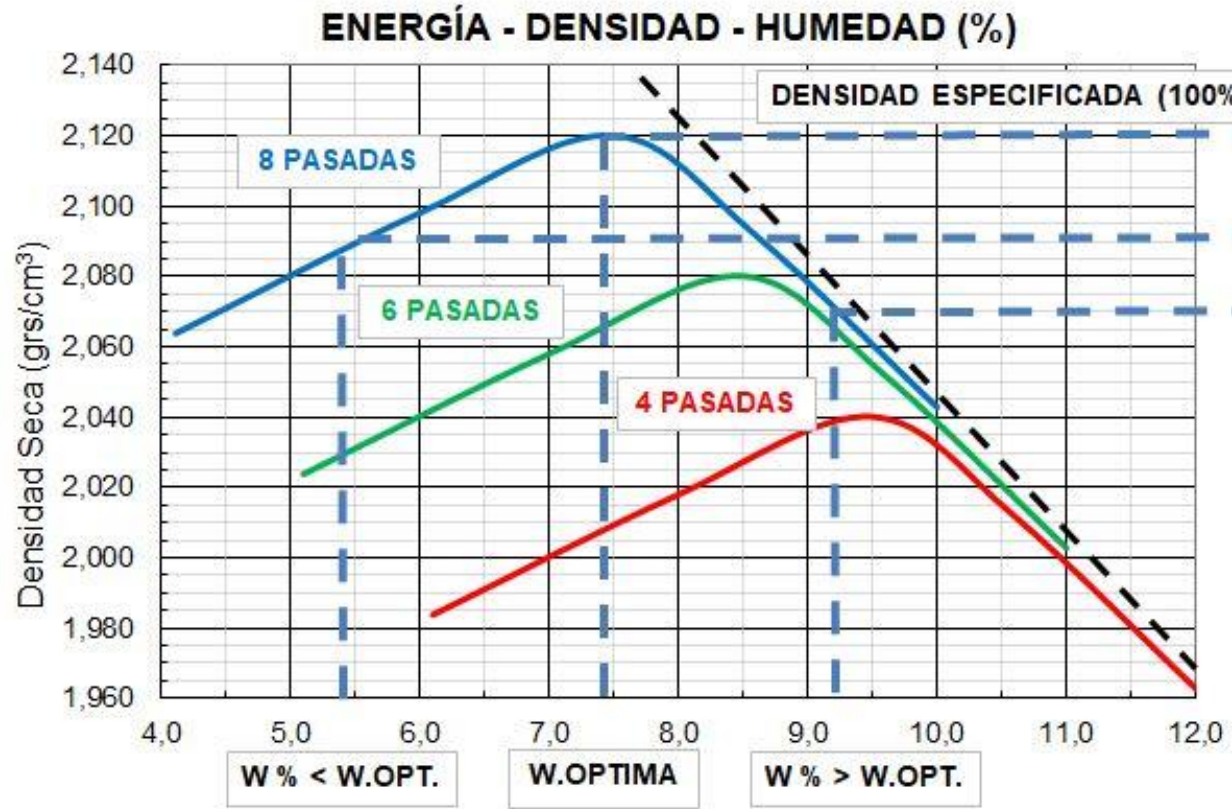
- ✓ Amplitud baja < 0,5 mm
- ✓ Escasa fuerza de impacto
- ✓ Bajo efecto en profundidad

- ✓ Gran amplitud > 1 mm
- ✓ Elevada fuerza de impacto
- ✓ Gran efecto en profundidad

Efecto velocidad vs superficie

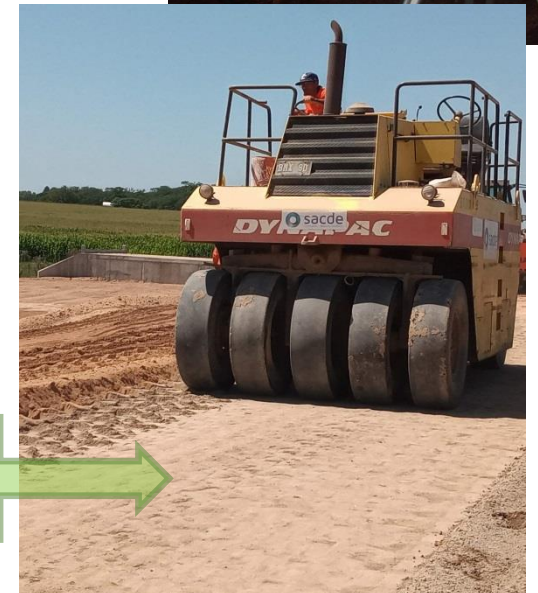


4.7 – COMPACTACIÓN INICIAL – TRAMO DE PRUEBA



4.8 – CORTE, PERFILADO Y SELLADO FINAL

- ✓ Un adecuado corte de la mezcla, requerirá de un grado de humedad cercano al óptimo, para un buen perfilado.
- ✓ Se deberá **evitar** el **arrastre** de las **partículas gruesas** que producirían surcos longitudinales.
- ✓ El producto del perfilado no intervendrá como material de base, sino que será utilizado como recubrimiento en banquina.
- ✓ Se **nivelara** la flecha **cada 25 metros** según el perfil tipo.
- ✓ Para la **compactación final** se podrá anexar un rodillo neumático para sellar y mejorar aspectos de impermeabilización.



Sellado
impermeabiliza

5 – TIPOS DE CONTROL

- ✓ Previamente se verificará la granulometría y la compactación Proctor Laboratorio
- ✓ Se tomarán muestras de densidades in-situ y se lo comparará con la máxima seca de jornada (grado de compactación **$D_{som} \geq 0,99 \times D_{slm}$**).
 $D_{so} \geq 0,98 \times D_{som}$
- ✓ El DCP con su correlación correspondiente permite verificar en forma indirecta el VSR IN-SITU
- ✓ Mediante el LWD se puede determinar el módulo de la capa y grado de densificación.

$$\% C = \frac{Elwd Campo}{Elwd Objetivo} \times 100$$

$$E_{campo} = \frac{2 K_s (1 - v^2)}{A r_0} \times 1000$$

$$E_{objetivo} = \left(1 - \frac{2 v^2}{1 - v} \right) \frac{4 H}{\rho D^2} K_s$$

K_s = Coef. de rigidez = F/S

v = Coef. de Poisson

r_0 = Radio de la placa

A = Parámetro de contacto

H = Altura del molde

D = Diámetro del molde o placa

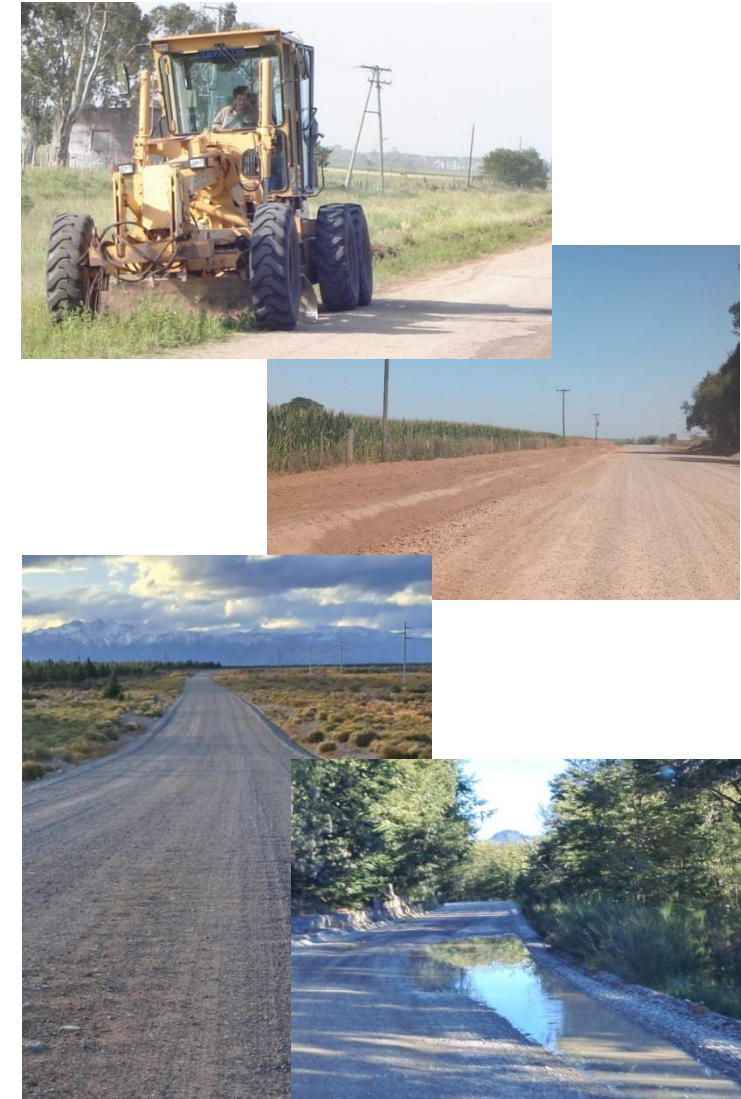
F = Carga promedio aplicada

S = Deflexión promedio máxima



6 – CONSERVACIÓN PREVENTIVA Y EN SERVICIO

- ✓ Ejecución de riegos diarios, que se regularán de modo que la humedad en los 5 cm superiores, no exceda del 60% del óptimo, a fin de mantener el perfil, compactación y el sellado con el tránsito vehicular.
- ✓ Mantenimiento del perfil de drenaje transversal en banquetas.
- ✓ Cuando se produzcan por la acción del tránsito o por agentes atmosféricos pérdidas de lisura y material, se deberá restituirse mediante perfilados livianos con compactación y con o sin aporte de material.
- ✓ La presencia de baches puntuales demandará intervenciones, mediante cuadrillas para su saneamiento.
- ✓ La generación de lomadas, crestas o serruchos en forma transversal, también requerirán de perfilados, humectación y compactación.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN