

MECÁNICA DE PAVIMENTOS

Materiales de Pavimentación



FACULTAD DE
INGENIERÍA



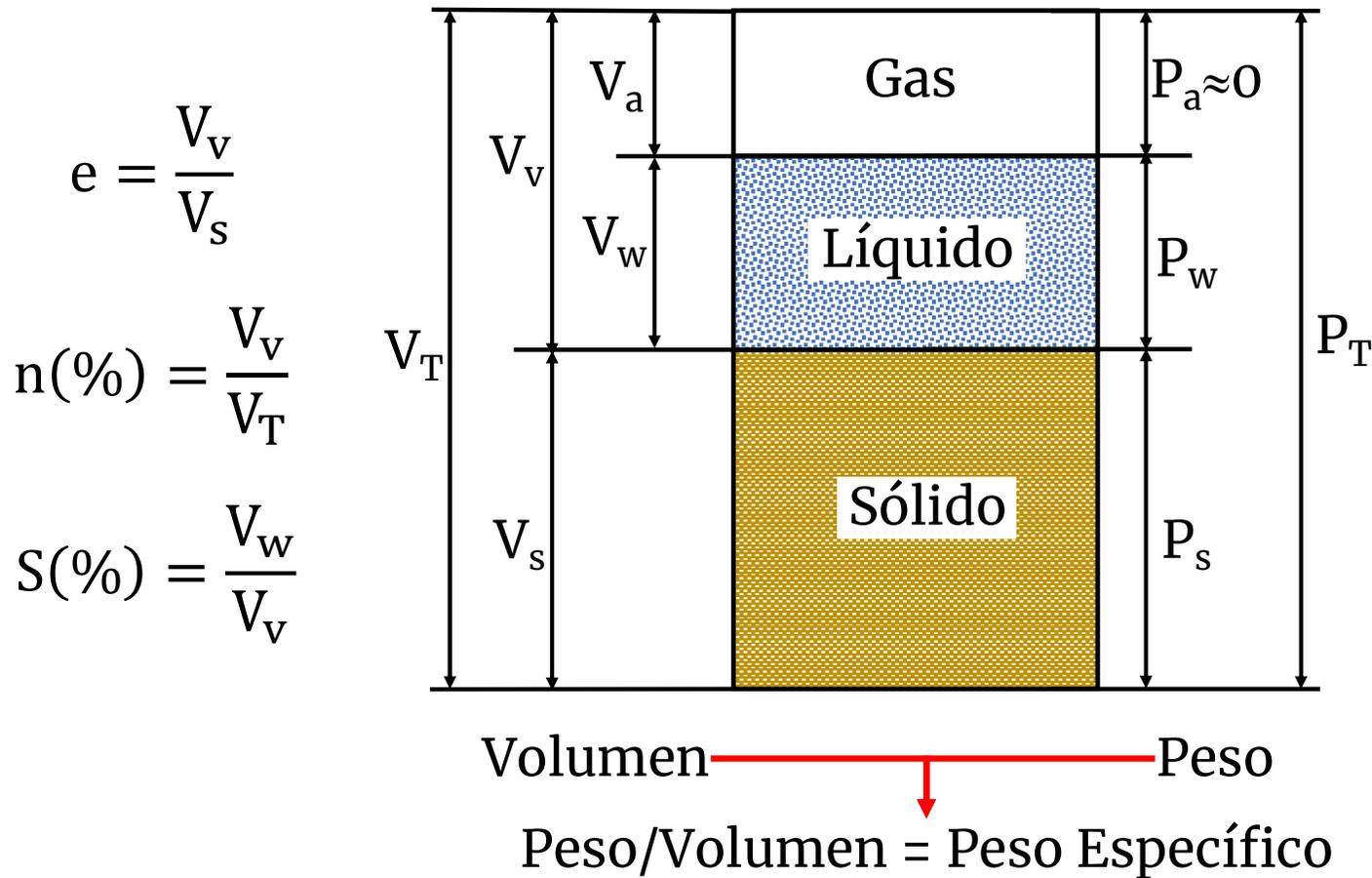
UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Dr. Ing. Leonardo Behak
Instituto de Estructuras y Transporte

MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN

Naturales	Suelos Granulares	No Cementados
Mezclas Asfálticas	Agregados Ligantes Asfálticos	Cementados
Hormigón	Agregados Cemento Portland	
Materiales Cementados	Cal Cemento Cenizas	

SUELOS



$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_T}$$

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v}$$

$$w(\%) = \frac{P_w}{P_s}$$

$$\gamma = \frac{P_T}{V_T}$$

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V_T}$$

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s}$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

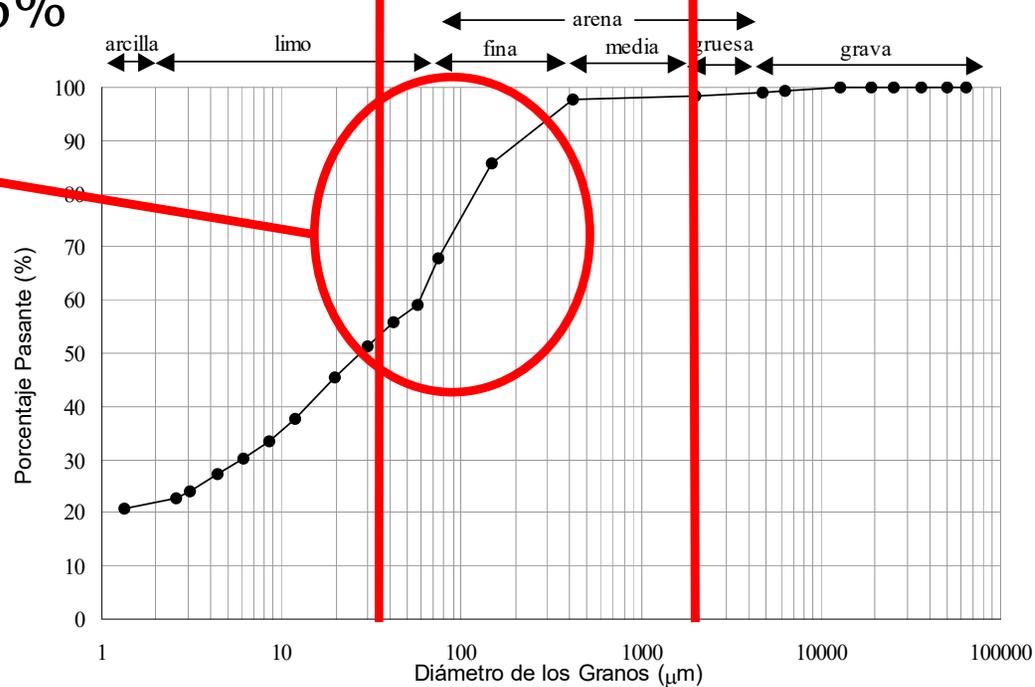
ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS Y PLÁSTICAS

Finos ← #200 AASHTO M147

Tamaño Máximo
2''-1''

Límite Líquido (LL) $\leq 25\%$
Índice Plástico $\leq 6\%$

Graduación



CURVAS DE FULLER (AASHTO M147)

Tamiz	Abertura (mm)	Pasa (%)					
		A	B	C	D	E	F
2"	50000	100	100	---	---	---	---
1"	25000	---	75-95	100	100	100	100
3/8"	9500	30-65	40-75	50-85	60-100	---	---
#4	4750	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
#10	2000	15-40	20-45	25-60	40-70	40-100	55-100
#40	425	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
#200	74	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

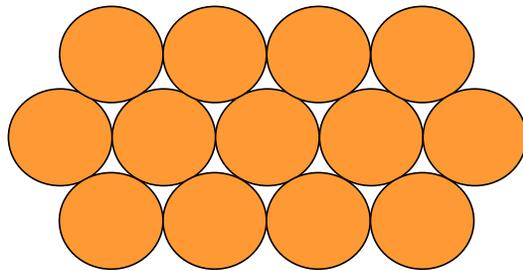
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

ASTM D3282

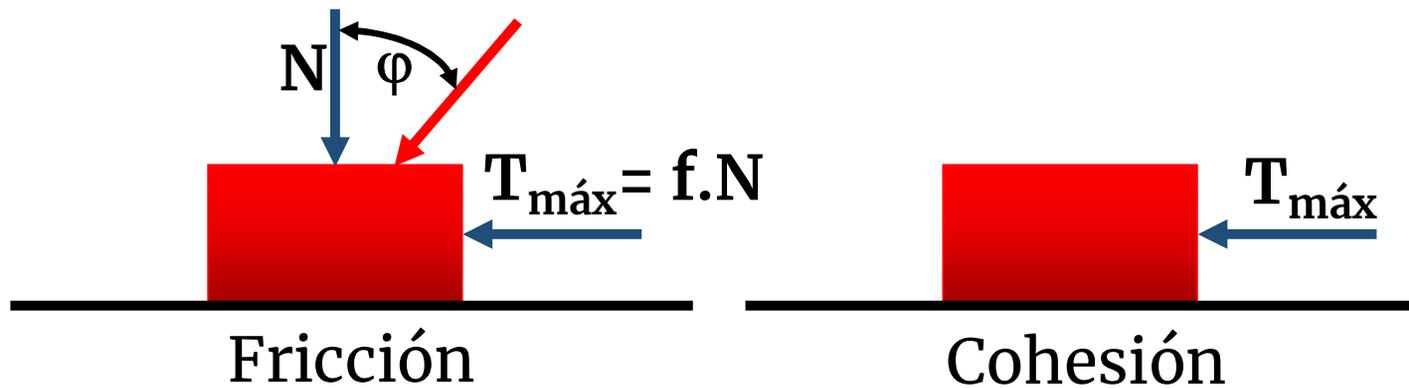
Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa el tamiz N°200)							Materiales limo-arcillosos (más de 35% pasa el tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Análisis de tamizado (% pasa)											
2.00 mm (# N°10)	50 máx	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
0.425 mm (# N°40)	30 máx	50 máx	51 min	----	----	----	----	----	----	----	----
0.075 mm (# N°200)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de fracción pasa # N°40											
Límite Líquido (LL)	----	----	40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min	41 min
Índice Plástico (IP)	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 min	11 min	10 máx	10 máx	11 min	11 min	11 min
Materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general como subrasante	Excelente a buena							Regular a pobre			

El IP del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL menos 30. El IP del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30 (ver **Gráfico** siguiente).
La casilla A-3 antes de la A-2 es debido al proceso de eliminación de izquierda a derecha. No indica superioridad de A-3 sobre A-2.

RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS

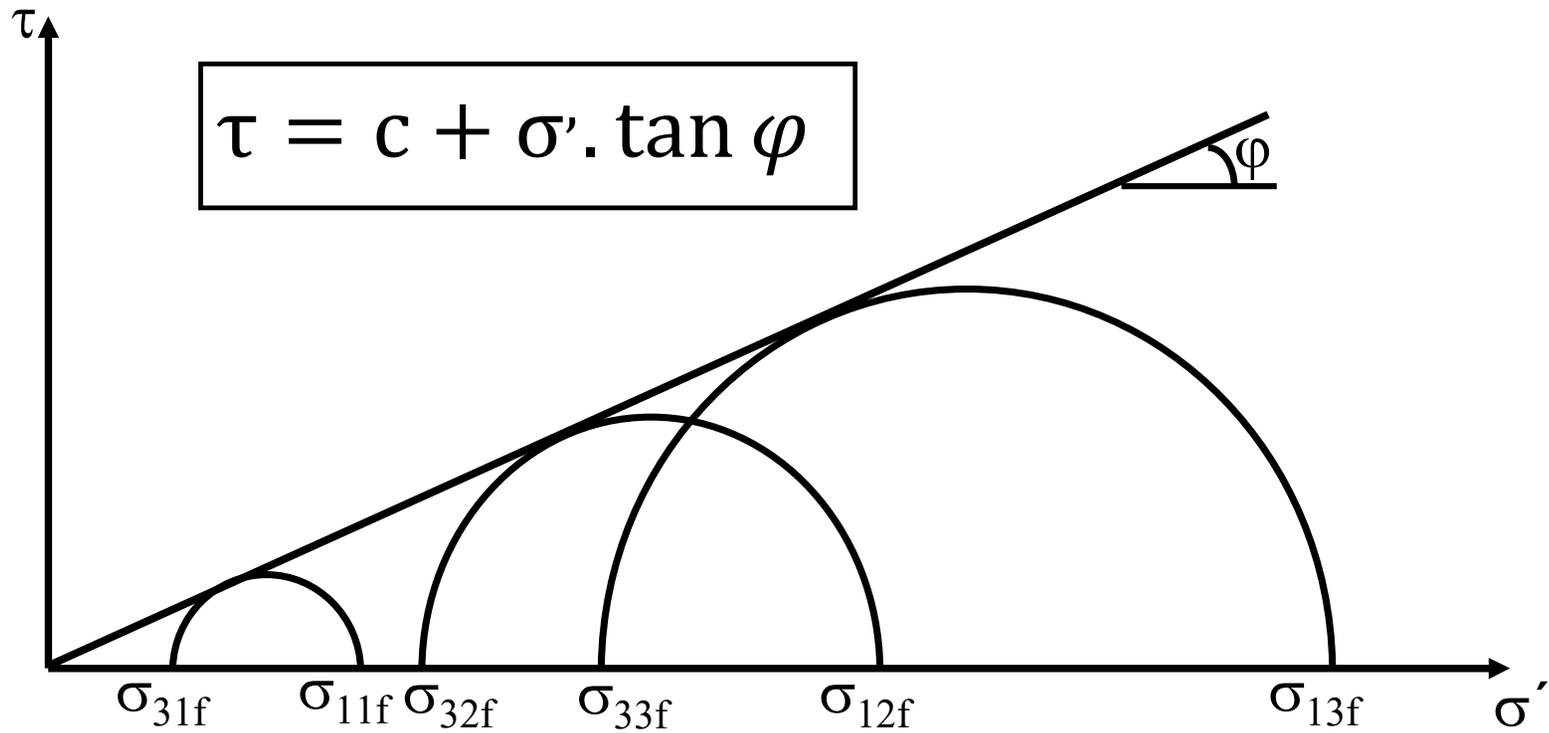


Medio Granular sin Cementación
entre Partículas



$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan \phi$$

ENVOLVENTE DE FALLA DE MOHR-COULOMB



ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS

Corte Directo
(ASTM D3080)

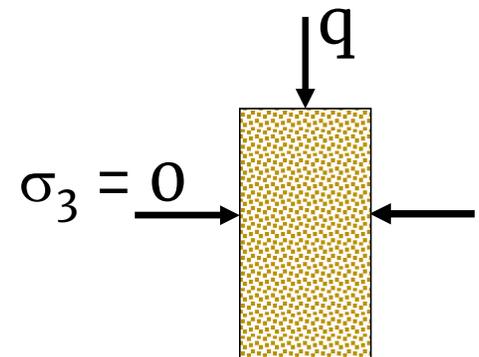
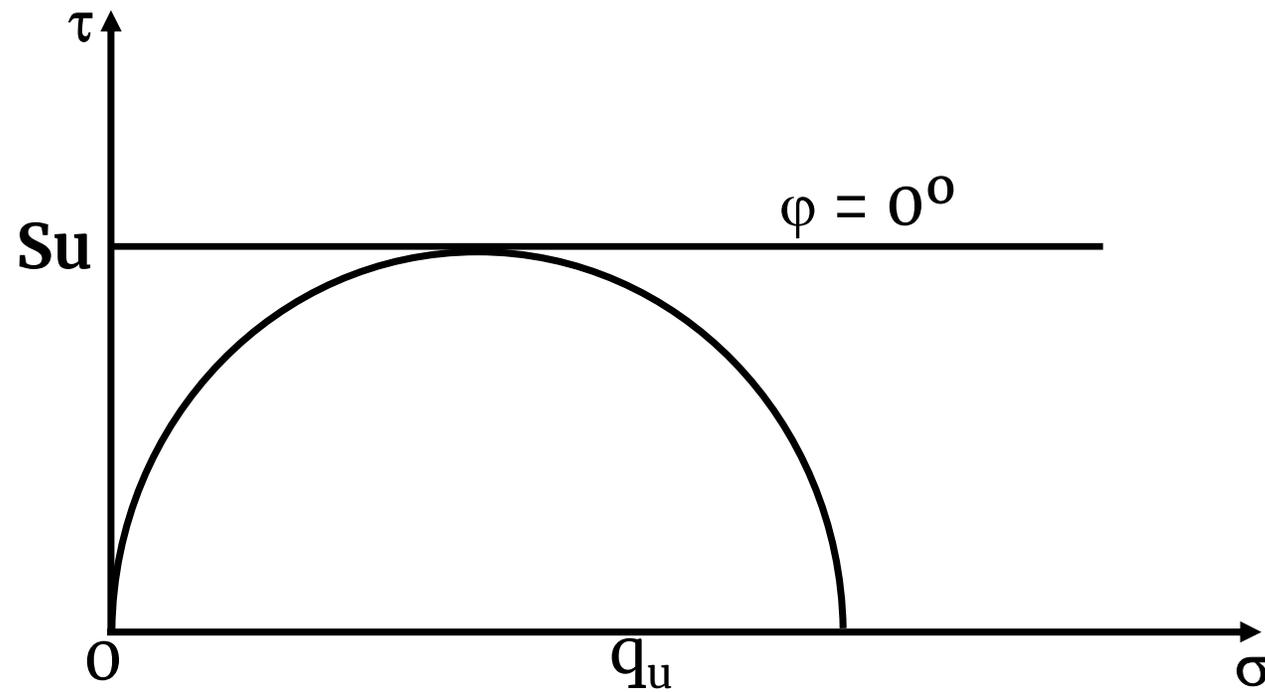


Compresión Triaxial
(ASTM D2850 (UU); ASTM D4767 (CU);
ASTM D7181 (CD))



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA (RCI)

ASTM D2166



ÍNDICE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

Porter (1929)

$$\text{CBR}(\%) = \frac{q_{0,1''\text{muestra}}}{q_{0,1''\text{patrón}}} \cdot 100$$

Material Patrón

Piedra triturada de California de la que se conoce tensión necesaria para producir penetración preestablecida

$$\text{CBR}(\%) = \frac{q_{0,1''\text{muestra}}}{70,3 \text{ kg/cm}^2} \cdot 100 = \frac{q_{0,1''\text{muestra}}}{0,703}$$

ENSAYO CBR (ASTM D1883; AASHTO T193)

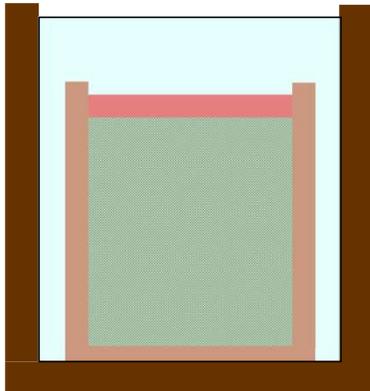
Compactación de 3 Probetas con:

- Diferentes Energías
- Igual Humedad (Humedad Óptima de Ensayo Proctor)



ENSAYO CBR

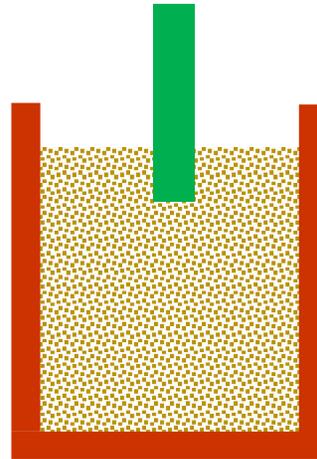
Saturación de Probeta



Medida de Expansión
(4 días)

Carga por Punzonado

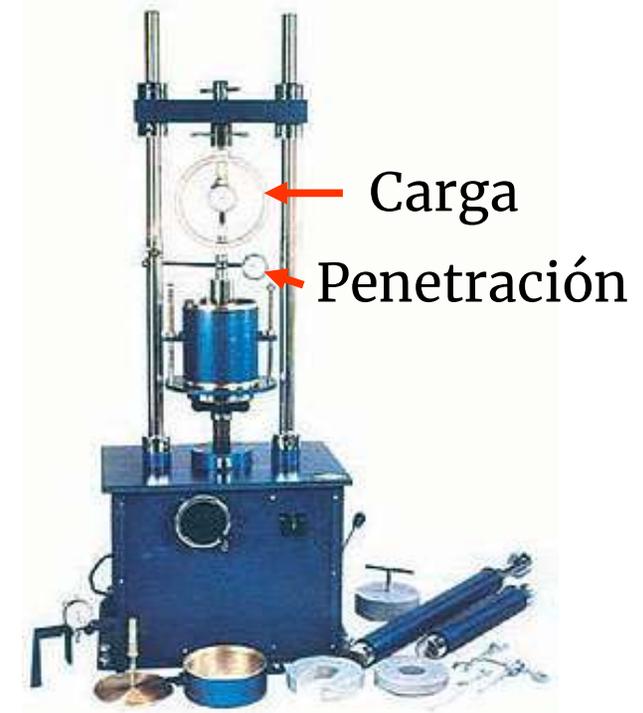
Vástago de
3 in² (19,4 cm²)



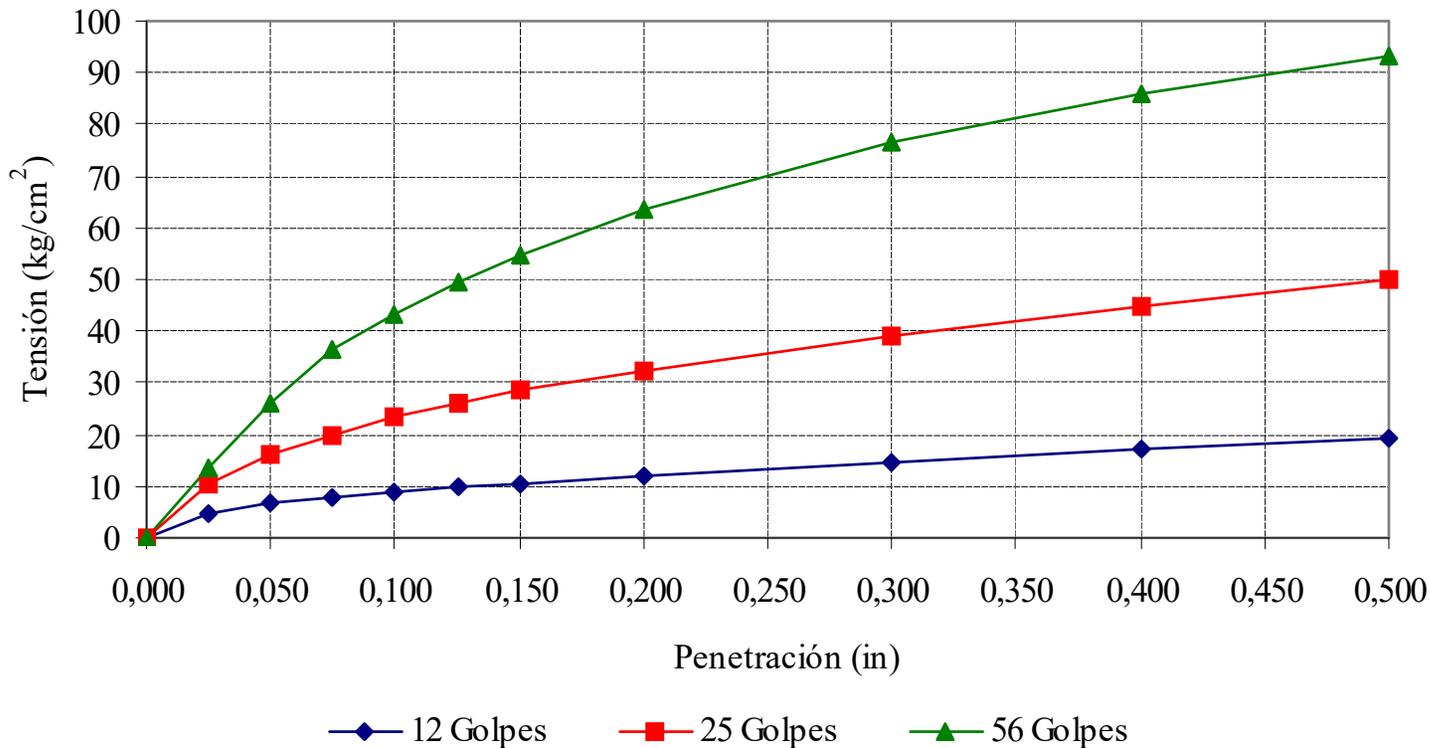
Expansión Máxima Admisible

Subrasante: 2-3%

Subbase y Base: 0,5%



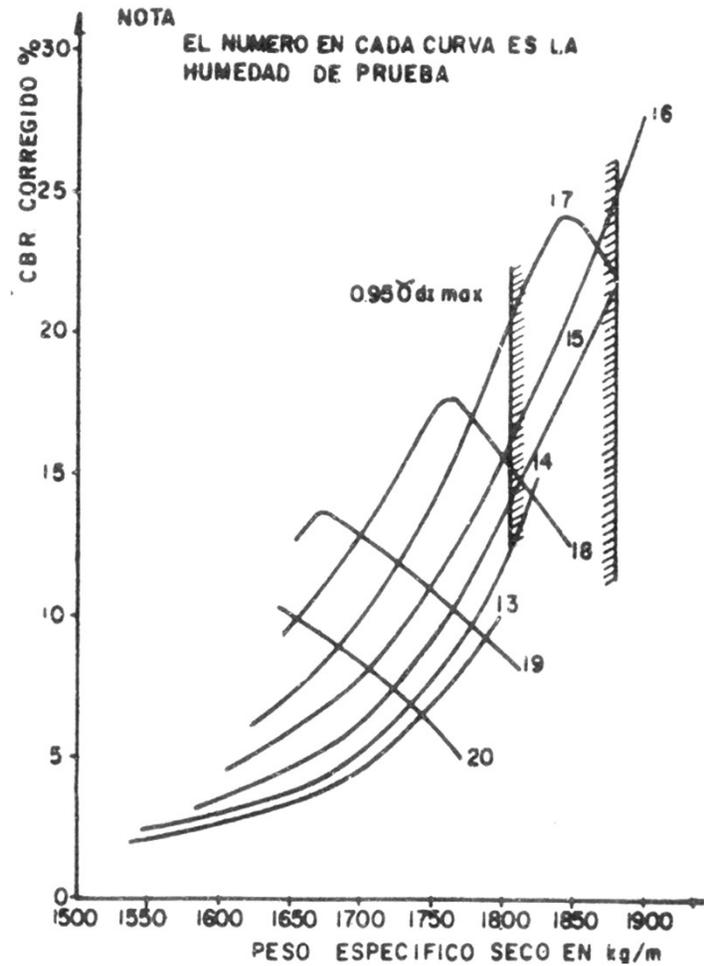
RELACIÓN TENSIÓN-PENETRACIÓN



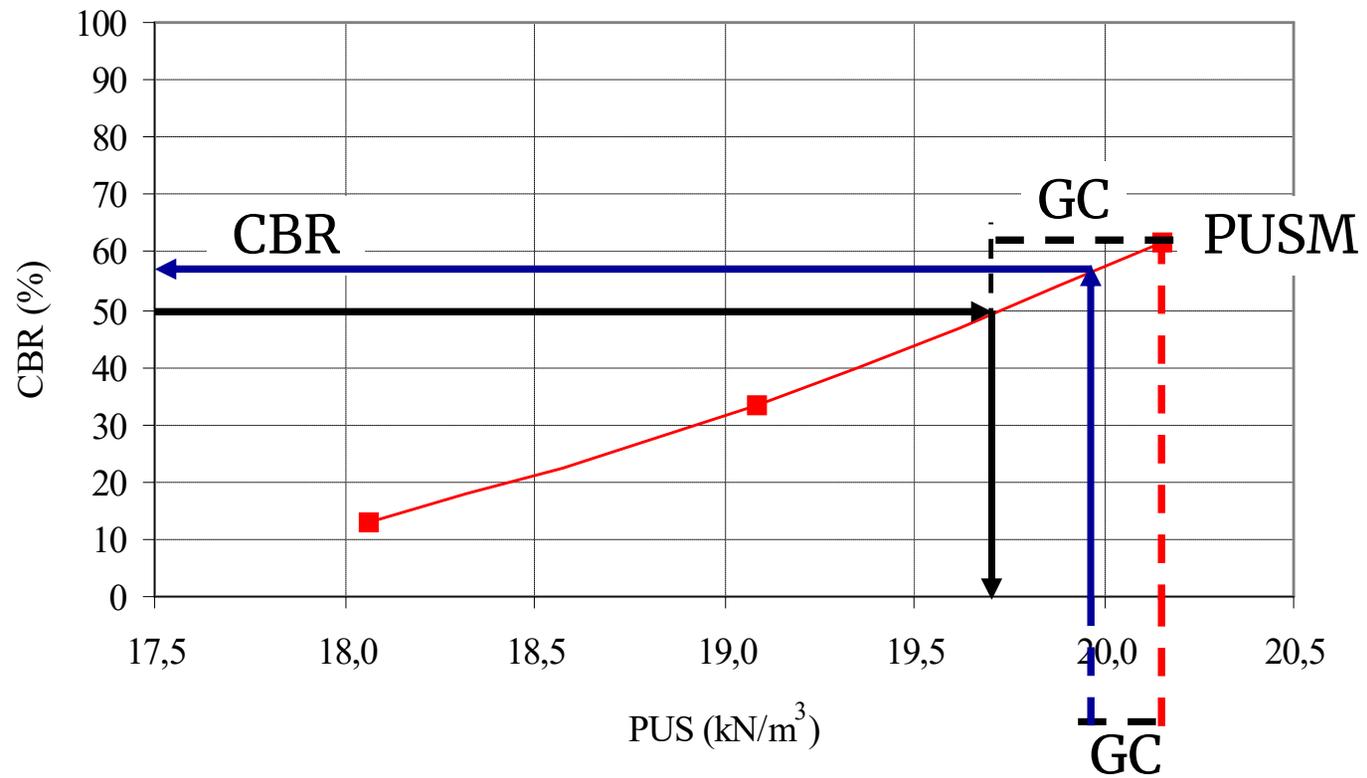
Valor Mayor

$$\text{CBR}(\%) = \frac{q_{0,1''\text{muestra}}}{0,703}$$
$$\text{CBR}(\%) = \frac{q_{0,2''\text{muestra}}}{1,055}$$

RELACIÓN CBR-PESO UNITARIO SECO (PUS)



RELACIÓN CBR-PUS



CRÍTICA DEL ENSAYO CBR

Se comparan materiales ensayados en condiciones diferentes

Material	Condición de Ensayo	
	Saturación	Drenado
Gruesos (Arenas y Gravas)	Saturado	Drenado
Finos (Arcillas y Limos)	No Saturado	No Drenado

CRÍTICA DEL ENSAYO CBR

Condiciones de laboratorio y campo diferentes

Condición	Laboratorio	Campo	Resultado
Compactación	Impacto	Amasado	Estructura diferente (Finos)
Carga	Estática	Tránsito	Respuesta mecánica diferente

CRÍTICA DEL ENSAYO CBR

No es medida directa de capacidad soporte de materiales (Porter, 1950)

Es un ensayo de corte, siendo indicador de resistencia al corte de suelos (Turnbull, 1950)

Debe considerarse como *ensayo indicativo de resistencia al corte...* principios de diseño de pavimentos están basados en prevención de *falla al corte de subrasantes* de pavimentos (Simposio de la ASCE, 1950)

Parámetro de caracterización sencillo y rápido pero que conduce a pavimentos sobredimensionados

No permite evaluación de desempeño

CBR IN SITU (ASTM D4429)



Condición de Humedad de Campo (No Saturado)

$$CBR_{\text{in situ}} > CBR_{\text{laboratorio}}$$

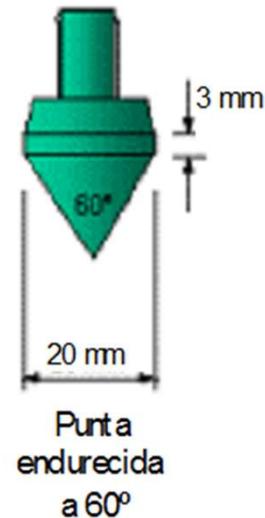
PENETRÓMETRO DE CONO DINÁMICO (DCP)

Resistencia a la penetración de cono por impacto de masa

Índice de Penetración

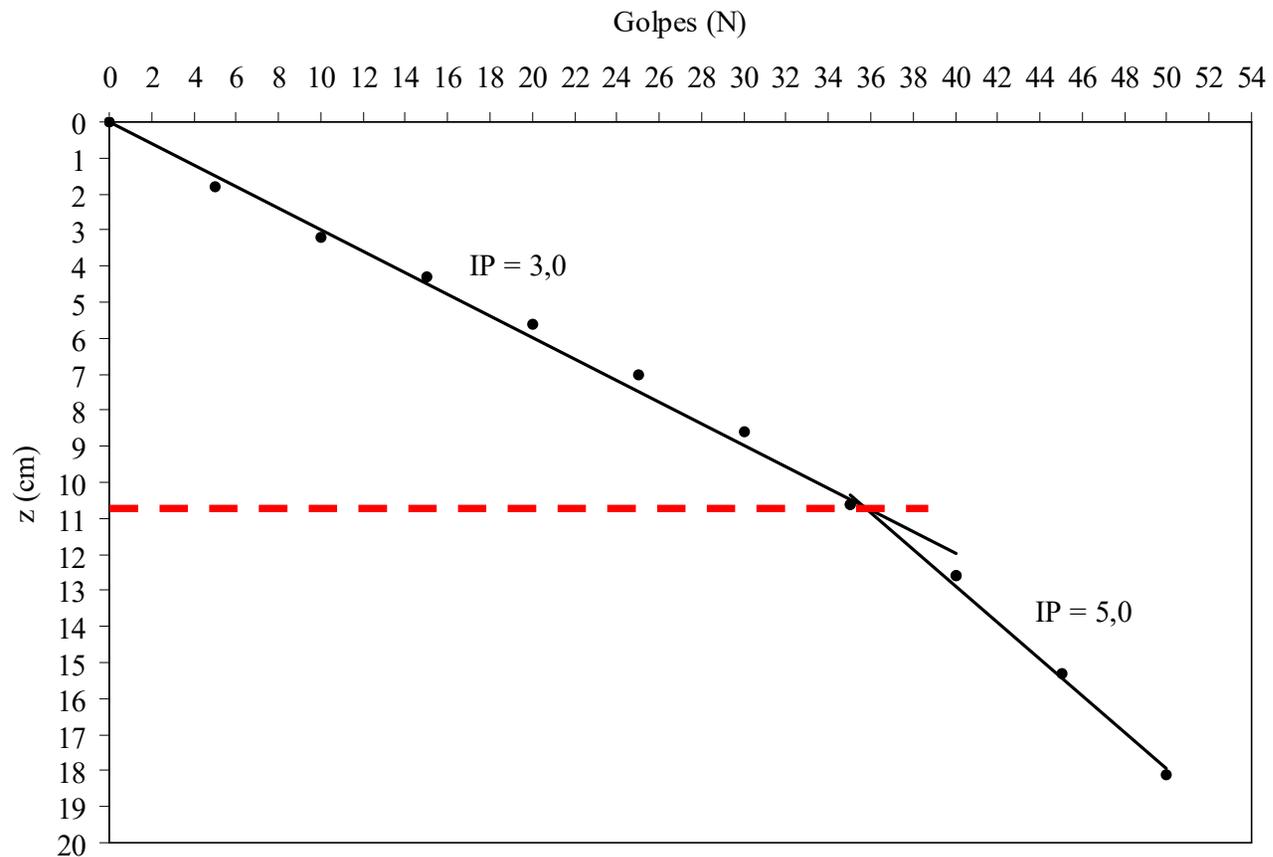
$$IP = \frac{\Delta}{N}$$

Δ : Penetración del Cono
N: Número de Golpes



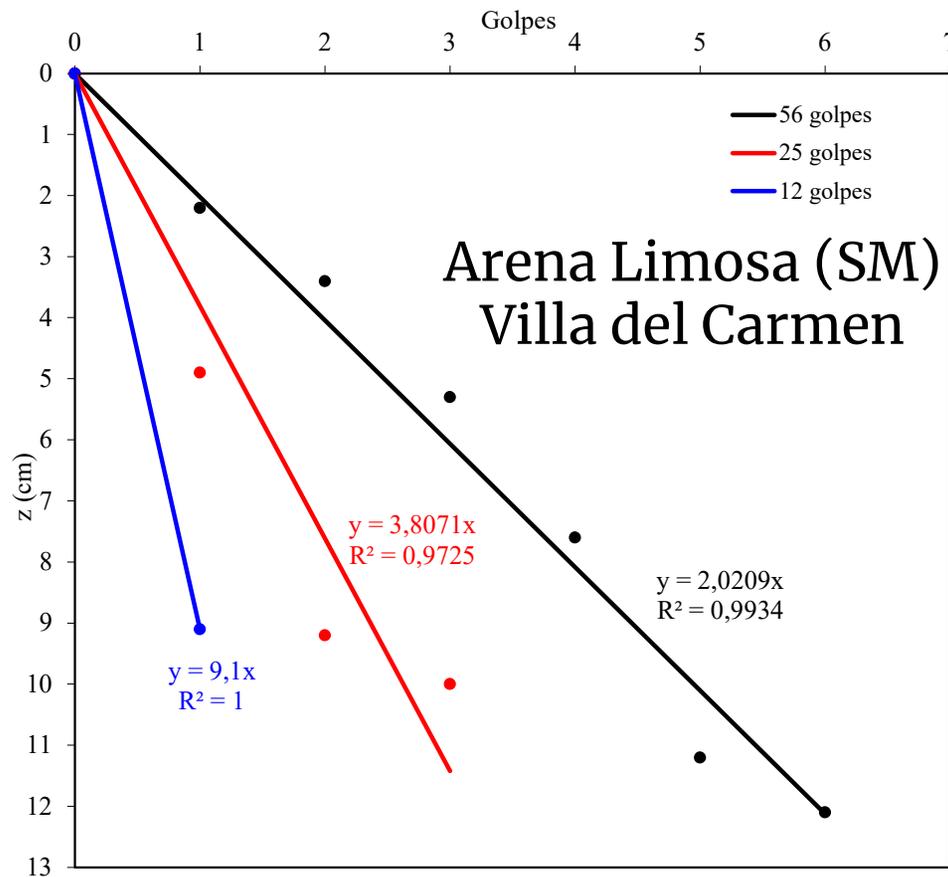
DCP

Función del Tipo de Suelo



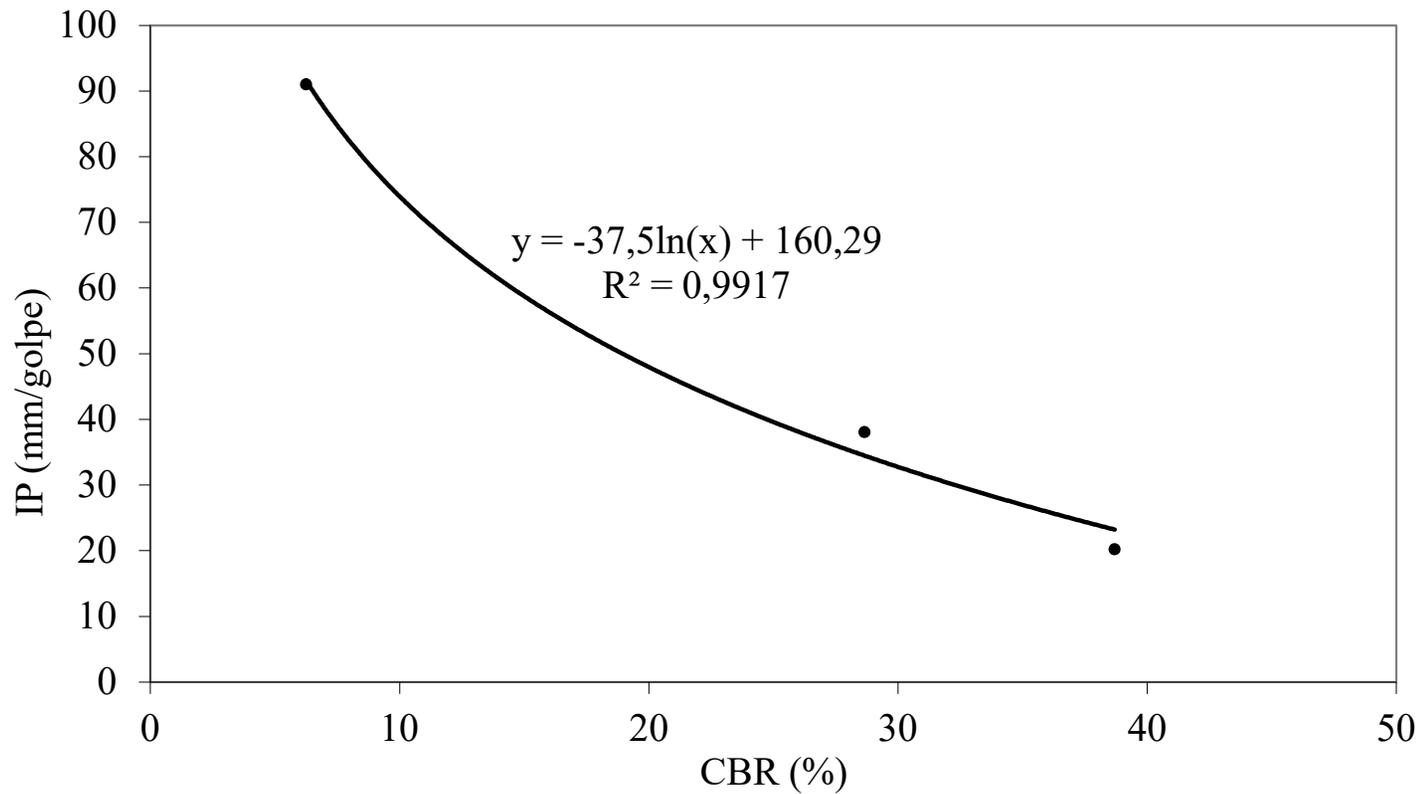
DCP

Función del PUS y Humedad



RELACIÓN DCP-CBR

Arena Limosa (SM) – Villa del Carmen



AGREGADOS

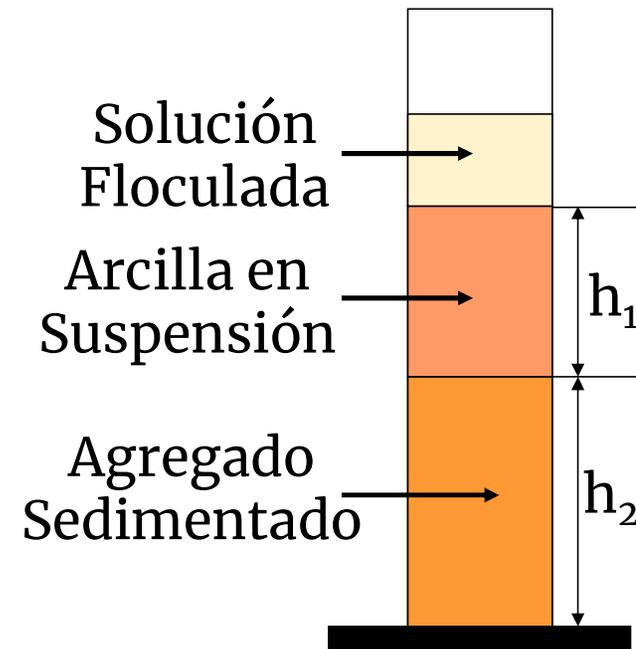
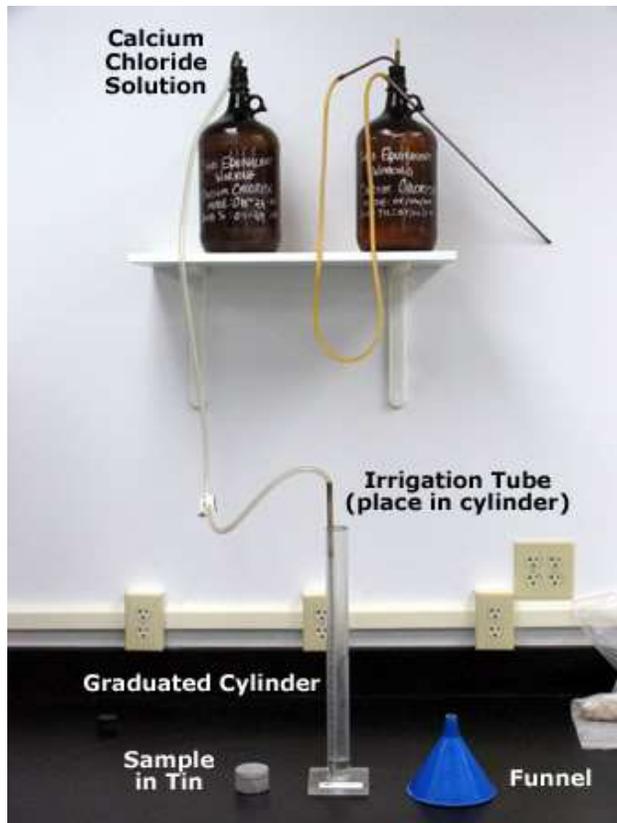
Mezcla de grava, arena, piedra partida, escoria u otros materiales minerales usada en combinación con un ligante para formar hormigones o morteros (ASTM D8)

Clasificación

Naturaleza	Tamaño	Graduación
Natural	Grueso >#10	Densa
Procesado	#200 < Medio < #10	Abierta
Artificial (Residuos)	Filler (65%<#200)	Uniforme
Reciclado	Polvo <#200	Discontinua

EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)

Medida de proporción relativa de polvo o arcilla en agregados medios



$$EA(\%) = \frac{h_2}{h_1} \quad EA > 45\%$$

DESGASTE DE LOS ÁNGELES (ASTM C131)

Resistencia a la abrasión de agregados gruesos menores de 1 1/2''



$$LA(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i}$$

m_i : Peso inicial (5000 g)

m_f : Peso final retenido en #12 (1,7 mm)

$$LA < 40\%$$

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Forma y Textura de Partículas (ASTM D3398)

Gravedad Específica (ASTM C127 y C128): Volumétrica y Aparente

Absorción (ASTM C128 y C127): Medida de porosidad

Adhesividad (ASTM D1075)

Sanidad (ASTM C88: Sulfato de Sodio; AASHTO T103:
Congelamiento y Deshielo)

MEZCLAS ASFÁLTICAS



Material conformado por agregados ligados por cemento asfáltico

Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)	Agregados y Asfalto Calentados (140-170°C)
Mezcla Asfáltica en Frío (MAF)	Agregados y Emulsiones Asfálticas a T_{ambiente}
Mezcla Asfáltica Tibia (WMA)	Agregados y Asfalto Calentados (105-135°C)

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (MAC)

Clasificadas en función de graduación de áridos

Densa	Continua y bien graduada (Concreto Asfáltico, CA)	
Abierta	Uniforme sin finos (Mezcla Asfáltica Drenante, MAD)	
Discontinua	Tamaños gruesos y mástic asfáltico (Stone Matrix Asphalt, SMA)	

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (MAC)

Mezcla	Asfalto (%)	Vacíos (%)	
Concreto	3-8	4,5-6	
Drenante	4-6	18-25	
SMA	6-7,5	4-6	

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO (MAF)

Mezcla	Asfalto (%)	Vacíos (%)	
Densa	4-6	9-15	
Abierta	4-6	22-34	

MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA(WMA)

Técnicas de Producción

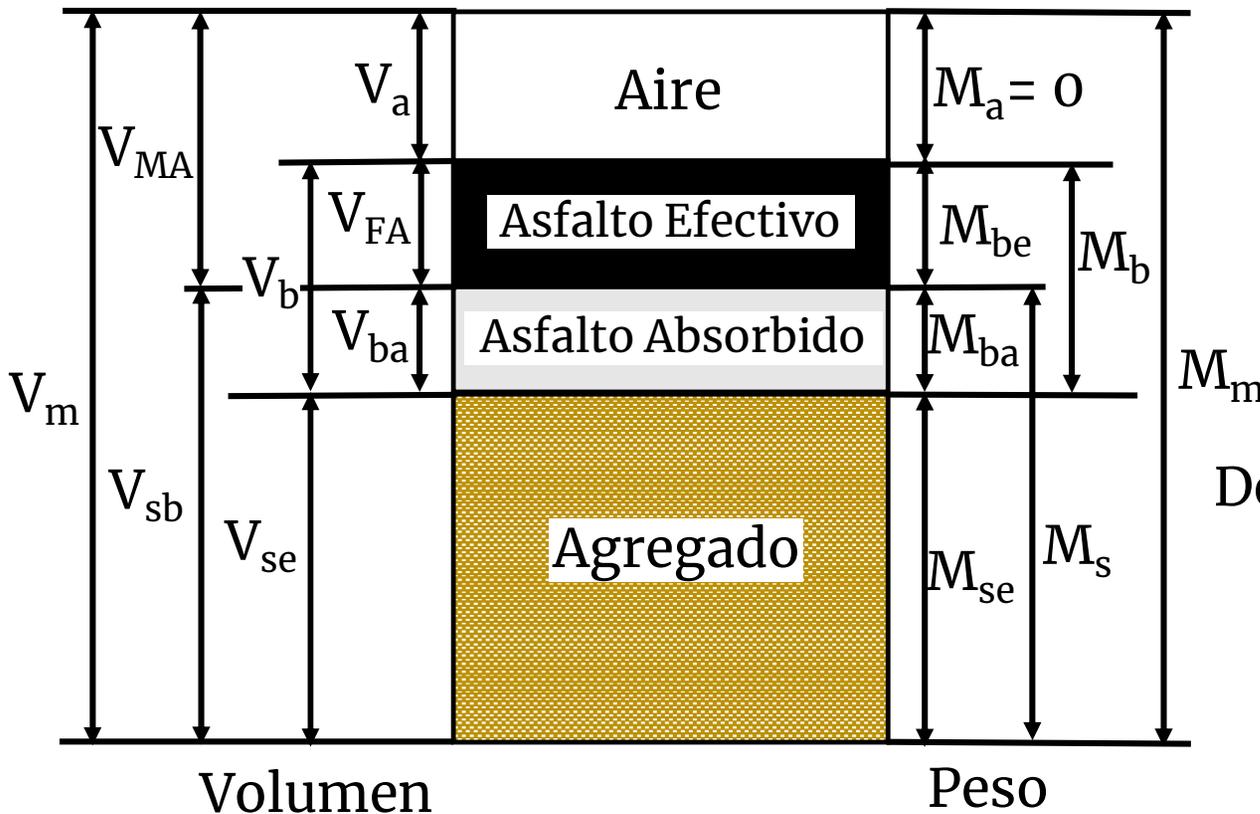
Adición de Agua (Asfalto Espumado):
Vapor de agua reduce viscosidad de asfalto

Polímeros orgánicos:
Reduce Viscosidad

Tensoactivos:
Reducen tensión interfacial asfalto-agregado

Arena Húmeda:
Agua se evapora haciendo espuma

RELACIONES FÍSICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS



Densidad Aparente (Bulk)
(AASHTO T166)

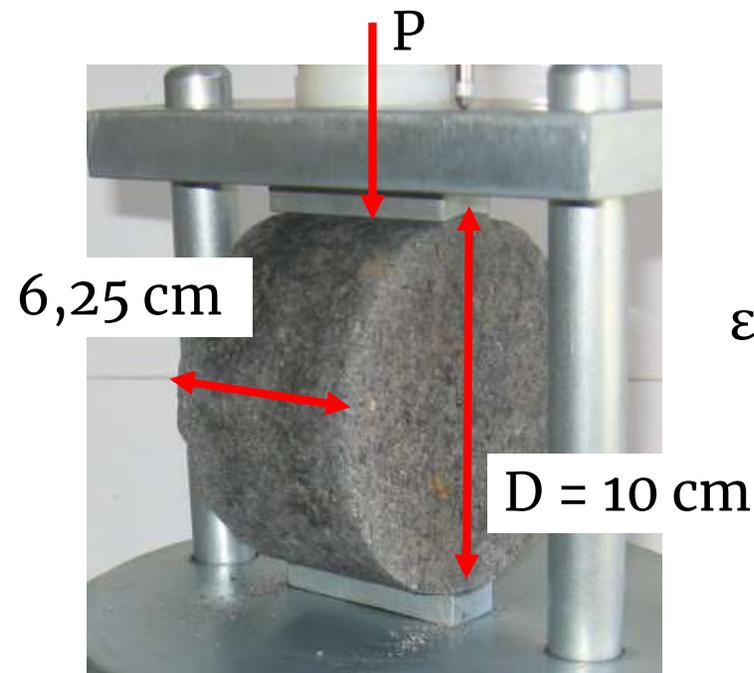
$$G_{mb} = \frac{M_m}{V_m}$$

Densidad Máxima Medida (Rice)
(AASHTO T209)

$$G_{mm} = \frac{M_{se} + M_{be}}{V_{se} + V_a + V_b}$$

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Resistencia a la Tracción Indirecta (ASTM D6931)



$$RT = \frac{2P}{\pi D}$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu \sigma_y)$$

Curado a $T_{\text{controlada}}$ (25°C) por $t_{\text{determinado}}$ (4 h)

ENSAYO MARSHALL (AASHTO T245)

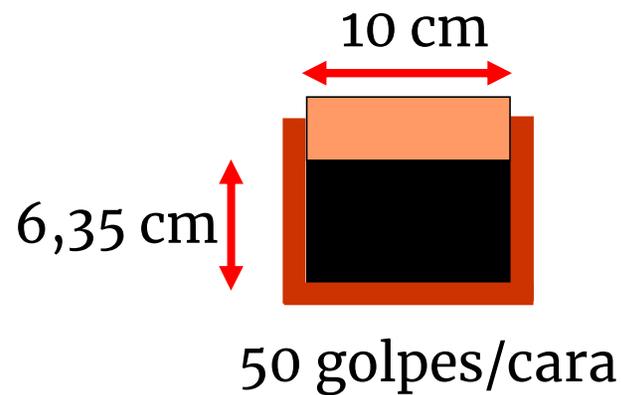
Compactación

$T_{\text{cemento asfáltico}}$ de mezclado \rightarrow Viscosidad (μ) = 170 cSt (centiStokes)

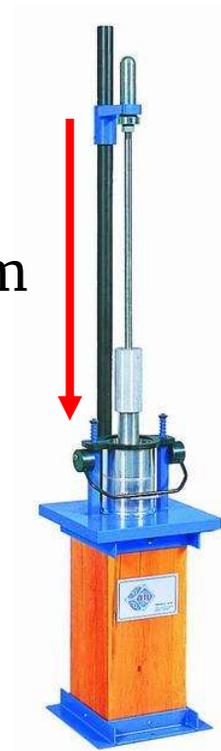
T_{ca} de compactación $\rightarrow \mu = 280$ cSt

5 contenidos de asfalto

Peso Específico
Volumen de Aire

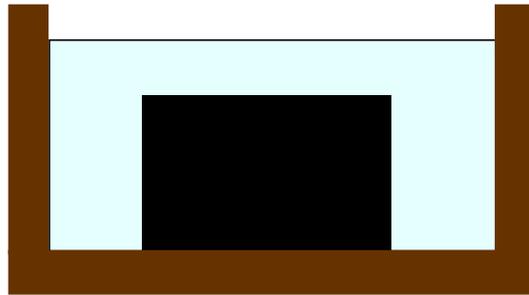


45,7 cm



ENSAYO MARSHALL

Estabilidad y Fluencia



60°C – 30-40 m

Estabilidad (kg): Máxima carga (ruptura)

Fluencia (mm): Deformación vertical a la
ruptura



ESPECIFICACIONES DE SELECCIÓN (MTOP)

Mezcla	Capa	V _{aire} (%)	Estabilidad _{min} (kg)	Fluencia (mm)	Est/Flu (kg/mm)
I	Base	3-8	---	---	---
II	Base	3-8	---	---	---
III	Base	3-8	500	Tránsito: Liviano 2-5 Mediano 2-4,5 Pesado 2-4	Tránsito: Liviano 100 Mediano 150 Pesado 200
IV	Base	3-8	500		
IV	Rodadura	3-5	550		
V	Base	3-8	500		
V	Rodadura	3-5	550		
VI	Rodadura	3-5	550		
VII	Rodadura	4-6	500		
VIII	Rodadura	4-6	450		