

Diseño Balanceado de Mezclas Asfálticas: Conceptos y Posibilidades

Dr. Ing. Fernando Oscar Martínez

*Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE)*

Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Comisión Permanente del Asfalto



Esquema de la presentación

- ✓ Introducción
- ✓ Fundamentos
- ✓ Conceptos generales
 - Metodologías, Ensayos
- ✓ Posibilidades de aplicación
- ✓ Consideraciones finales



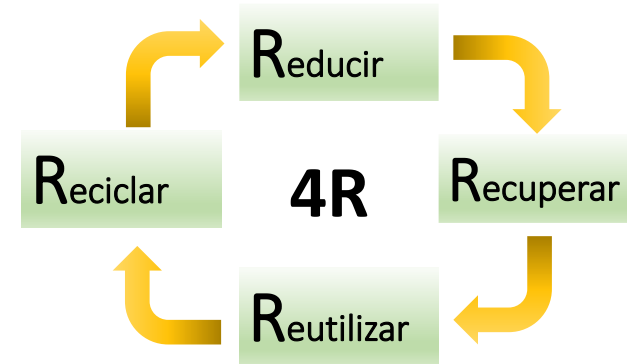
Sustentabilidad

“El desarrollo sostenible es el desafío de satisfacer las necesidades humanas de **recursos naturales**, productos industriales, energía, alimentos, **transporte**, vivienda y una **gestión eficaz de los desechos**, al mismo tiempo que se conserva y protege la calidad ambiental y la base de recursos naturales esenciales para el desarrollo futuro”.

American Society of Civil Engineers (ASCE)



Fuente: ECOLEC Fundación



Sustentabilidad en pavimentos

- ✓ Mayor durabilidad de las estructuras
- ✓ Métodos de diseño más confiables
- ✓ Menores temperaturas de elaboración y compactación (Mezclas Tibias/Templadas)
- ✓ Reutilización y reciclado
 - ✓ RAP
 - ✓ Desechos y residuos (neumáticos fuera de uso, plásticos, escorias siderúrgicas)
- ✓ Utilización de aditivos y modificadores (ligantes especiales, uso de polímeros, agentes rejuvenecedores, autoreparadores, etc.)





Situación actual

- ✓ Incremento del tránsito
- ✓ Mayores cargas transportadas
- ✓ Mayores velocidades de circulación
- ✓ Nuevas configuraciones
 - Bi-trenes
 - Quinto eje
- ✓ Neumáticos súper-anchos
- ✓ Suspensiones neumáticas



Diseño de mezclas asfálticas

1943

Marshall

- Refinamiento del Método Hubbard – Field
- Energía de compactación estándar con martillo de caída
- Inicialmente, solo se usaban huecos de aire y RBV
- En 1962, VAM, Estabilidad y fluencia

1993

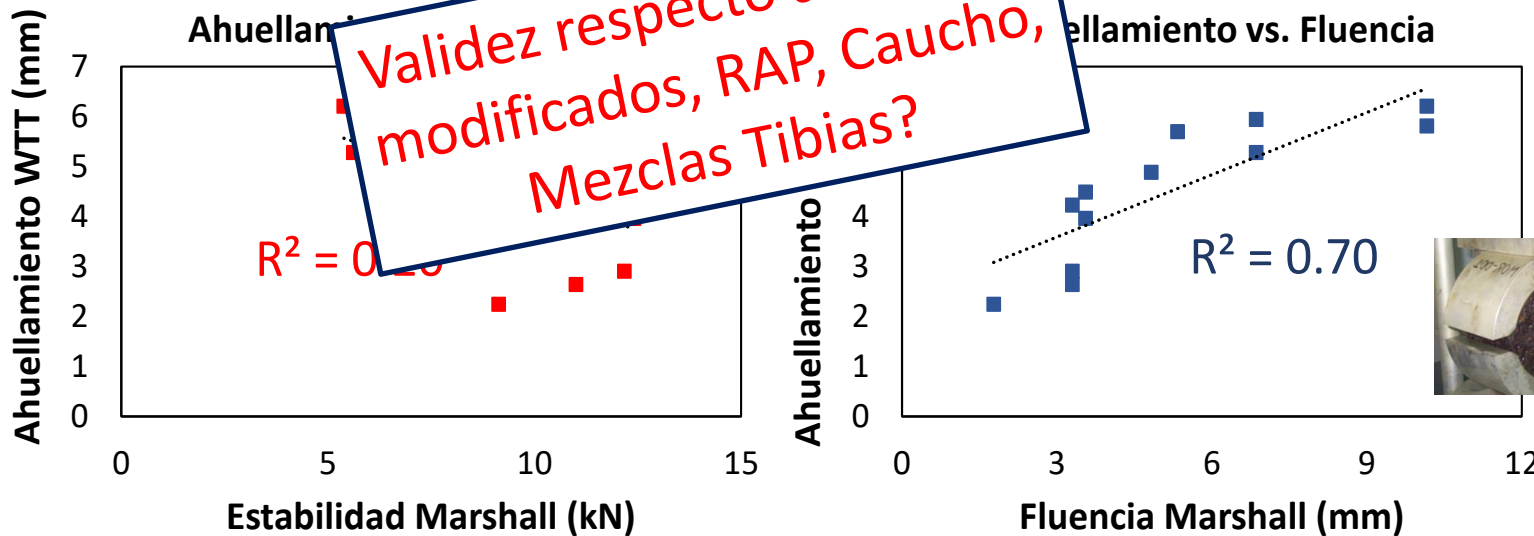
Superpave

- Nivel 1 (volumétrico)
- Nivel 2 y 3 (basado en el desempeño, nunca implementado)

Diseño de mezclas asfálticas

Marshall

- ↑ Mucha experiencia
- ↑ Equipamiento muy difundido de relativo bajo costo
- ↓ Cuestionamiento sobre la representatividad del método de compactación
- ↓ Mala correlación entre Estabilidad y Fluencia



Adaptado de
Ahmed & Attia,
IJERA, 2013

Diseño de mezclas asfálticas

Superpave



Nivel 1:

- Pavimentos de tránsito reducido.
- Requisitos de diseño de la mezcla: principalmente, propiedades volumétricas tradicionales + Durabilidad

Nivel 2:

- Pavimentos de tráfico moderado.
- Requisitos de diseño de la mezcla: volumétrico + conjunto limitado de ensayos de desempeño

Nivel 3:

- Pavimentos de tráfico pesado.
- Requisitos de diseño de la mezcla: volumétrico + conjunto ampliado de ensayos de desempeño “avanzados”.

Nunca implementados
Ensayos complejos y poco prácticos

Método Superpave (Nivel 1)

SHRP 1987-1993

Standard Specification for

Superpave Volumetric Mix Design

AASHTO Designation: M 323-13

Table 6—Superpave HMA Design Requirements

Design ESALs, ^a million	Required Relative Density Percent of Theoretical Maximum Specific Gravity			Voids in the Mineral Aggregate (VMA), % Minimum						Voids Filled with Asphalt (VFA) Range, %	Dust-to- Binder Ratio Range ^c
	<i>N</i> _{initial}	<i>N</i> _{design}	<i>N</i> _{max}	Nominal Maximum Aggregate Size, mm							
				37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75		
<0.3	≤91.5	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	70–80 ^{d,e}	0.6–1.2
0.3 to <3	≤90.5	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–78 ^f	0.6–1.2
3 to <10	≤89.0	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–75 ^{e,f,g}	0.6–1.2
10 to <30	≤89.0	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–75 ^{e,f,g}	0.6–1.2
>30	≤89.0	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–75 ^e	0.6–1.2

Densidad relativa (vacíos)

VAM

RBV

RFB

Tránsito

The HMA design, when compacted according to T 312 at 7.0 ± 0.5 percent air voids and tested in accordance with T 283, shall have a minimum tensile strength ratio of 0.80.

Durabilidad

Fundamentos de un Diseño Balanceado de Mezclas

- ❖ En EE.UU, preocupación a nivel nacional por la poca durabilidad a temprana edad por problemas de desempeño de las mezclas asfálticas

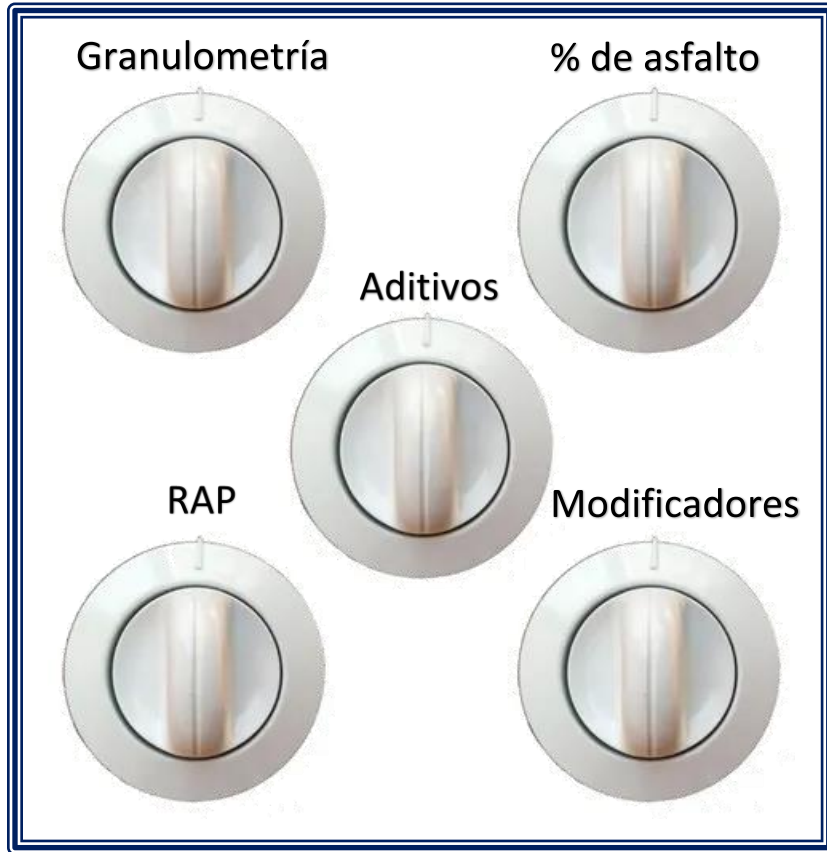
Mezclas “ricas” de asfalto → Ahuellamiento

Mezclas “secas” de asfalto → Fisuración

- ❖ Muchos estados iniciaron el uso de “Ensayos de Desempeño” durante el diseño y/o producción de la mezcla para ayudar a garantizar mayor durabilidad
- ❖ Se ha hecho referencia a este proceso como el enfoque del **Diseño Balanceado de Mezclas**

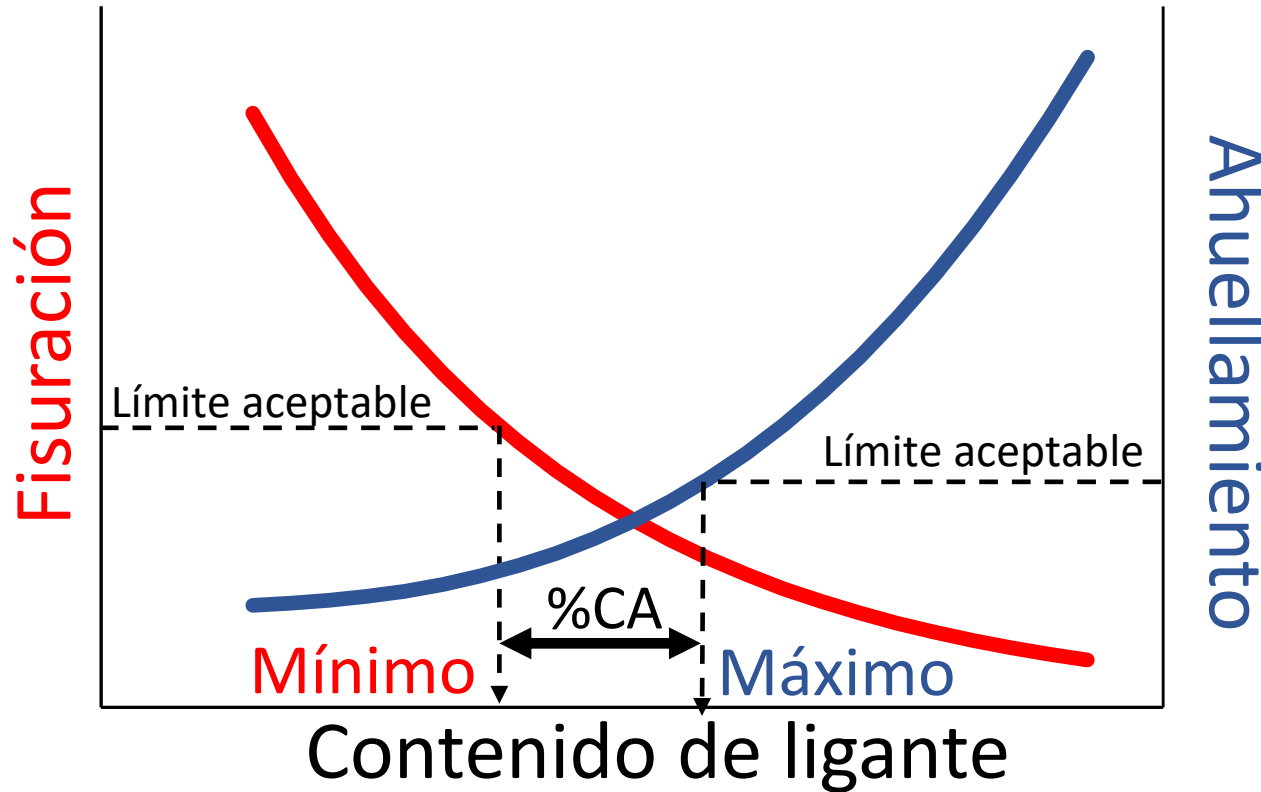


Variables en el diseño de mezclas



- Distintas variables
- Optimización

Fisuración vs. Ahuellamiento

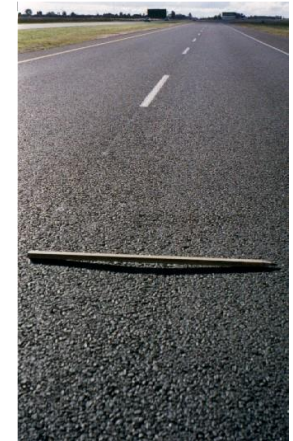


Diseño Balanceado de Mezclas

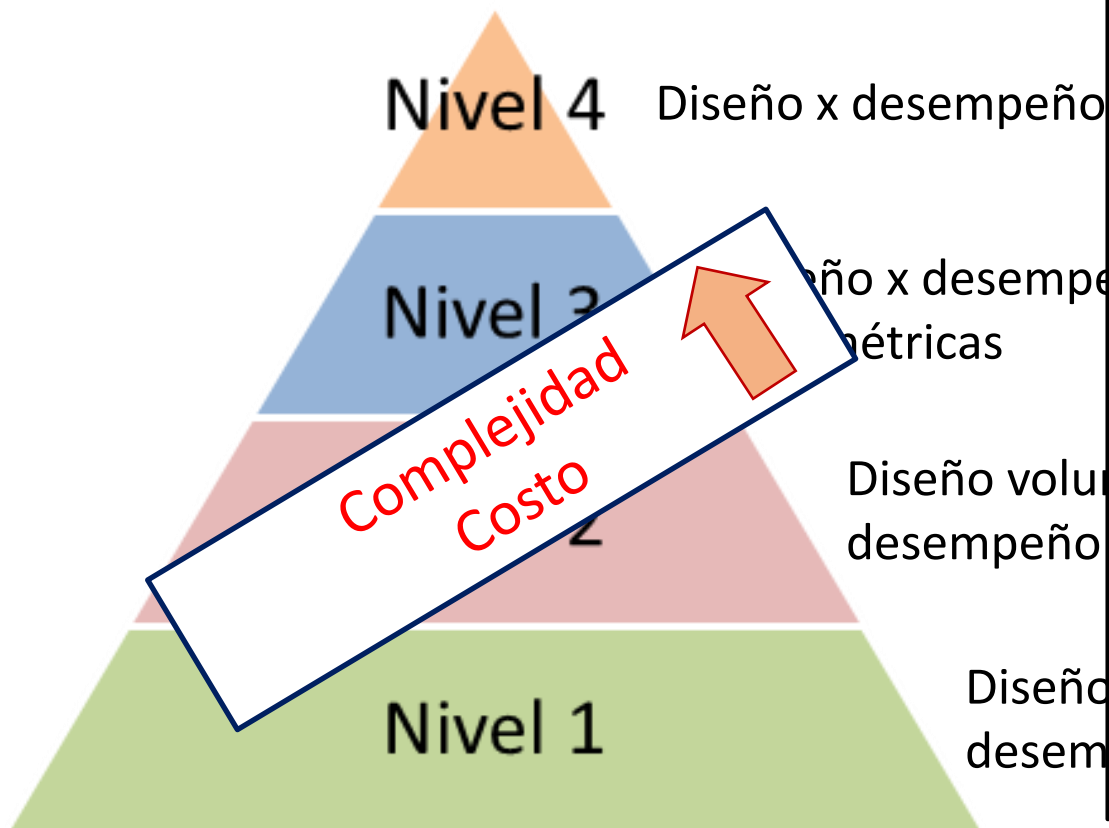
Definición

“Balanced Mix Design (BMD)”

- ✓ Diseño de mezclas asfálticas utilizando ensayos de desempeño con probetas debidamente acondicionadas que consideren distintos modos de deterioro teniendo en cuenta el envejecimiento de la mezcla, el tránsito, el clima y la posición dentro de la estructura del pavimento.
- ✓ Básicamente, consiste en diseñar una mezcla asfáltica para una aplicación prevista y un requisito de servicio.



Enfoques posibles del DBM



Standard Practice for Balanced Design of Asphalt Mixtures

AASHTO Designation: PP 105-20¹

Technical Subcommittee: 2d, Proportioning of Asphalt-Aggregate Mixtures

Release: Group 3 (July)

AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials
555 12th Street NW, Suite 1000
Washington, DC 20004

Diseño volumétrico + verificación desempeño

- Granulometría + % óptimo de asfalto según requerimientos volumétricos (propiedades volumétricas AASHTO M323)
- Ensayos de fisuración y ahuellamiento en el % óptimo
- Verifique daño por humedad

Diseño final

Nivel 1

Diseño volumétrico + optimización x desempeño

- Granulometría + % óptimo de asfalto según requerimientos volumétrico
- Ensayos de fisuración y ahuellamiento en el % óptimo \pm X%
- Seleccione un % “conveniente”
- Verifique daño por humedad

Diseño final

Nivel 2

Diseño x desempeño + propiedades volumétricas

- Granulometría + % de asfalto estimado inicial (%CA)
- Ensayos de fisuración y ahuellamiento para %CA
- Verifique daño por humedad para %CA
- Verifique requerimientos volumétricos (relajados)

Diseño final

Nivel 3

Diseño x desempeño

- Granulometría y tipo de ligante
- Ensayos de fisuración y ahuellamiento para 3 o más % de asfalto
- Seleccione un % óptimo de asfalto
- Verifique daño por humedad para % óptimo

Diseño final

Nivel 4

La filosofía francesa: Niveles de jerarquía

Fundamentales

Nivel 4: Resistencia a la fatiga

Nivel 3: Módulo Complejo E*

Nivel 2: Resistencia al ahuellamiento

Nivel 1: Prensa de Cizallamiento
Giratorio - Ensayo compresión Duriez

Empíricos



Adaptado de "La formulación francesa de
mezclas asfálticas" de
Y. BROSSEAUD - IFSTTAR

Ensayos de desempeño

Ahuellamiento



Analizador de
Pavimentos Asfálticos
(APA)



Número de Flujo
(Flow Number FN)



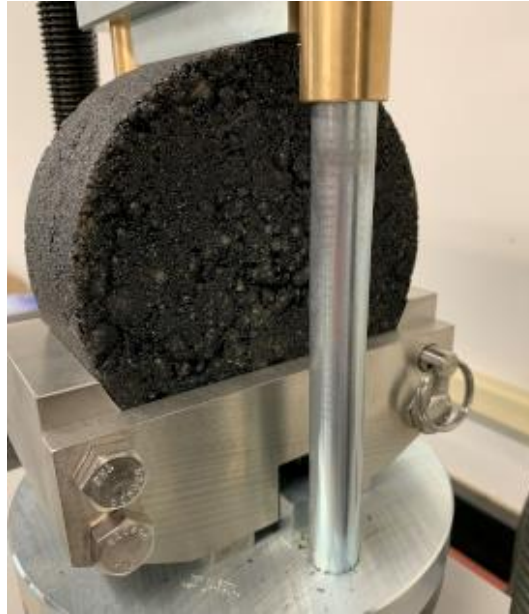
Ensayo de Rueda de
Hamburgo

Ensayos de desempeño

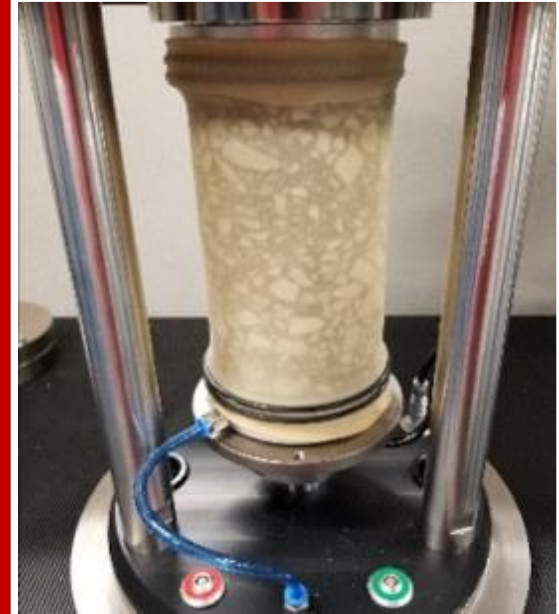
Ahuellamiento



Tensión Indirecta a alta
temperatura (IT-HT)



Ensayo rápido de corte
(IDEAL-RT)



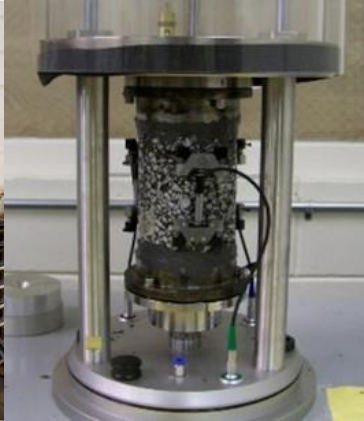
Ahuellamiento x
barrido de tensiones
(SSR)

Ensayos de desempeño

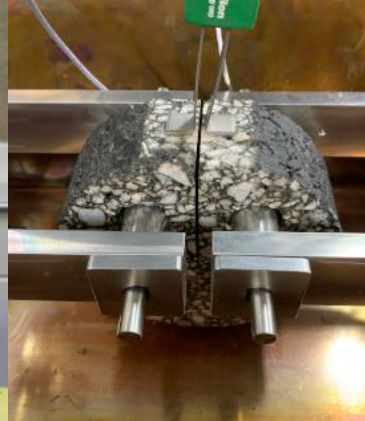
Fisuración



Ensayo
Cántabro



Fatiga cíclica
en tensión



Disco en
tracción



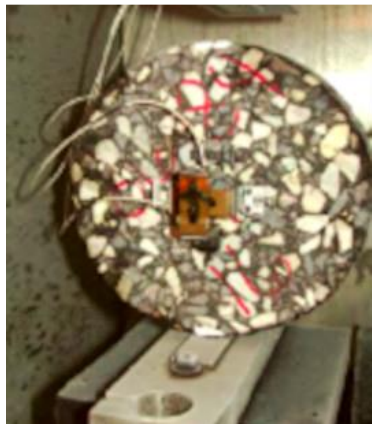
Viga de fatiga
en 4 puntos



Overlay Tester

Ensayos de desempeño

Fisuración



TI a baja
temperatura



Indice de
Illinois (I-FIT)



Tensión Ind.
(IDEAL-CT)



Factor NFLEX



Flexión
semicircular

Ensayos de desempeño

Daño x humedad



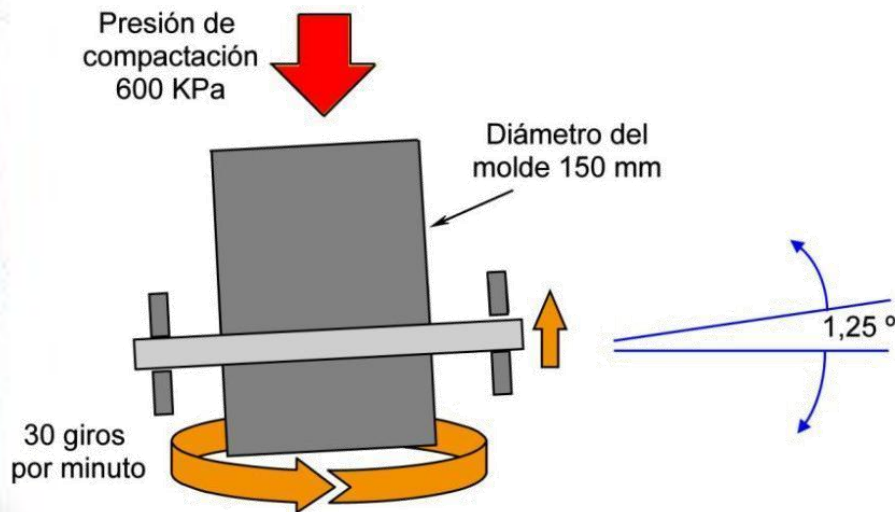
Rueda de Hamburgo



Indice de Resistencia
Conservada

Obtención de probetas representativas

Compactador Giratorio Superpave

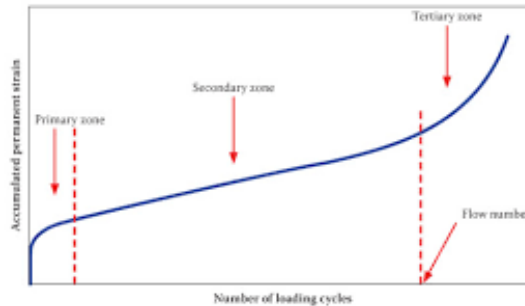
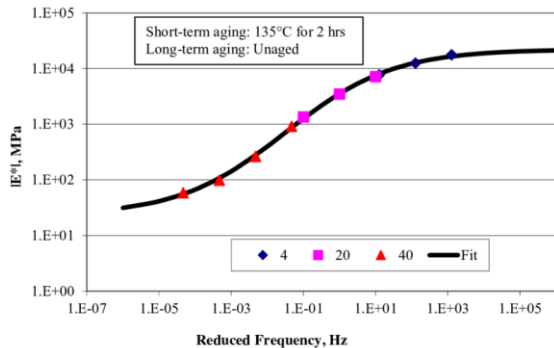


Ensayo Simple de Desempeño

Simple Performance Test

- Proyecto entre 1996 y 2002
- Ensayos fundamentales de desempeño que complementan el diseño volumétrico
- Triaxial dinámico con temperatura controlada
- Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)
- Máquina especial para valorar
 - Rigidez de MA ($|E^*|$)
 - Resistencia al ahuellamiento (F_n)

Witczak et al.
NCHRP REPORT 465, 2002



Posibilidades del DBM

En Argentina



Metodología
Marshall



Evaluación de la
Resistencia al
Ahuellamiento



Evaluación de la
Sensibilidad
al agua

Posibilidades del DBM

En Argentina

Tabla N°12 – REQUISITOS DE DOSIFICACIÓN

Parámetro		Exigencia		
Ensayo Marshall (IRAM 8845)	N° golpes por cara (1)	75		
	Estabilidad	> 10 kN		
	Relación Estabilidad-Fluencia (2)	2,5 - 4,5 kN/mm		
	Vacios en la mezcla (3)	3 - 5 %.		
	Vacíos del agregado mineral (VAM) (3)	Tamaño máximo nominal del agregado pétreo		VAM
		TMN 19 mm	≥ 14 %	
TMN 12 mm		≥ 15 %		
Relación Betún-Vacios (RBV)	Tipo de capa		RBV (%)	
			Clasificación por tránsito	
		T1	T2	T3
Rodamiento	65 - 75	65 - 75	65 - 78	65 - 78
Base	68 - 78	68 - 78	70 - 80	70 - 80

VIALIDAD NACIONAL

PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONCRETOS ASFÁLTICOS EN CALIENTE Y SEMICALIENTE DEL TIPO DENSOS.

Posibilidades del DBM

En Argentina

Resistencia conservada mediante el ensayo Lottman modificado (ASTM D 4867 o AASHTO T 283)	> 80 %
Evaluación de la resistencia al ahuellamiento "Wheel Tracking Test" (Norma UNE-EN 12697-22 – Procedimiento B) (*)	Requisitos establecidos en la <i>Tabla N°13</i> .
Contenido mínimo de Carburada, en peso sobre total del esqueleto granular	1 %.

Tabla N°13 - EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO "Wheel Tracking Test" (Norma ENE-EN 12697-22 – Procedimiento B)

Pendiente Media de Deformación (WTS AIRE) [mm/1000 ciclos de carga] en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos y Profundidad Media de la Huella (PRD) [%]				
Tipo de capa	Clasificación por tránsito			
	T1	T2	T3	T4
Rodamiento	WTS aire ≤ 0,08 PRD ≤ 5%	WTS aire ≤ 0,10 PRD ≤ 8%	WTS aire ≤ 0,12 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 10%
Base	WTS aire ≤ 0,10 PRD ≤ 8%	WTS aire ≤ 0,12 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 12%

VIALIDAD NACIONAL

PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONCRETOS ASFÁLTICOS EN CALIENTE Y SEMICALIENTE DEL TIPO DENSOS.

Posibilidades del DBM

En Argentina

- La Dirección Nacional de Vialidad incorporó equipos para ensayos de desempeño
- Otros laboratorios públicos y privados



Posibilidades del DBM

- ✓ Determina el potencial de fisuración de mezclas asfálticas con un parámetro basado en la mecánica de la fractura: Índice de Tolerancia al Agrietamiento

CT-Index

- ✓ Las probetas de mezcla asfáltica tienen 150 mm de diámetro y 62 mm de altura, con un $7,0 \pm 0,5$ % de vacíos
- ✓ Sin entalladuras
- ✓ Temperatura ambiente (25 °C)
- ✓ Velocidad 50 mm / minuto

Ideal – CT
Tracción Indirecta
(ASTM D8225)

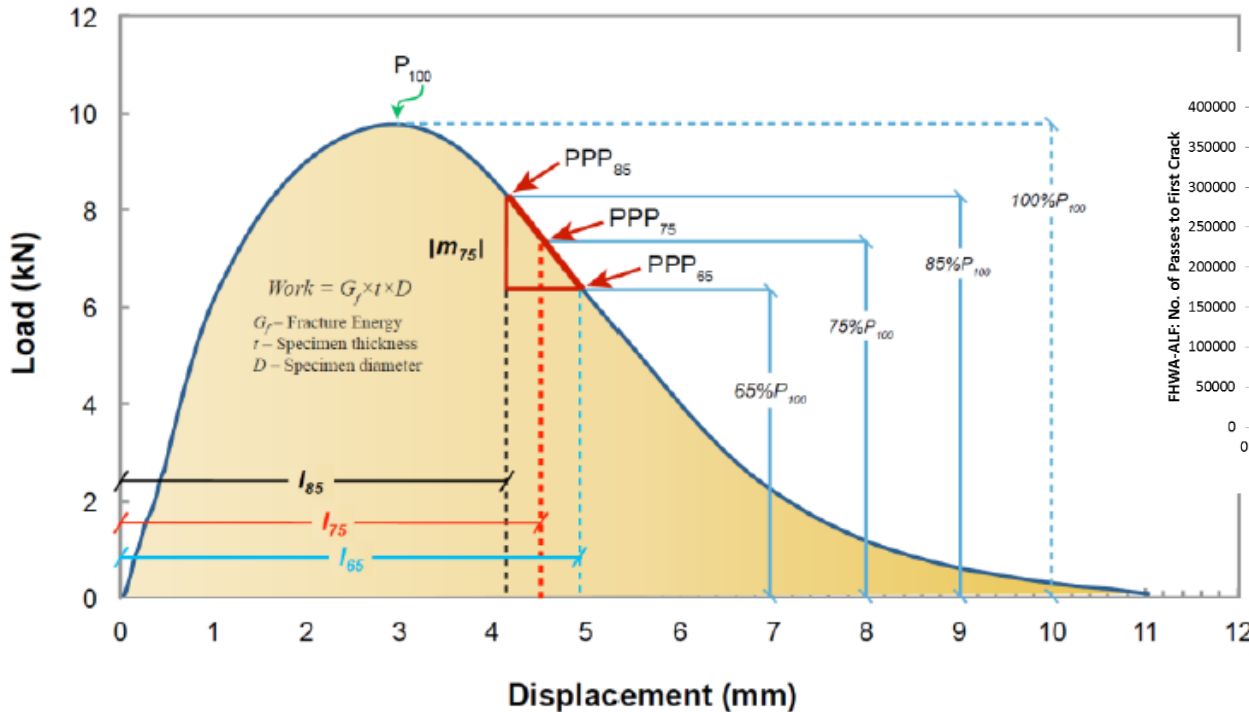


Zhou and Co-workers
Texas A&M Transportation Institute

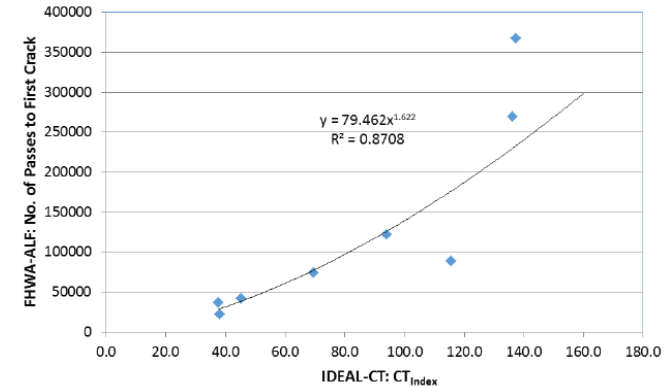
Posibilidades del DBM

Development of an IDEAL cracking test for asphalt mix design and QC/QA,
F. Zhou et al., Road Materials and Pavement Design, Volume 18, 2017

Ideal – CT
Tracción Indirecta
(ASTM D8225)



Correlation between IDEAL-CT and FHWA-ALF

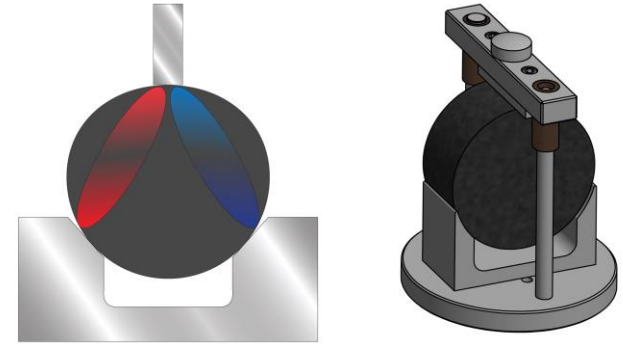


Posibilidades del DBM

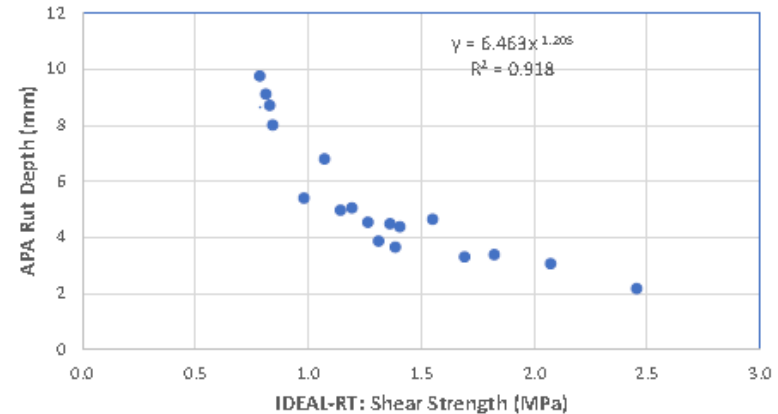
- ✓ Ensayo de corte rápido
- ✓ Utiliza el cabezal superior de tracción indirecta y un soporte inferior que induce tensiones de corte
- ✓ Probetas de 150 mm de diámetro y 62 mm de altura
- ✓ Temperatura de 50°C
- ✓ Velocidad de 50 mm / minuto
- ✓ CR Index = Resistencia al corte calculada a partir de P_{máx}
- ✓ Cuanto mayor sea el valor de CR Index, mejor será la resistencia al ahuellamiento

Zhou et al.
Texas A&M Transportation Institute

Ideal – RT



APA@64°C vs. IDEAL-RT@50°C



Posibilidades del DBM

- ✓ Ensayo de Tracción indirecta (RTI)
- ✓ Probetas de 150 mm de diámetro y 115 mm de altura
- ✓ Temperatura alta del pavimento -10°C (50°C)
- ✓ Velocidad de 50 mm / minuto
- ✓ Cuanto mayor sea el valor de RTI, mejor será la resistencia al ahuellamiento

Resistencia al ahuellamiento

440 kPa	< RTI		: Excelente
320 kPa	< RTI <	440 kPa	: Buena
200 kPa	< RTI <	320 kPa	: Moderada
	RTI <	200 kPa	: Mala

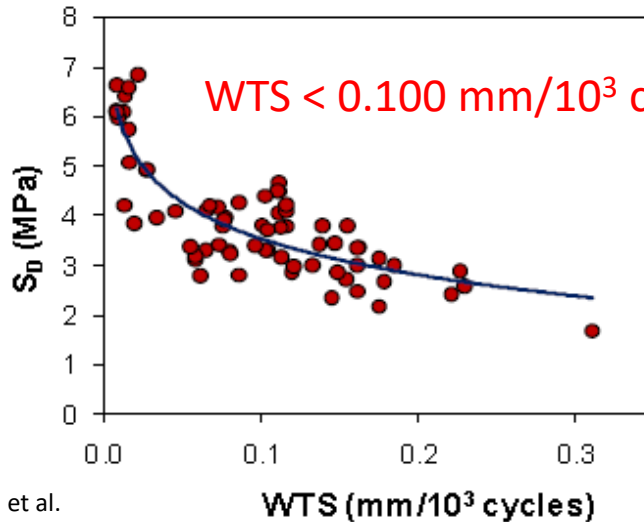
Christensen et al.
TRB Circular E-C068

Tensión Indirecta a Alta Temperatura



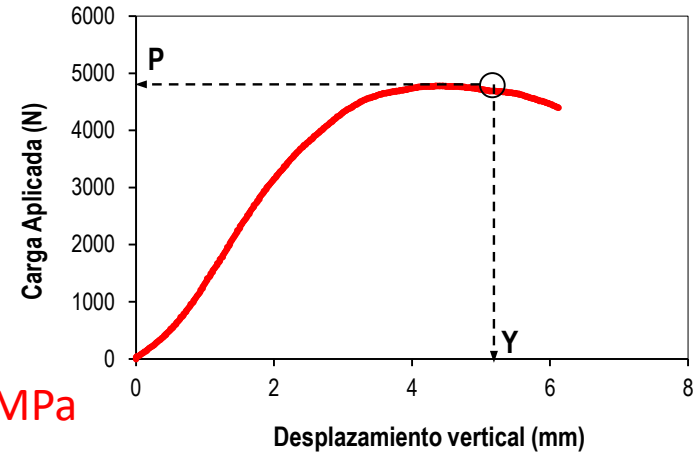
Posibilidades del DBM

- ✓ Resistencia a la deformación, SD
- ✓ Prensa convencional Marshall
- ✓ Temperatura 60 °C
- ✓ Velocidad de carga, 50.8 mm/min
- ✓ Aplicable al Control de Calidad



Angelone et al.
CAVyT, 2014

Ensayo de Punzonado



Diseño vs. Control de Calidad lograda (CC/AC)



Diseño de la mezcla

Prop. volumétricas

Prop. mecánicas

Desempeño:

Fatiga - Ahuellamiento

Daño por humedad



Control de Calidad (CC)

Espesor

Granulometría

Contenido de asfalto

Densidad / Vacíos



Consideraciones finales

- ✓ Diseño Balanceado de Mezclas como interesante marco conceptual
- ✓ Necesidad y avance gradual en la dirección adecuada para limitar el riesgo de problemas de desempeño de las mezclas asfálticas.
- ✓ Continuación y fortalecimiento de los esfuerzos de investigación y modelos teóricos, teniendo en cuenta enfoques prácticos comprobados para encontrar soluciones efectivas e implementables.
- ✓ Adaptación a condiciones y posibilidades locales basadas en experiencias conseguidas



Diseño Balanceado de Mezclas Asfálticas: Conceptos y Posibilidades

Dr. Ing. Fernando Oscar Martínez

Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura

*Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras
(IMAE)*

Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Muchas
gracias



fermar@fceia.unr.edu.ar

Instagram: [fermar1957](#)

