

**Modulo 1B**  
**Guías Prácticas para la Colocación y**  
**Compactación Pavimentos Asfálticos**

---

**Benjamín Colucci, PhD, PE, PTOE**

[bcolucci@uprm.edu](mailto:bcolucci@uprm.edu)

Mayagüez, Puerto Rico

9 y 16 de abril de 2008

# Introducción

---

- *“A pesar de los grandes avances realizados en la tecnología de asfalto, la **compactación adecuada** del material asfáltico en el campo a menudo es un problema para la mayoría de los contratistas en carreteras”*

Idris Mirza – Ankara, Turkey

Asphalt Paving Technology 1993

# Introducción

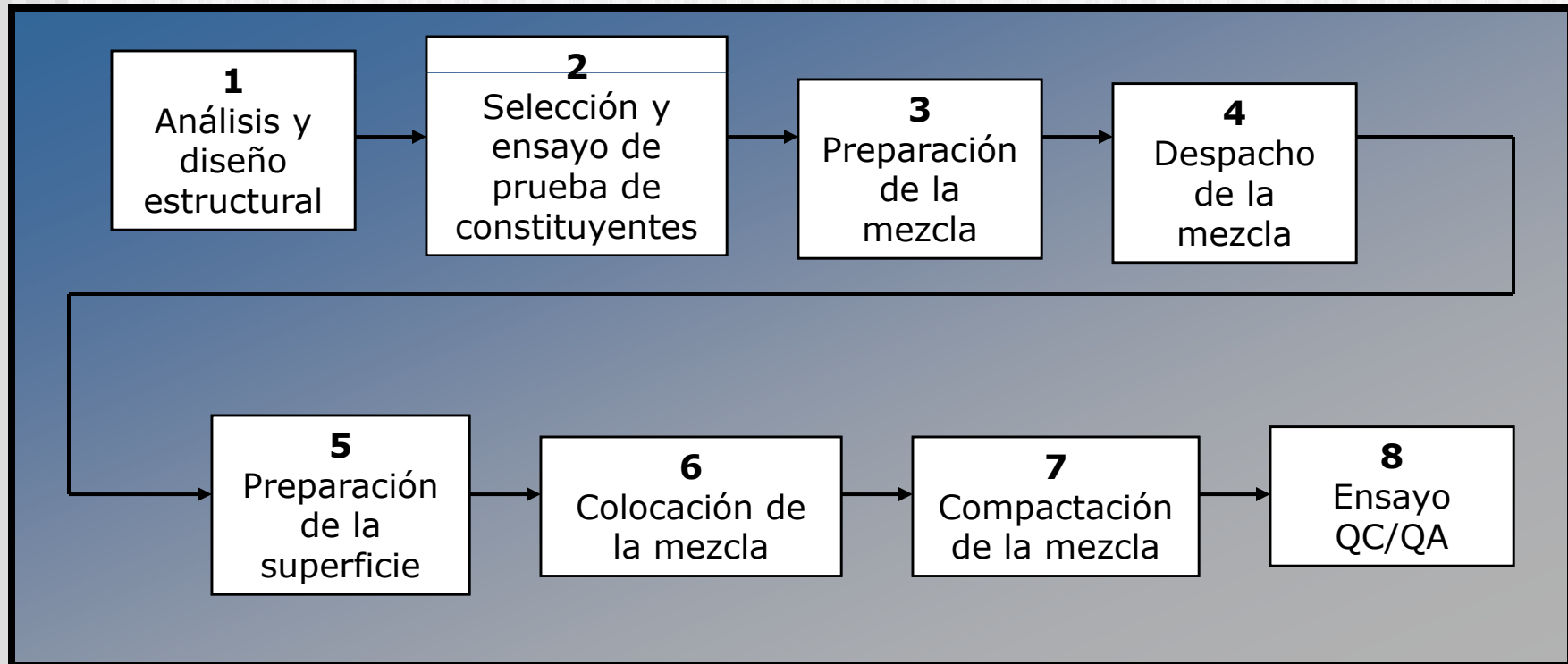
---

## **Aspectos críticos** asociados a la construcción de pavimentos asfálticos

1. Preparación de la superficie
2. Colocación
3. Compactación (densidad)
4. Temperatura (varias)
5. Equipos utilizados en los diferentes procesos
6. Especificaciones
7. Seguridad

# Ocho (8) pasos fundamentales asociados al proceso de diseño, preparación, colocación, compactación y control de calidad de mezclas asfálticas

## ROL DEL INSPECTOR



# Abreviaturas y Definiciones

---

- ASTM – American Society for Testing and Materials (ASTM D 6433-99)
- AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO T 193)
- AC – Asphalt Cement
- HMA – Hot Mix Asphalt
- PG – Performance Grade

# Abreviaturas y Definiciones

---

- ACT – Autoridad de Carreteras y Transportación
- DTOP → DTPW –Department of Transportation and Public Works
- **ESAL<sub>18</sub> – Equivalent Single Axle Load of 18,000 lbs**
- MUTCD-Manual on Uniform of Traffic Control Devices
- TTC - Temporary Traffic Control (**Parte 6 del MUTCD**)

# Secuencia del Taller

---

## 1. Actividades Principales

- Preparación de la Superficie
- Proceso de Colocación
- Proceso de Compactación de Mezclas Asfálticas Calientes

## 2. Relación a las Especificaciones Principales de la ACT

- Esp - 401, Hot Mix-Plant Bituminous Pavements
- **Esp = 410 Pavement Smoothness**
- Special Provision 959- SuperPave

## 3. Aspectos de Seguridad

- Esp. 638-Maintenance and Protection of Traffic (MPT)

# 1. Actividades Principales

---

A. Preparación de Superficie

B. Proceso de Colocación

C. Proceso de Compactación



# Entrega de la Mezcla al Proyecto: Camión 4E



# Propiedades de la Mezcla Asfáltica Caliente

---

- Temperatura de mezclado y compactación (Especificación 401-Hot Plant Mix Bituminous Pavements→HMA)
- Tipo de Agregados (Espec 703)
  - Graduación (densa, abierta)
- Tipo de Asfalto (Espec 702 vs. AASHTO MP-1)
  - AC 20, AC 30, AC 40 (Spec 702)
  - PG 64-22, PG 70-16, PG 70-22 (AASHTO MP-1)
  - Viscosidad vs. penetración vs. performance grade
- Razón de polvillo a asfalto:  $p_{200}/AC \rightarrow \max 1.2$
- P200 Equivale a una apertura del tamiz de 0.0029" o 0.074mm

# Ejercicio # 1

---

- Dado:
- $-p_{200} = 6\%$
- $\%AC = 5\%$
- Requerido:
- Dust/AC ratio
- Solución
- $\text{Dust/AC ratio} = 6/5 = 1.2$

# Ejercicio #2

---

- Dado:
- $-p_{200} = 10\%$
- $\%AC = 5\%$
- Requerido:
- Dust/AC ratio
- Solución
- $\text{Dust/AC ratio} = 10/5 = 2$  (Tender Mix; Potencial para problema de "RUTTING" Ahuellamiento) Falla funcional

# Conversión de Temperatura para Asfaltos Designados PG (De °C a °F)

---

**PG=Performance Grade**

**PG 70-22** → PG [Alta Temp. – Baja Temp.]

Fórmula: °F = 1.8°C + 32

Altas temperatura

$$= 1.8 (64) + 32 = 147.2 \text{ °F}$$

$$= \mathbf{1.8 (70) + 32 = 158 \text{ °F}}$$

Bajas temperatura

$$= 1.8 (16) + 32 = 60.8 \text{ °F}$$

$$= \mathbf{1.8 (22) + 32 = 71.6 \text{ °F}}$$

# Performance Grade (PG): Experiencia de Texas

---

- PG 64-22

- Tráfico liviano → menor de 3 millones de ESAL<sub>18</sub>

- PG 70-22 y PG 76-22

- Tráfico pesado → mayor de 3 millones de ESAL<sub>18</sub>

- PG 76-22:

- Tráfico bien pesado y lento → mayor de 10 millones de ESAL<sub>18</sub>

# Características del Cemento Asfáltico

---

- Termoplástico (viscoelástico)
  - Semi-sólido: 70-80 °F
  - Fluído: 250-300 °F
- Actúa como un lubricante durante el proceso de compactación (255° – 275° F)
- Actúa como agente cementante ("binder") a 185 °F

# Consideraciones del Asfalto

---

- Grado de viscosidad – AC20, AC30
- Especificaciones de penetración
- SHRP –Performance Grade (PG 64 - 22)



## Temperaturas asociados al proceso

---

1. Almacenamiento
2. Producción
3. Colocación
4. Compactación
5. Recibo de la mezcla en el proyecto
6. Abrir la carretera al tráfico vehicular

---

# **Camiones Para Acarreo De Mezcla Asfáltica**

# Camión de Tumba 3E



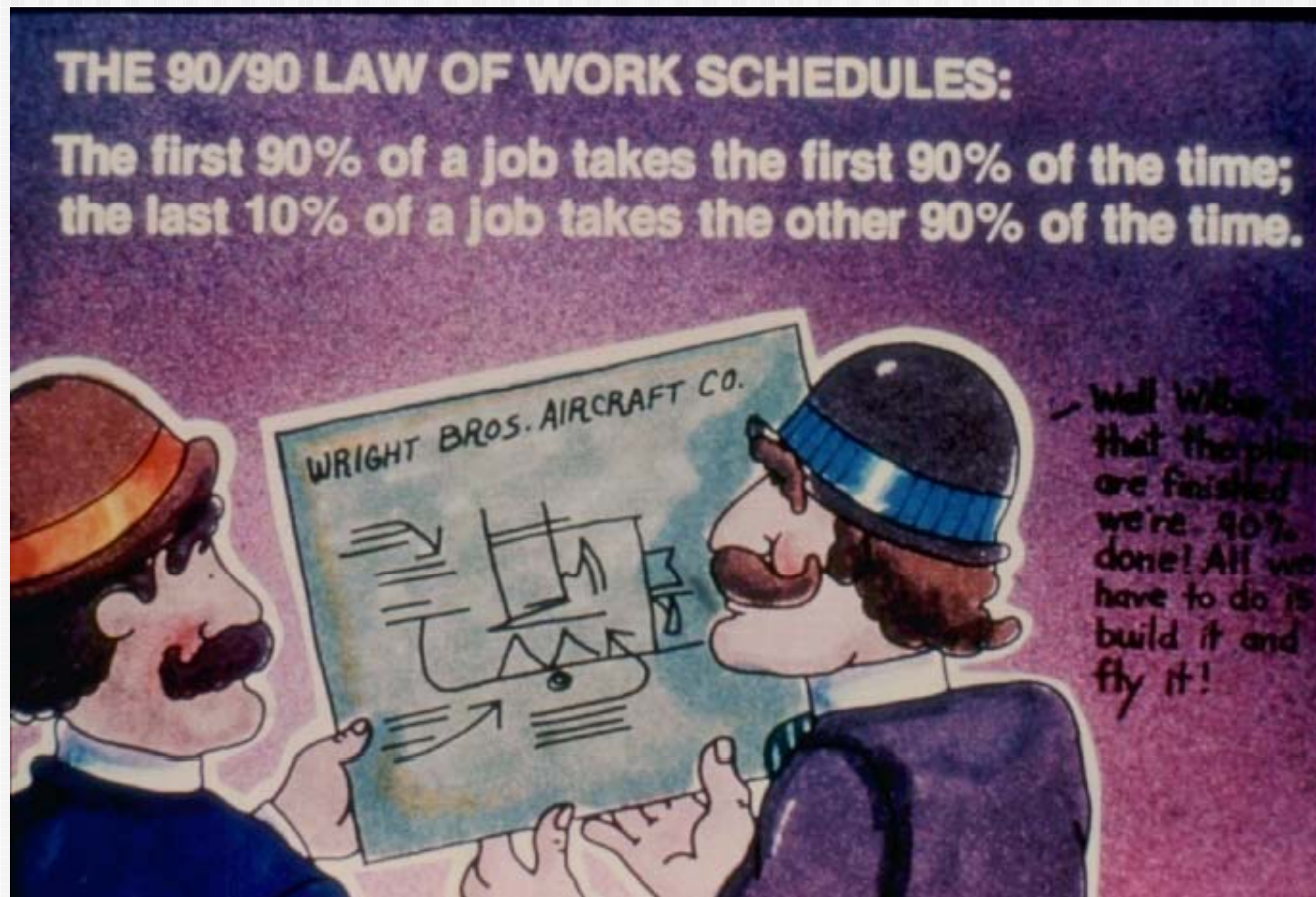
# Remolque + Vagoneta: 3E-S3



# Belly Dump Truck



# Preparación de la Superficie con Antelación a la Colocación de la Mezcla Asfáltica



## **Tipos de Superficie sobre la cual se puede Colocar una Mezcla Asfáltica**

---

1. Subrasante (Esp. 203)
2. Base granular (Esp. 304)
3. Base asfáltica, B-1 ( Esp. 401)
4. Pavimento asfáltico existente (Esp.401)
5. Pavimento de hormigón (Esp. 501)

# Preparación de la Subrasante

## Consideraciones

---

### 1. Resistencia

- California Bearing Ratio, CBR (**AASHTO T 193**)
- Módulo de Resiliencia,  $M_r$  (ASTM E 274)
- Clasificación de suelo (AASHTO, ASTM)
- SPT-Standard Penetration Test (Blows/in)

### 2. Drenaje (arena vs. arcillas residuales)

### 3. Compactación (Proctor vs. Nuclear)

- 95% densidad seca máxima
- Contenido de humedad óptima
- Curva de compactación



# Publicaciones Técnicas

---



# Preparación de la Subrasante

## Consideraciones (cont.)

---

4. Uniformidad
5. Reparar puntos débiles aislados, catas ("weak spots")
5. Fluctuaciones en el nivel freático
  - secciones en corte vs. relleno

# Capa de Base

## Consideraciones

---

- Granular vs. Asfáltica (B-1)
  - Imprimación (prime coat→ESP 408) encima de la base granular que penetre
  - Aplicación líquida para que adhiera dos capas asfálticas (tack coat→textura pegajosa→ESP 407)
- Resistencia uniforme
- Tolerancias
  - longitudinal y transversal
- **Libre de escombros/acumulación de polvo** que afecta la adherencia con capas subsiguientes

# Imprimación – Prime Coat (Especificación 408)

---

- Propósitos
  - Adherir la capa base con la superficie asfáltica
  - Evitar que la humedad penetre en el pavimento
  - Fijar cualquier partícula desprendida de la base
- Aplicación
  - Base granular
  - Base tratada
  - “Black Base”

# Capa Asfáltica

## Consideraciones

---

- Espesor del recubrimiento (“overlay”)
- Reparación de hoyos e irregularidades de la superficie
  - Bacheo
- Reparar o remover áreas inestables
  - distorsión
  - ahuellamiento (“rutting”)
  - catas

# Capa Asfáltica

## Consideraciones (cont.)

---

- Aplicar capa niveladora, L-2  
(wedge & leveling)
  - Grietas de baja severidad
  - Depresiones llanas
  - Depresiones profundas
- Énfasis de la inspección en el área por donde pasan las llantas de los vehículos pesados (wheel path)

# Capa Asfáltica

## Consideraciones (cont.)

---

- Corrección del perfil longitudinal
  - “Cold-Milling” (Esp. 402)
- Ajuste de altura de registros (“manholes”, “catch-basins”)
- Reparar depresiones o irregularidades en cortes de utilidades

# Colocación de la Mezcla Asfáltica





# Colocación de la Mezcla Asfáltica: Consideraciones

---

1. Temperatura de la mezcla
2. Condiciones climatológicas
3. Distancia de acarreo
4. Número de capas
5. Espesor de la capa
6. Defectos existentes en el pavimento
7. Geometría de la carretera
8. Número de carriles
9. Yield → El Rendimiento de un camión

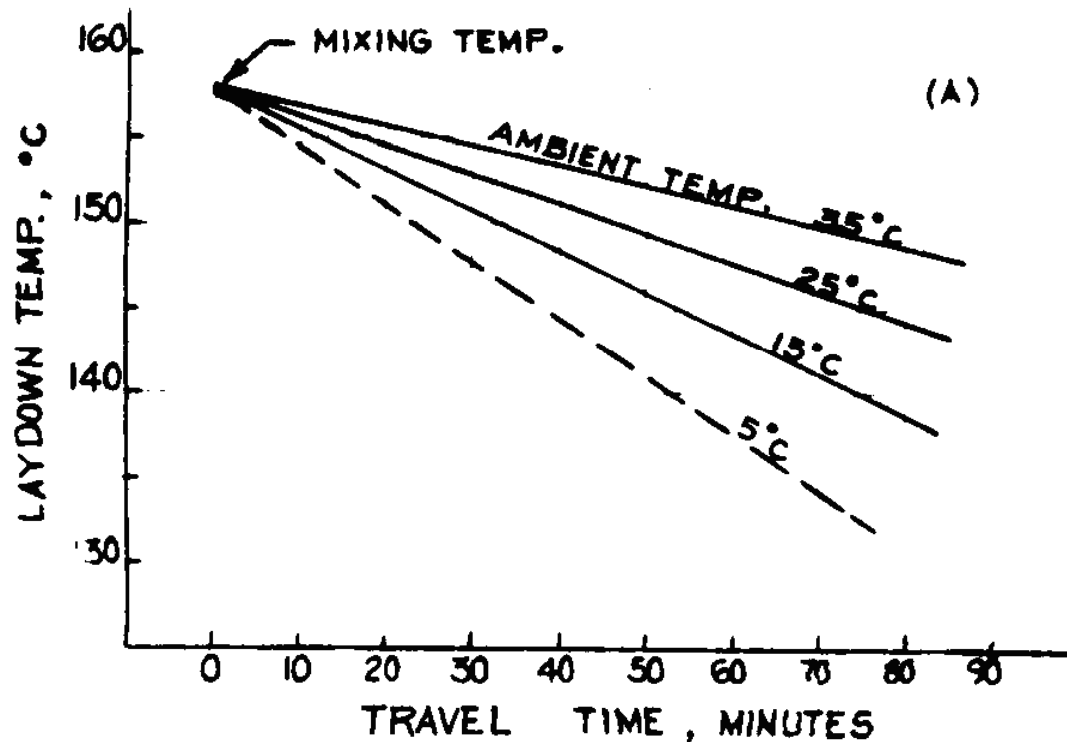
# 1. La Temperatura de la Mezcla Asfáltica



# 1. La Temperatura de la Mezcla Asfáltica

- Pérdida de temperatura en la colocación de la mezcla asfáltica con el tiempo (158C=316F)

ASPHALT PAVING WORKSHOP



# Interpretación

---

- Una planta de asfalto en Ponce que le tome 90min. de viaje al proyecto pierde en promedio 55F si la temperatura ambiente es 77F y la temperatura de producción fluctúa entre 315F a 320F
- La distancia a recorrerse ni la velocidad de la carretera se conoce pero en PR. un camión debe ir 10mph por debajo de la velocidad rotulada

# 1. Temperaturas Típicas de Cemento Asfáltico y Mezcla Asfáltica

Proceso	Temperatura (° F)	Comentarios
Flash Point	$T > 450$	Despues de esta temp. hay alta probabilidad de ignición
Manufactura de mezcla en la planta	$300 < T < 320$	
Colocacion y compactación en el campo	$255 < T < 280$	Corresponde a una viscosidad de 250 Cs a 750 Cs Limite superior es bueno para compactar, pero tiene el riesgo de ser una mezcla tierna
Temp. de preparar mezcla en el laboratorio	$280 < T < 310$	Esp. 401 -2.05 (7): $170 \pm 20Cs$
Temp. de compactación en el laboratorio	$265 < T < 280$	Esp. 401-2.05 (8): $280 \pm 30Cs$
Mezcla fria	$T < 225$	Esp. 401
	$T < 175$	HMA Handbook 2000 - Cuerpo de Ingenieros
Mezcla quemada	$T \geq 325$	

## 2. Condiciones Climatológicas

---

1. Verificar la velocidad del viento
  - puede afectar la uniformidad del roceado del "tack coat"
  - Puede arrastrar y depositar polvillo en la superficie
2. Nunca se debe colocar una mezcla asfáltica en superficie mojada

**Observación:** En los Estados Unidos se prohíbe colocar mezclas asfálticas durante la temporada de invierno (**T < 35° F**)

### 3. La Distancia de Acarreo (hauling distance)

---

1. Afecta la **temperatura** de la mezcla
2. Puede afectar la razón de llegada de los camiones al proyecto (congestión vehicular)
3. La mezcla debe estar protegida por un toldo + seguridad

## 4. El Número de Capas

---

1. Carreteras con alto porcentaje de camiones requieren Black Base, B-1
2. Nunca se debe colocar una capa mayor de 4" (**10 cm**) de espesor.



## 5. Espesor de la Capa Asfáltica

---

- Las capas gruesas (**mayor de 3" o 7.5 cm de grosor**), en general, son más fácil de obtener la densidad de campo ("target density")
- Una capa gruesa retiene por más tiempo la temperatura interna de la mezcla y requiere más tiempo para compactarla

## 6. Los Defectos en la Superficie Existente...

---

1. ...deben corregirse siempre o de lo contrario confrontaremos problemas o fallas de índole funcional o estructural
2. Ejemplos de defectos (**ver ASTM D 6433-99**)
  - Hoyos –potholes
  - Rutting – ahuellamiento
  - Grietas longitudinales y transversales
  - Cuarteo de moderada o alta severidad con pedazos sueltos – alligator cracking
  - Depresiones en los registros (manholes)
  - Bacheos deficientes en cortes de utilidades – utility cut patching

# 7. Geometría de la Carretera

- Los controles de la pavimentadora son críticos para una mezcla uniforme y duradera:

- Pendiente lateral (normal crown slope: 2%;3% para carreteras de alta velocidad 45mph ó mayor)
- Peralte máximo (6% - urbano; 8% rural)

**Observaciones:** Ambos son críticos para asegurar el drenaje superficial y la seguridad al maniobrar una curva

- Pendiente longitudinal – controles del ski largo de 30 pies.

# Justificación

---

- Las mezclas asfálticas en PR. son densas, por consiguiente, el drenaje superficial se atiende controlando la corona normal y la pendiente longitudinal en los puntos bajos

## 8. Número de Carriles

---

- Controla el patrón de roleo
- En **tramos rectos o tangentes**, se comienza a compactar del center line de la carretera hacia el borde
- En las **curvas**, se comienza la compactación del punto más bajo hacia el más alto
- Se pueden pavimentar múltiples carriles simultáneamente de manera sesgada (echelon)

## 9. El Rendimiento de un Camión (Yield)

---

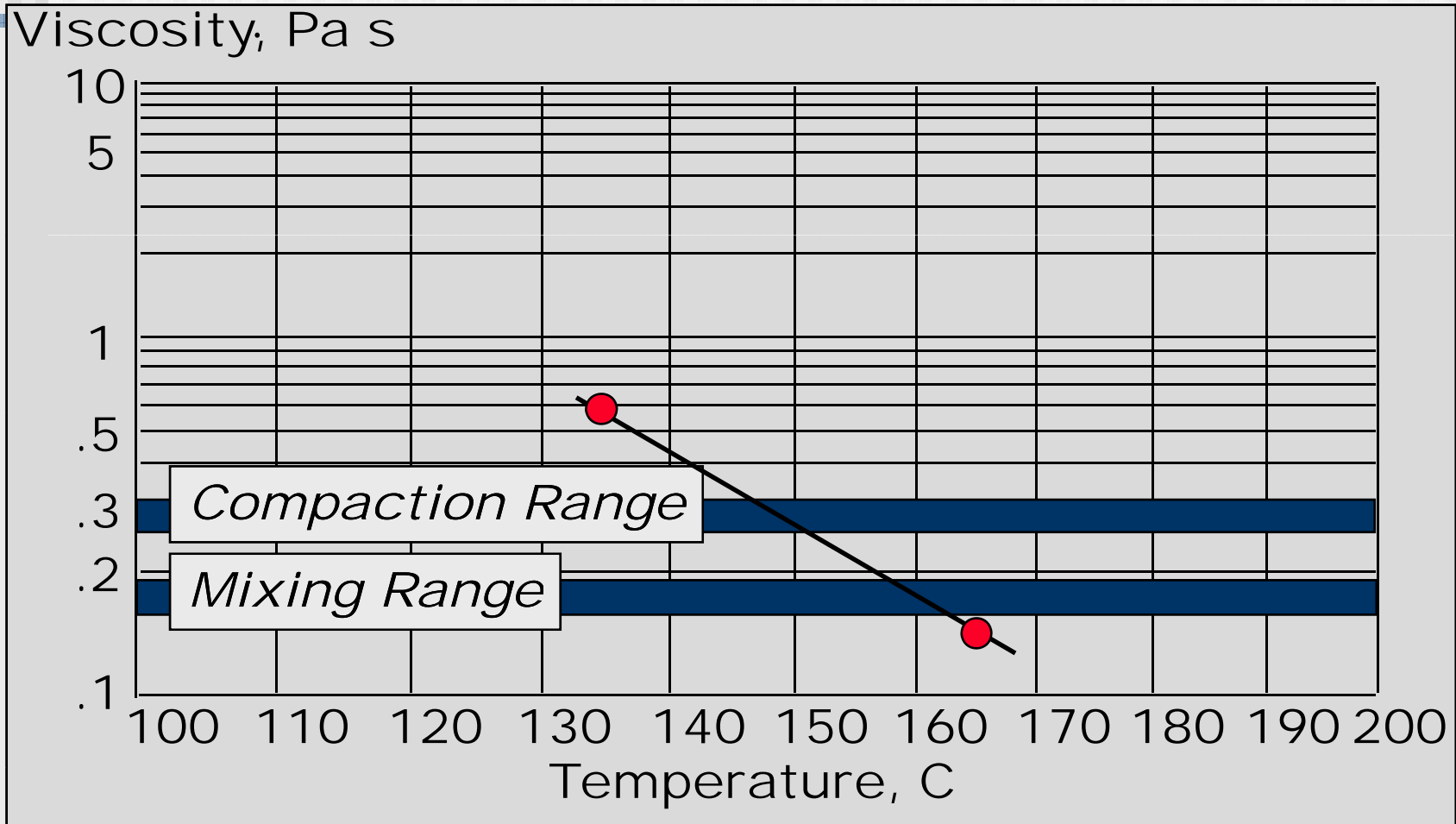
La **longitud** (en pies o metros) de una carpeta asfáltica de un **grosor en particular** en un carril de un **ancho conocido** en una vía que se produce debido a la carga de **un viaje de un camión** de volteo o de tumba



Repaso:

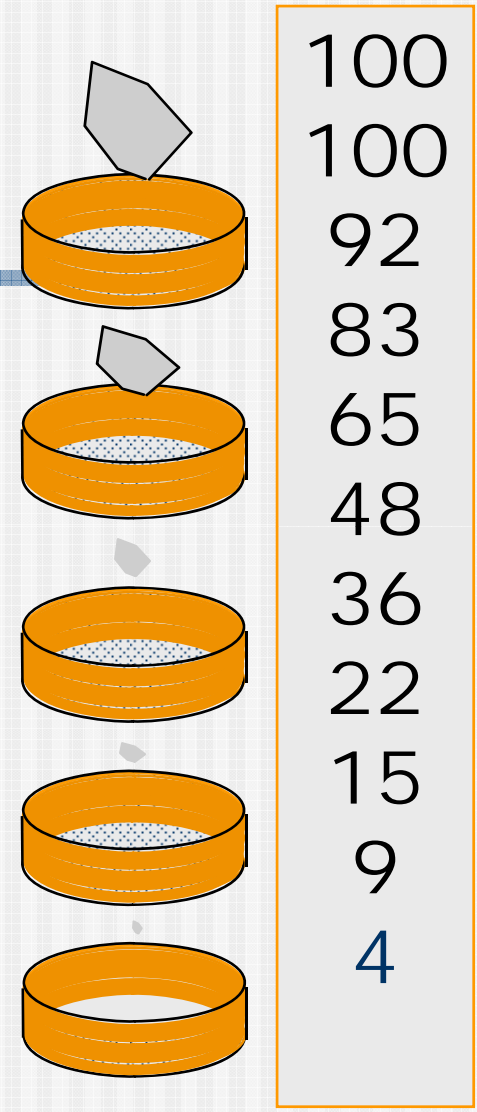
Día 1 AM

# Temperaturas de Mezclado y Compactación





Esquemático de tamices para evaluar la granulometría de una mezcla →



## 9. El Rendimiento de un Camión (Yield)

---

Fórmula:

$$\gamma = W / V \rightarrow \text{lbs/pie}^3$$

donde:  $\gamma$  = densidad, lbs/pie<sup>3</sup>

$W$  = peso, lbs

$V$  = volúmen, pie<sup>3</sup>

# 9. Cómputo de Rendimiento de Un Camión (Yield)

---

$$Y = \frac{W(2000 \text{ lbs/ton})}{A * E(1 \text{ pie}/12 \text{ pulg})(L)}$$

Donde:

W = carga de mezcla asfáltica, toneladas

A = ancho de carril, pies

E = espesor/grosor de la capa, pulgadas

L = longitud del carril, pies (Yield)

# Cómputo de Rendimiento de Un Camión (Yield)

## Dado:

Ancho de carril (A): 12 pies

Espesor/grosor de capa (E): 4 pulgadas

Carga (W): 25 toneladas

Densidad de la mezcla compactada: 140 lbs/pie<sup>3</sup>

Requerido: Rendimiento del camión (yield)

## Solución:

$$\gamma = \frac{W (2,000 \text{ lbs/ton})}{(A)(E)(1\text{pie}/12\text{pulgs})(L)} = 140 \text{ lbs/ pie}^3$$

$$L = \frac{(25)(2000)}{(12)(4)(1/12)(140)} \sim 90 \text{ pies}$$

# Cómputo de Rendimiento de Un Camión (Yield)

## Dado:

Ancho de carril (A): 12 pies

Espesor/grosor de capa (E): 4 pulgadas

Carga (W): 25 toneladas

Densidad de la mezcla compactada: 140 lbs/pie<sup>3</sup>

Requerido: Rendimiento del camión (yield)

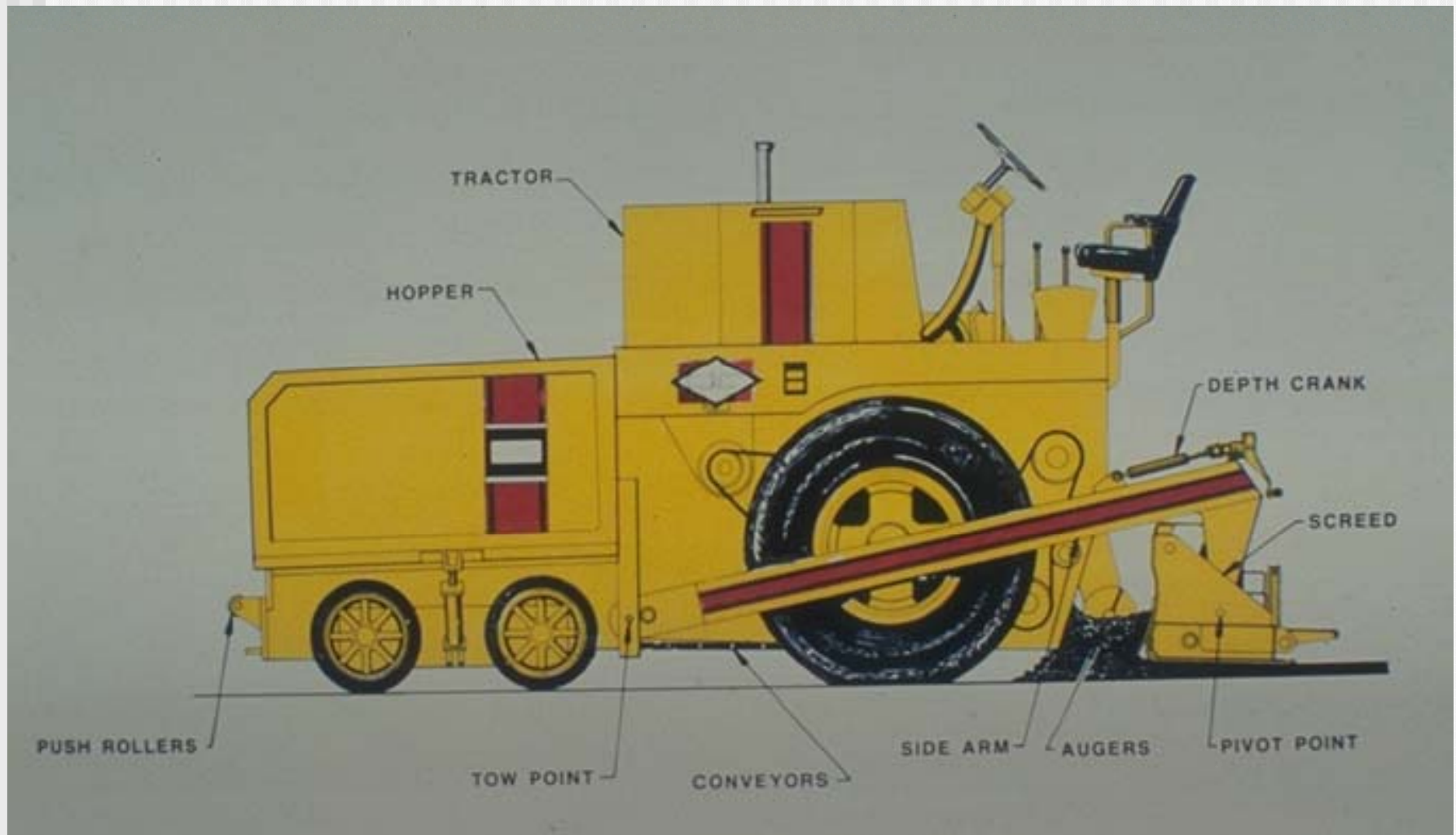
## Solución:

$$\gamma = \frac{W (2,000 \text{ lbs/ton})}{(A)(E)(1\text{pie}/12\text{pulgs})(L)} = 140 \text{ lbs/ pie}^3$$

$$L = \frac{(25)(2000)}{(12)(2)(1/12)(140)} \sim 180 \text{ pies}$$

Costo por viaje: \$85/ton in-situ x 25tons=\$2,125.00/viaje(dólares 2008)

# Colocación de Mezcla Asfáltica Caliente Pavimentadora y Componentes Principales

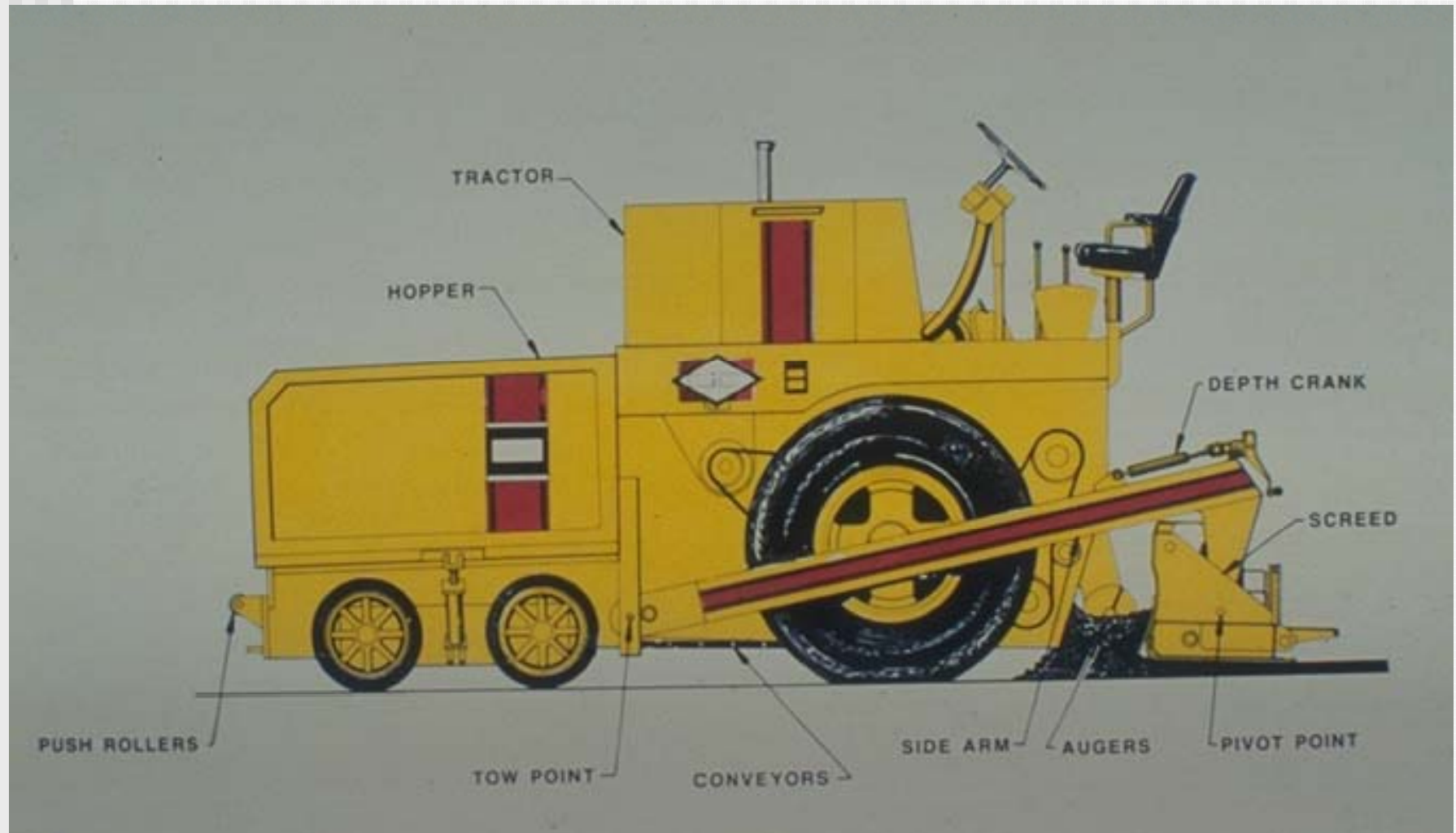


# 1. El Tractor – La Unidad de Potencia

---

1. Rodillos de empuje del camión
2. Sistema de alimentación de material
  - Tolva → "hopper"
  - Transportadores → conveyor belts
  - Compuertas de flujo → flow gates
  - Gusano → auger

# Tractor y Plancha



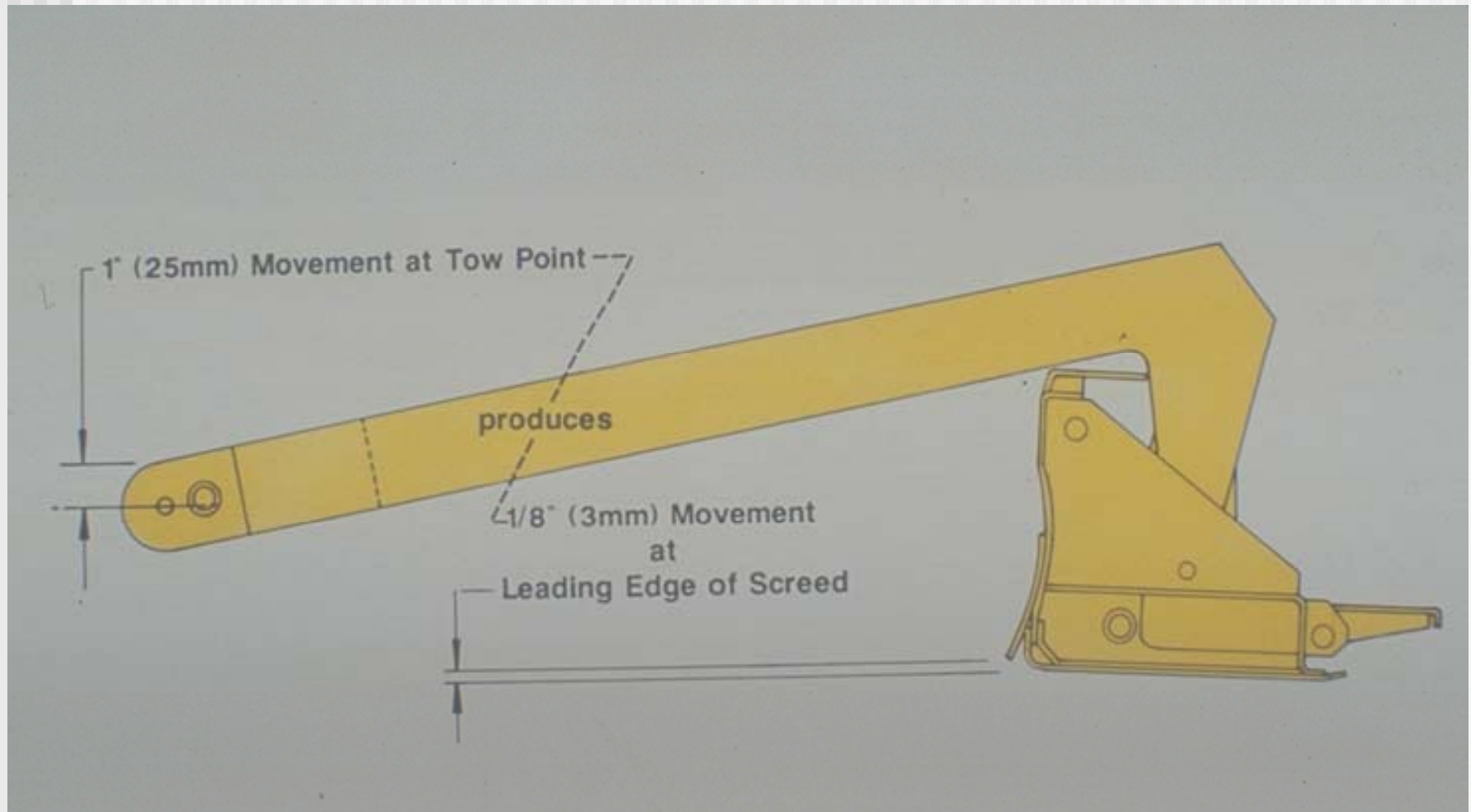


# Equipo de Colocación de Mezcla (cont.)

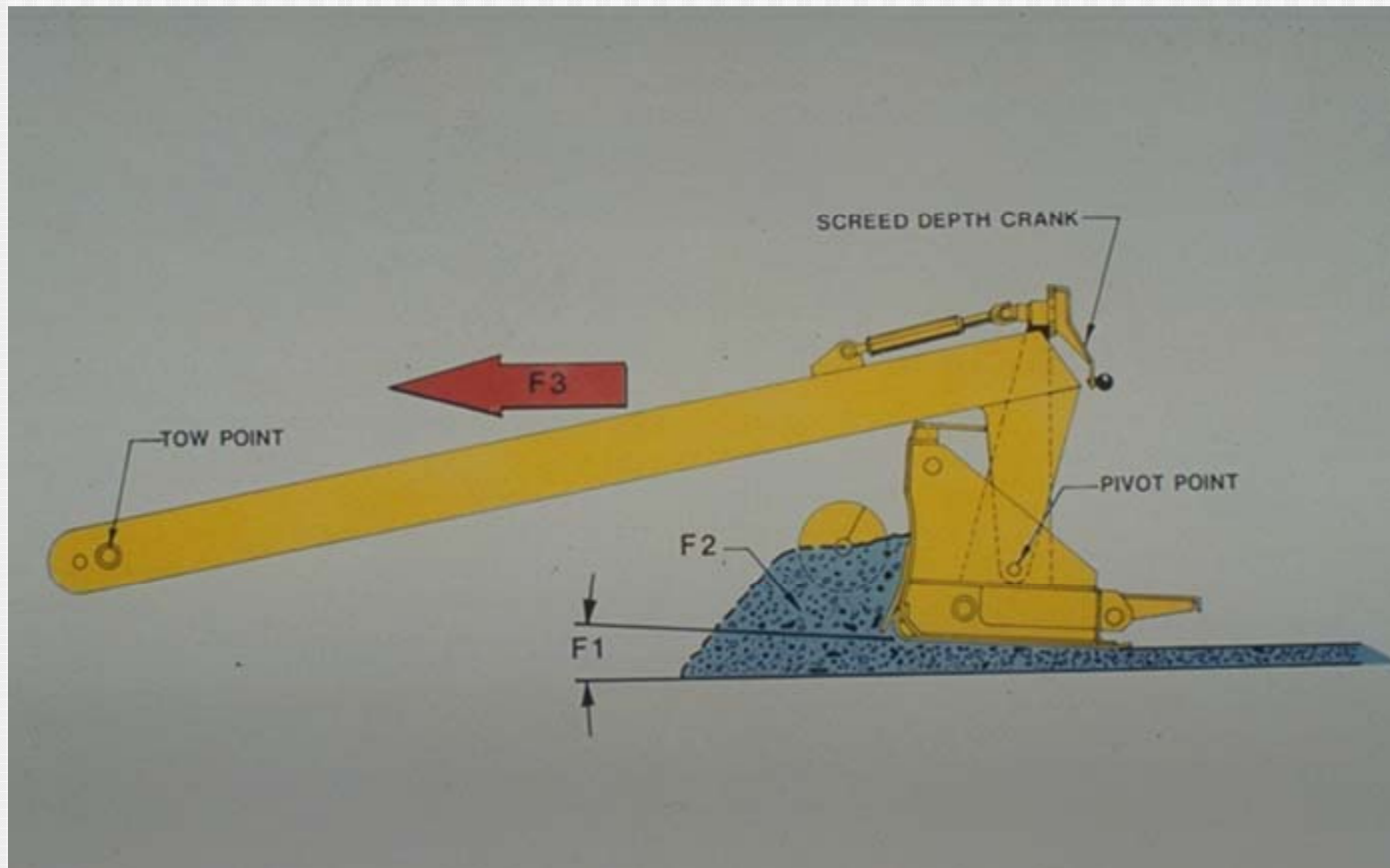
---

- Plancha (screed unit)
  - Puntos de remolque (tow point)
  - Fuerzas actuando en la plancha
    - Velocidad de pavimentadora
    - Cantidad de material
    - Línea de arrastre

# Plancha ("Screed Unit")



# Fuerzas en la Plancha



# Equipo de Colocación de Mezcla (cont.)

---

- Efectos de detener y arrancar la pavimentadora
  - Paradas cortas
  - Paradas largas
- Objetivo – distribución uniforme y continua – Art 401 – 3.04 b.

# Equipo de Colocación de Mezcla (cont.)

---

- Calentadores
- Strike-offs
- Control de la corona normal
- Vibradores vs. apisonadores
- Extensiones de la plancha
  - Zapato de caballo (shoe horse)

# Control Automático de Plancha

---

- Control Automático vs. manual
- Control de la inclinación
  - Localización de referencia de nivel
- Control de la pendiente longitudinal
  - Ski: 30 pies de longitud (mínimo)  
Art. 401 – 3.04 d (1)
- Grosor mínimo y controles de plancha

---

# Construcción de Juntas

# Construcción de Juntas Transversales – Art 401-3.12 a

---

- Al suspender proceso de pavimentación
- Cortar una cara vertical a profundidad completa de la capa asfáltica
  - Juntas “butt”
- Aplicar con una brocha cemento asfáltico en las caras de contactos justo antes de colocar la nueva mezcla.

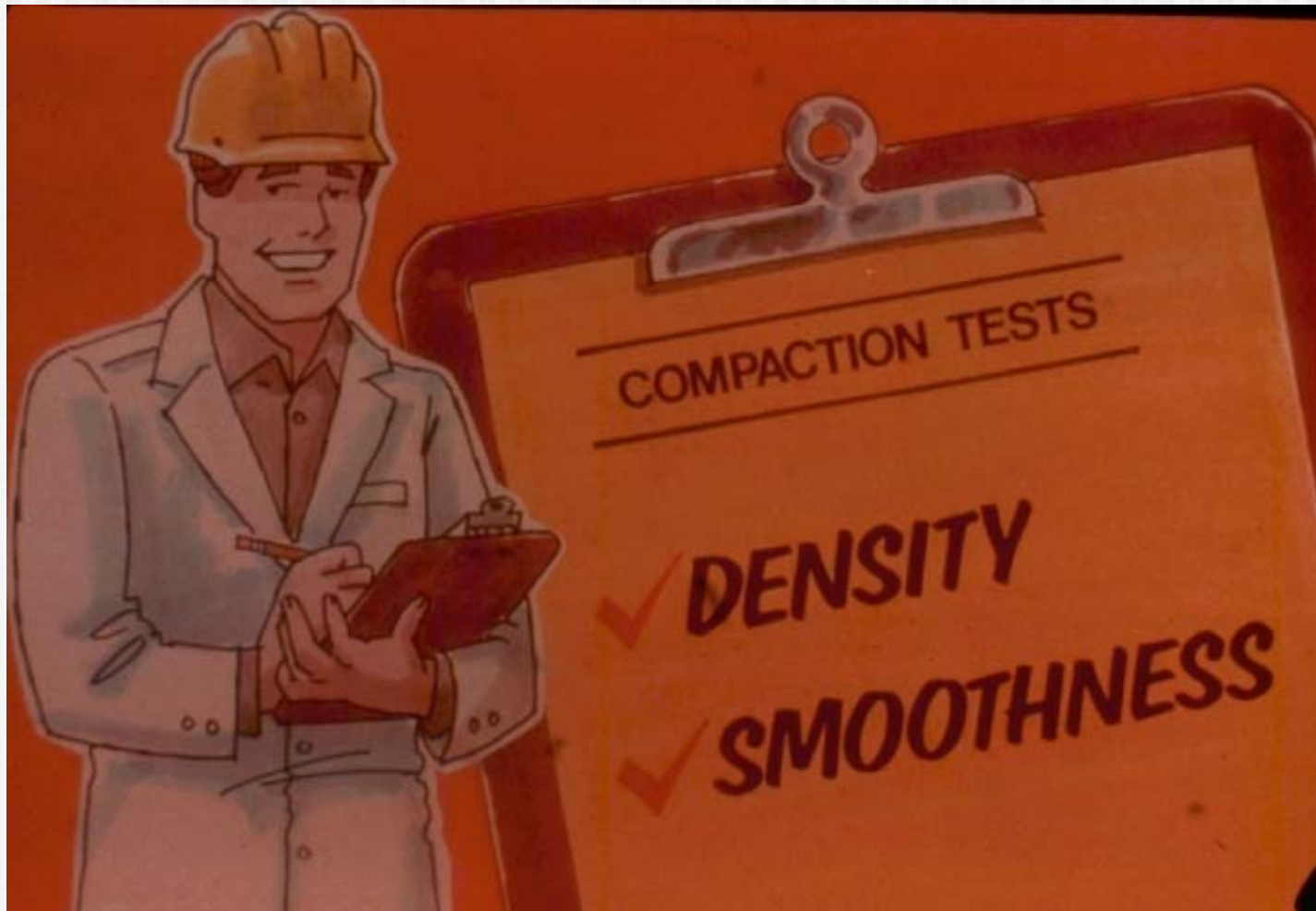


# Construcción de Juntas Longitudinales

---

- Se compacta inicialmente la junta longitudinal (**del centro del carril al borde** del pavimento)
- Solape por pasada de la aplanadora entre 15 a 30 cms (Entre 6" a 12")

# Compactación de Mezclas Asfálticas (densidad y suavidad)



# Compactación de Mezclas Asfálticas Calientes: Definición

---

- Proceso de compresión de un volumen de mezcla en un volumen menor
- Proceso de eliminación de vanos de aire  
(% típicos de una mezcla: De 3 a 5%)
  - Aumento en la densidad  
(  $\gamma = W / V$  )

## **Tres (3) consideraciones importantes asociadas a la Compactación**

---

- 1. Estabilidad**
- 2. Resistencia**
- 3. Durabilidad**

# Compactación de Mezclas Asfálticas

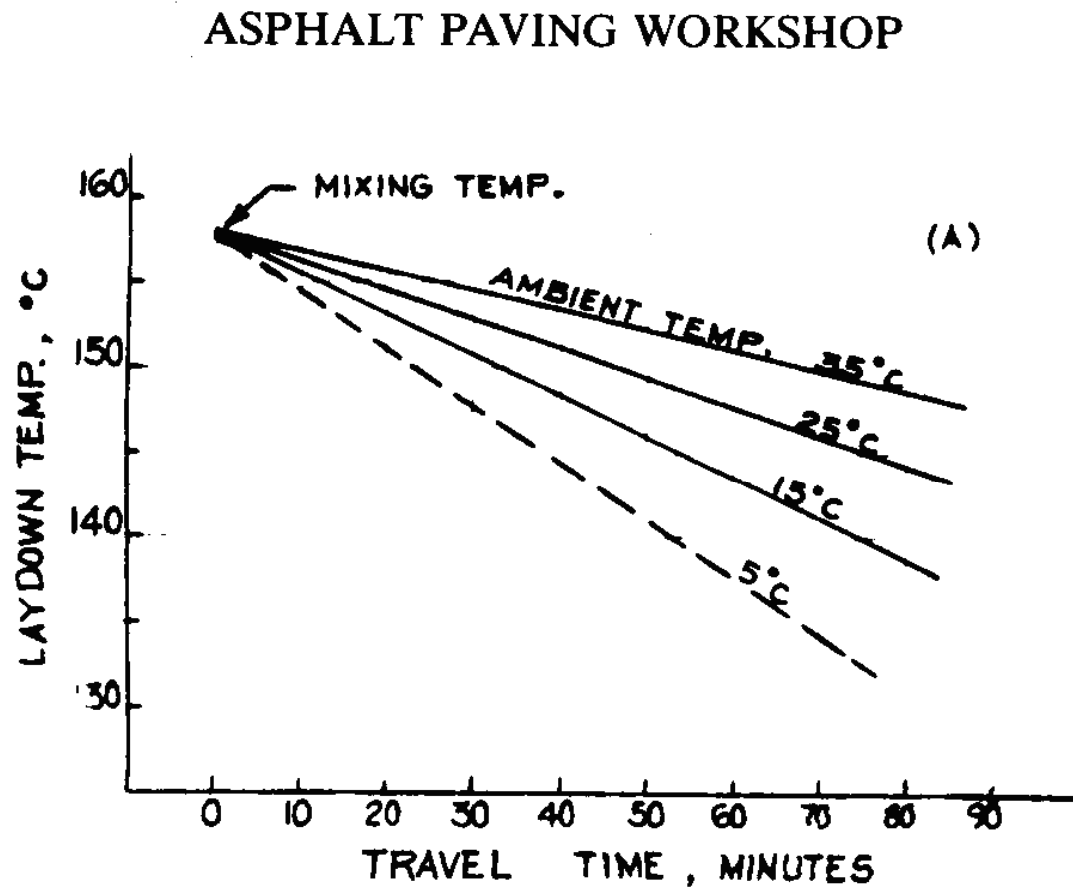
## Consideraciones

---

1. Temperatura
2. Espesor de la carpeta
3. Estabilidad
4. Densidad
5. Vanos de aire
6. Equipo
7. Número de pasadas

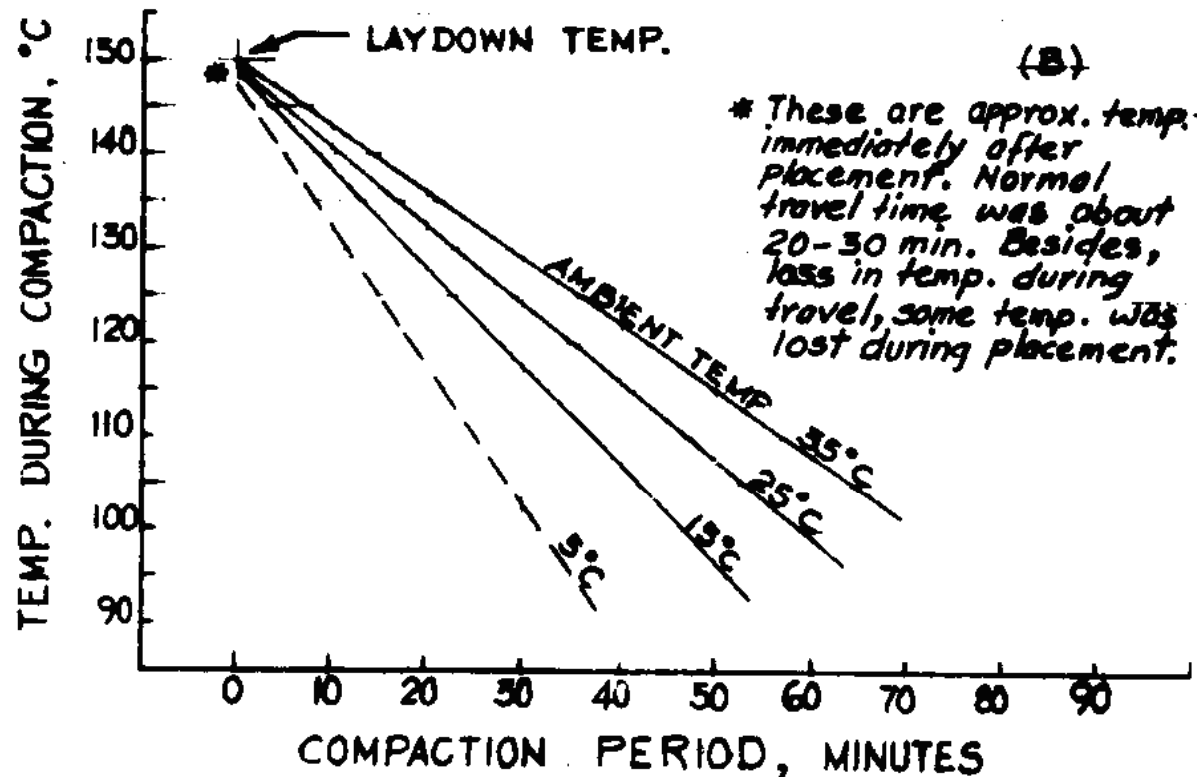
# Temperatura en la colocación de Mezcla Asfáltica

- Pérdida de temperatura en la colocación de la mezcla asfáltica con el tiempo



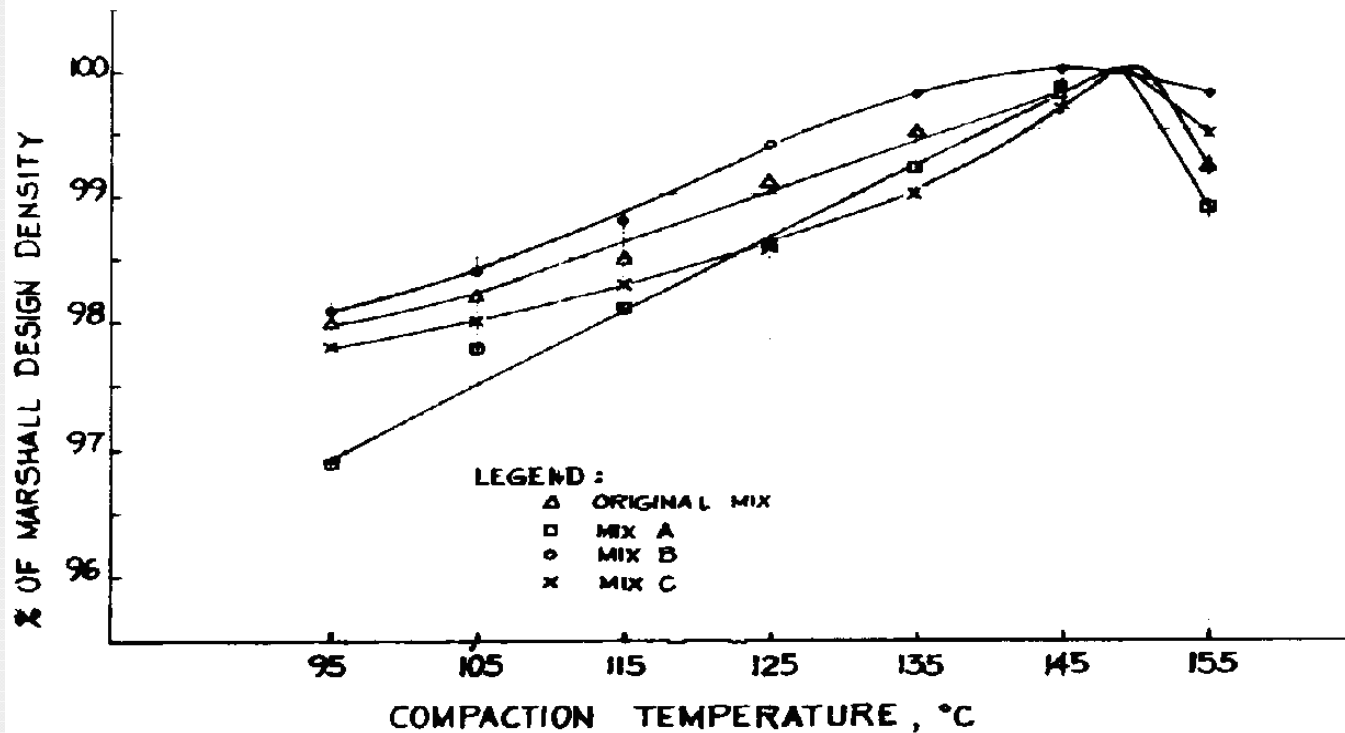
# Temperatura en la compactación de Mezclas Asfálticas

- **Pérdida de temperatura** durante la compactación de la mezcla asfáltica con el periodo de compactación



# Relación Densidad-Temperatura

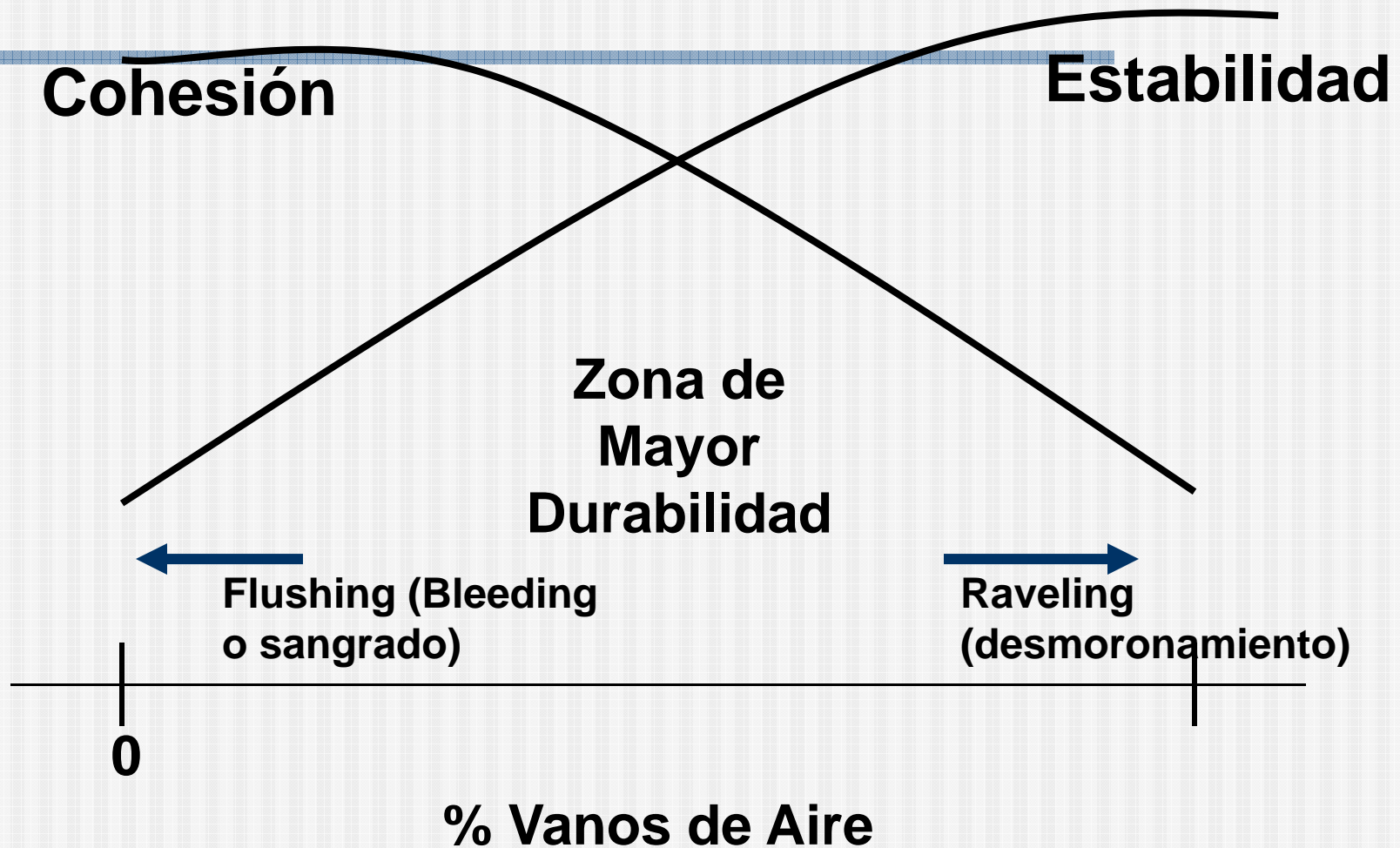
- Gráfica Densidad vs. Temperatura de compactación



Temperature-Density Relationship.



# Durabilidad vs. Vanos de Aire



# Problemas con mezclas asfálticas densas

---

- Hidroplanning → **Película de agua** que se forma entre las llantas del vehículo y la superficie asfáltica a velocidades mayores de 35mph en carreteras con pendiente mayor de 6%

# Soluciones al problema de hidroplanning

---

- OGFC → Open Graded Friction Course
  - Mezcla abierta con 0% pasando el cedazo o tamiz #200
  - La película de cemento asfáltico alrededor del agregado es más gruesa que en mezclas densas
- Aplicación exitosa en Madrid España

# Compactación: Factores Críticos

---

- Propiedades de la mezcla
- Condiciones ambientales
- Espesor de la capa
- Equipo de compactación
  - Frecuencia
  - Amplitud
  - Velocidad
- Tipos de fundación de la subrasante

# Compactación

---

- Principios fundamentales
- Equipos de compactación
- Operaciones / Proceso de roleo dependen de:
  - Propiedades de la mezcla
  - Condiciones ambientales
    - Temperatura del ambiente
    - Temperatura de superficie de contacto

# Aspectos ambientales que afectan la compactación

---

- Temperatura ambiental baja
- Humedad alta
- Vientos fuertes
- Temperatura baja en la superficie debajo de la mezcla

# Equipos de Compactación

---

1. Aplanadora de ruedas lisas de acero (steel wheel roller)
2. Aplanadora en el modo vibratorio
3. Aplanadora de neumáticos

# Rangos de Velocidad de Aplanadoras (mph)

---

<u>Aplanadora</u>	<u>Tipo de Roleo</u>		
	<u>Inicial</u>	<u>Intermedio</u>	<u>Final</u>
Estática	2 - 3½	2½ - 4	3 - 5
Neumática	2 - 3½	2½ - 4	4 - 7
Vibratoria	2 - 3	2½ - 3½	----



# Terminación de la Superficie: Consideraciones

---

- Textura
- Pendiente
- Densidad
- Suavidad (PI→Profile Index;IRI→International Roughness Index;Smoothness Index)
- Calidad final de la superficie (**la suavidad** que percibe el usuario de la vía de rodaje)

# Suavidad

---

- (PI→Profile Index;IRI→International Roughness Index;Smoothness Index)
- IRI→Carretera bien suave
  - Entre 1 y 2mm/m (entre 65 y 120 pulg/milla medido a 50 mph o 80 km/hr)
- Carretera bien rugosa→Entre 8 y 12mm/m
  - NOTA: 1pulg=25.4mm

# Equipo y Secuencia de Compactación

---

- En el pasado...
  - Aplanadora de tres (3) ruedas – roleo inicial
  - Aplanadora de neumáticos – roleo intermedio
  - Aplanadora tándem – dos rodillos suavizamiento y terminación final

# Equipo y Secuencia de Compactación (cont.)

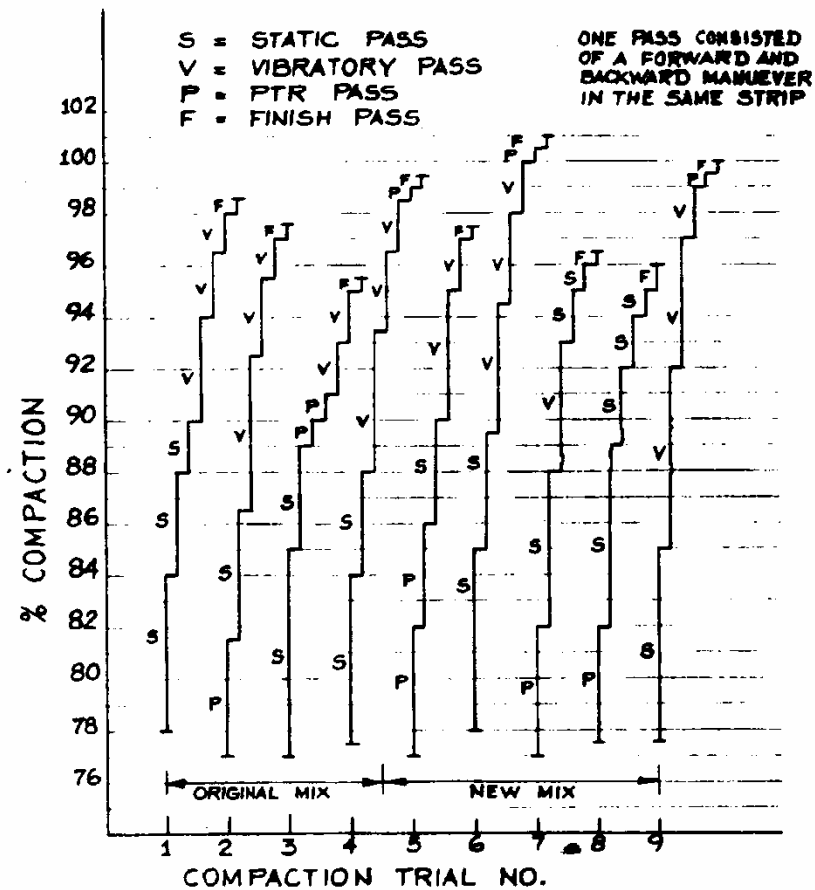
---

- **En el presente**

- Aplanadora en **modo vibratorio** –  
roleo inicial
  - Modo vibratorio – consolidar
  - Modo estático - terminación

# Pruebas de compactación en el campo

## ASPHALT PAVING WORKSHOP



Field Compaction Trial Results.

# Eficiencia del Equipo de Pavimentación (8 hrs de trabajo)

---

Año	Toneladas
1924	250
1960's	600
1980's	2400
2000's	2700

NOTA: Planta Betteroads Asphalt Corp. de Aguada #20 tiene la capacidad de producir 400ton/hr (referencia Ing. Edgardo Bonilla 2008)

# Control de Campo

---

- Especificaciones típicas
  - Número de pasadas
  - Peso de los rodillos
- Dispositivos nucleares
  - Densidad
  - Contenido de asfalto

# Control de Campo (cont.)

---

- Núcleos
  - Contenido de asfalto
  - Gradación
  - Espesor
- Ajuste al equipo
  - Peso
  - Presión de los neumáticos
- Factores de ajuste de pago



# Especificaciones

---

- Espesor de la capa compactada
  - De 2 a 4 pulgadas (de 5 a 10 cms)
- Número de aplanadoras
  - Tipo de aplanadora
  - Tonelaje de la mezcla colocada por hora de roleo

# Especificaciones típicas

---

- Peso de las aplanadoras
  - Aplanadora tándem: De 8 a 12 toneladas
  - Aplanadora de tres ruedas: De 10 a 12 toneladas
  - Aplanadora vibratoria: De 6 a 17 toneladas
- Aplanadora de neumáticos:
  - Entre 200 a 350 lbs/pulgada de ancho de la rueda

# Especificaciones típicas

---

- Procedimiento de roleo
  - **Los bordes se rolean primero:** el roleo progresa hacia el centro
  - Roleo cruzado/ roleo diagonal
  - Las ruedas de la aplanadora se deben mantener húmedas para evitar que se pegue la mezcla asfáltica al tambor de la aplanadora

# Las temperaturas a diferentes fases del proceso son críticas



# Guías para la compactación de mezclas asfálticas calientes

---

1. Selección apropiada de las temperaturas de mezclado y de compactación de cemento asfáltico.
2. Determinar el tiempo disponible para la compactación.
3. Establecer el patrón de roleo adecuado.
4. Evaluar características ingenieriles de las mezclas asfálticas.

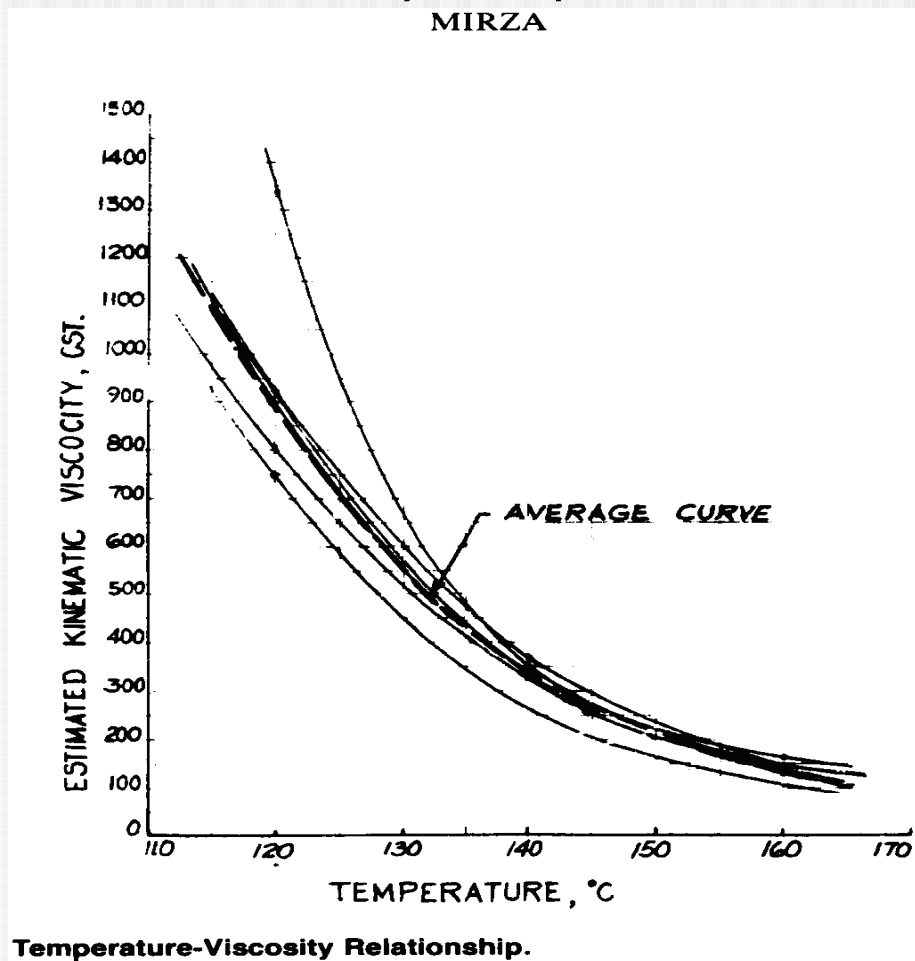
# 1. Selección apropiada de las temperaturas de mezclado y de compactación de cemento asfáltico

- Tabla de viscosidad y temperatura de cemento asfáltico

	Viscosidad Cinemática (Cst)	Temperatura (°C/°F)	
		Rango	Media
Mezclado de Planta	170±20	153-158	156
		307-316	312
Compactación en el campo	280±30	143-147	145
		289-296	293

# 1. Selección apropiada de las temperaturas de mezclado y de compactación de cemento asfáltico

- Gráfica de viscosidad y temperatura de cemento asfáltico



## 2. Determinar el tiempo disponible para la compactación

---

- Depende del número y tipo de aplanadora disponible.
- Razón de colocación de la mezcla asfáltica.
- Temperatura de colocación.
- Razón de enfriamiento.



## 3. Establecer un patrón adecuado de roleo

---

- Cumplir con la densidad mínima requerida en las especificaciones
- Conocer el número de pasadas asociadas a cada tipo de aplanadora para un grosor y tipo de mezcla.
- La secuencia de compactación (Modo estático, modo vibratorio; roleo inicial, roleo intermedio, roleo final)
- Uso adecuado del rolo neumático en la secuencia de compactación (¿Utilizar al principio o al final?)

## 4. Evaluar las características ingenieriles de las mezclas asfálticas

---

- Maximizar la densidad sin sacrificar la suavidad (Fuller's Maximum Density Curve).
- La gradación de los agregados.
- Tipo de cemento asfáltico.
- El contenido del cemento asfáltico.
- JMF: Job Mix Formula

# Tipos de Aplanadoras ("Rollers")

---

1. Tandem con rueda de acero ("steel-wheeled")
2. Aplanadora con ruedas neumáticas ("pneumatic-tired")
3. Aplanadora vibratoria ("vibrating")

# Aplanadora de Rueda de Acero Estática



# Aplanadora de Neumáticos



# Aplanadora Vibratoria



# Aplanadoras

## Consideraciones

---

- Peso total
- Peso/pulgada de ancho (aplanadora tandem con rueda de acero)
- Presión de contacto promedio (aplanadora con ruedas neumáticas)

# Tandem con Rueda de Acero: Consideraciones

---

- **Peso**
  - Rango: De 3 a 14 toneladas
  - Mínimo: 10 toneladas (incluyendo balasto)
  - Roleos intermedio y final: 250 lbs/pulgada de ancho en el rolo de compactación (“drive wheel”)



## Tandem con Rueda de Acero: Consideraciones (cont.)

---

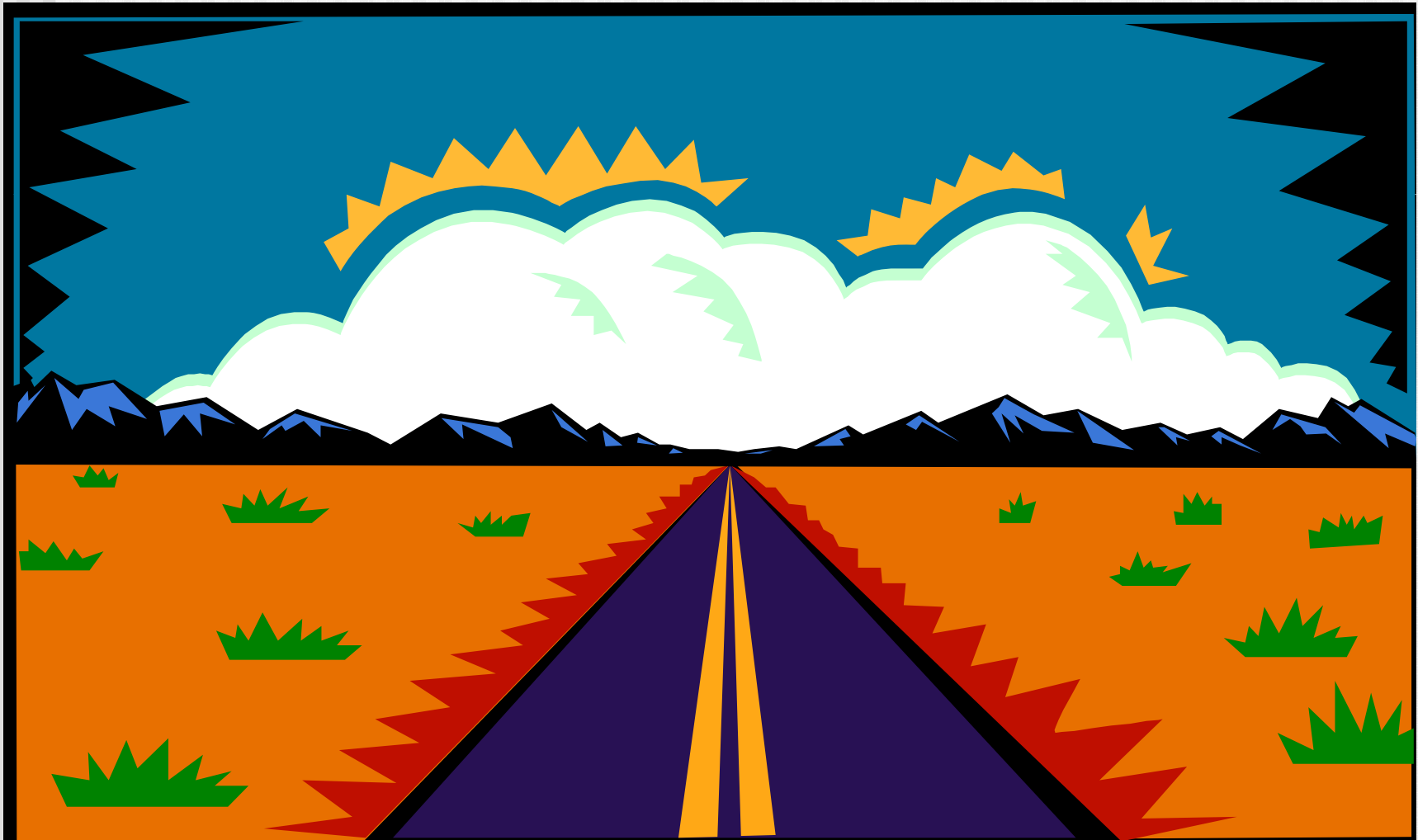
- Almohadillas humectantes en buenas condiciones (“wetting pads”) para evitar levantamiento de la mezcla asfáltica
- El rodillo con la unidad motriz va primero sobre la mezcla sin compactar

# Tandem con Rueda de Acero: Aplicaciones

---

- Rodadura inicial (“breakdown”)
- Rodadura intermedia
- Rodadura final

# Problemas de la Carpeta Asfáltica



# Problemas de la Carpeta

---

- Olas (shoving)
- Desgarramiento
- Textura no-uniforme
- Marcas de plancha
- Compactación inadecuada
- Problemas en las juntas

# Problemas de la Carpeta (cont.)

---

- Ahuellamiento → Rutting
- Sangrado → Bleeding
- Marcas de rolo
- Segregación

# Deficiencia en la Compactación

---

- Oxidación del asfalto
- Desmoronamiento ("ravelling")
- Juntas frías
- Intemperismo ("weathering")
- Ahuellamiento ("rutting")

# Deficiencia de la Mezcla

---

- Exceso de asfalto en la mezcla
  - “Bleeding” (diferente de “tracking”)
- Reducción de vanos debido a la presencia de tránsito
- Debe mantener un porcentaje de vanos de aire para evitarlo

# Deficiencia de la Mezcla: Sangrado (“Bleeding”) vs. Tracking”

---

- “Bleeding” no es igual a “Tracking”
  - Tracking ocurre típicamente dentro de las primeras 2 semanas de colocación de la mezcla
  - Puede detectarlo el “Locked Wheel Trailer”
    - ASTM E 274





**Responsabilidades  
de Ustedes...**

≠

≠

≠

**Los INSPECTORES**

# Responsabilidades del Inspector

---

1. Conocer las especificaciones de ACT/DTOP y Planos Modelos que apliquen
2. Cotejar boletos del camionero
  - toneladas
  - tipo de mezclas, S-1, B-1, L-2
  - temperatura
3. Componentes de la **pavimentadora** están operando conforme a lo estipulado en las especificaciones
4. Componentes de las **aplanadoras** están funcionando conforme a las especificaciones

# Responsabilidades del Inspector (cont.)

---

4. Correcciones de deficiencias en las mezclas asfálticas antes de que se enfríen
5. Espesor de la carpeta
6. Geometría adecuada
  - Corona Normal ( $2\% = \frac{1}{4}''/\text{pie}$ )
  - Hoy en día se requiere  $3\%$  en carreteras de alta velocidad
    - Peralte máximo (Entre  $6$  y  $8\%$ )

# Responsabilidades del Inspector (cont.)

---

7. Construcción del empalme en juntas
8. Textura superficial (micro vs. macro)
9. Uniformidad/suavidad de la superficie terminada
10. Equipo nuclear operando conforme a las especificaciones.

Quality Control/ Quality Assurance  
(QC/QA)

# Responsabilidades del Inspector: (cont.)

---

## 11. Ensayos de Prueba

- ASTM E 303 – Péndulo Británico
- ASTM D 3319 – Accelerated Polishing Device (
  - PSV mínimo = 48 para el agregado grueso según esp. 401.
  - PSV = Polished Stone Value
- ASTM D 965 – Sand Patch

# Responsabilidades del Inspector (cont.)

---

12. Verificar temperaturas de mezclados, colocación y compactación
13. Mantener diario de actividades realizadas, irregularidades
14. Trato "cordial" con el contratista

---

## **Parte 2. Relación a las Especificaciones 401, 702, y 703 de la ACT y MP-1 de AASHTO**

# Composición de las Mezclas: Especificación 401-2.05

---

## A. General

- Tipos de mezclas
  - Superficie: S-1
  - Base: B-1, B-2
  - Niveladora: L-1, L-2
- Gradación
  - Especificación 703 – Agregados (Tabla 703-3)



# Composición de las Mezclas (cont.)

---

- Diseño de mezcla
  - Método de Marshall: AASHTO T245, TAI (MS-2)
    - Primaria y secundaria (75)
    - Municipal y terciaria (50)

# Composición de las Mezclas (cont.)

---

B. Formulación de la mezcla para la obra de pavimentación (Job Mix Formula)

- Tres semanas de anticipación
- Certificado por un laboratorio de pruebas de materiales
  - Fuentes de cemento asfáltico, aditivo, agregados, etc.

# Composición de las Mezclas Asfálticas (cont.)

---

- Se puede obviar el requisito si el diseño/material han sido aprobados previamente por la ACT para otros proyectos

# Composición de las Mezclas Asfálticas (cont.)

---

- c. Requisitos de mezclas asfálticas
  - Estabilidad (AASHTO T 245)
    - 1,200 lbs. Mínimo (50)
    - 1,500 lbs. Mínimo (75)
    - 3,500 lbs. Máximo (S-1)
    - 4,500 lbs. Máximo (B-1, L-1)

# Composición de las Mezclas (cont.)

---

- Flujo @ 0.01" (AASHTO T 245)
  - 8 - mínimo
  - 16 - máximo
- Estabilidad residual (Esp. 719)
  - 75% mínimo
- Porcentaje de vanos de aire (AASHTO T 166, T 209, T 269)
  - 4% mínimo, 9% máximo (B-1, L-1)
  - 3% mínimo, 5% máximo (S-1)

# Composición de las Mezclas (cont.)

- Vanos en el agregado mineral, VMA (MS-2)
  - Depende del tamaño máximo del agregado (D)

<u>D</u>	<u>VMA</u>
1/2"	15% (mínimo)
3/4"	14%
1"	13%
1 1/2"	12%

# Composición de las Mezclas Asfálticas (cont.)

---

- Razón de polvillo-asfalto ( $P_{200} / P_{AC}$ )
  - Ensayo de extracción
  - 1.2 máximo
- Temperatura de mezclado en el laboratorio
  - Viscosidad del asfalto  $170 \pm 20$  Cs
- Temperatura de colocación en el laboratorio
  - Viscosidad del asfalto  $280 \pm 30$  Cs

# Muestreo y Ensayo: Especificación 401-2.06

---

- En la Planta (antes y durante la producción de la mezcla)
  - Cemento asfáltico
  - Agregados
  - Temperatura



# Muestreo y Ensayo (cont.)

---

- Requisitos de equipo de muestreo en el proyecto
  - Máquina de extracción de testigos (4" o 10 cms de diámetro)
  - Cucharas, kraft paper, cinta adhesiva, bandeja de madera, etc.
  - Equipo nuclear para medir la densidad

# Muestreo y Ensayo (cont.)

---

- Requisitos de prueba en la planta
  - Laboratorio de control de calidad; certificado y calibrado anualmente

# Extracción de Núcleo



# Medición de la Densidad con Dispositivo Nuclear



# Muestreo y Ensayo (cont.)

---

- Unidad de muestreo de la mezcla suelta
  - Lote (300 toneladas **o fracción**)
  - 4 especímenes de 2,000 gramos al azar
  - Antes del proceso de compactación; obtenido en la tolva ("hopper")

# Muestreo y Ensayo (cont.)

---

- Pruebas de extracción a una muestra al azar
  - Tamaño de agregado
  - % asfalto
  - Razón de polvillo/asfalto
  - Viscosidad del asfalto recuperado
  - Gravedad específica máxima
  - Valor de pulimento del agregado grueso:  $PSV > 48$  (ver Esp. 401)

# Muestreo y Ensayo (cont.)

---

- Unidad de muestreo de la mezcla compactada
  - Lote (300 toneladas o fracción)
  - Seis (6) testigos (núcleos de 4" o 10 cms. a profundidad completa y al azar)
  - Transcurridas 72 horas y no más tarde de 144 horas
  - Vanos de aire, estabilidad, flujo de Marshall y estabilidad residual
  - Valores promedios

# Requisitos de Aceptación de los Núcleos

---

- Vanos de aire
  - S-1: 5% - 7%
  - B-1 y L-1: 6% - 11%
- Endurecimiento del cemento asfáltico
  - Viscosidad @ 140 ° F
    - AC-20 < 10,000 poises
    - AC-30 < 15,000 poises



# Requisitos de Construcción

---

- Planta para la manufactura de mezclas asfálticas (AASHTO M156)
- Equipo de acarreo
- Camiones de despacho
- Pavimentadoras
- Aplanadoras
- Limitaciones de tiempo

# Requisitos de Construcción (cont.)

---

- Preparación de la superficie a pavimentarse
- Mezclado
- Transporte, depositado y terminación
- Compactación
- Juntas, recorte de bordes y limpieza
- Requisitos de la superficie

# Requisitos de Construcción (cont.)

---

- Pruebas de espesor del pavimento
- Protección del pavimento

# Pavimentadoras: especificación 401-3.04

---

- Tolva
- Sistema de distribución
- Gusano ("screed auger")
- Plancha vibratoria ("Screed")
- Sistema de calentamiento de la plancha
- Velocidad de operación

# **Pavimentadoras: Especificación 401-3.04 (cont.)**

---

- Sistema de control automático de pendiente y peralte
  - Elevación de la plancha
  - Línea de referencia / sensores mecánicos
- Eskí o viga flotante de 30 pies de longitud
- Eskí corto (shoe horse)

# Aplanadoras: Especificación 401-3.05

---

- Tipos
  - Vibratorio
  - Estático – ruedas de acero doble
    - Gomas (neumáticos)

Velocidad: máximo de **3 mph a 4 mph** →  
equivalente a la velocidad de caminar de  
un peatón

# Aplanadoras Vibratorias

---

## Factores que afectan la compactación

- Peso
- Fuerzas de impacto/vibración
  - Frecuencia
  - Amplitud
- Respuesta de la vibración en la mezcla asfáltica

# Preparación de la Superficie a Pavimentar

---

## Pavimento viejo

- Cotejar elevaciones de línea de centro y otros puntos de control
- Limpieza de superficie
  - Polvo (i.e. cepillón)
  - Material contaminante
- Capa niveladora
  - Secciones irregulares



# Preparación de la Superficie a Pavimentar (cont.)

---

- Corrección de hoyos, bacheo inadecuado, depresión
- Eliminar exceso de sellante en grietas o juntas
- Aplicar sellante ("tack coat") a superficies de pavimentos que han estado en servicio al tránsito vehicular por un periodo mayor de 3 meses

# Preparación de la Superficie a Pavimentar (cont.)

---

## Capa granular

- Imprimación asfáltica (especificación 408)

## Superficies de contacto

- Imprimación de superficies de encintados y registros que estarán en contacto con la mezcla bituminosa ("Tack Coat" – especificación 407)

# Temperatura

---

- Cemento asfáltico
  - No se debe calentar en exceso de 350 °F
- Temperatura de despacho de la mezcla a la obra
  - 20 °F sobre la temperatura de colocación
  - Nunca deberá ser menor de 225 °F

# Requisitos de Terminación de Superficie

---

- Superficie de rodaje – tolerancia de  $3/16''$  en 10 pies
- Base – depresiones no deben exceder de  $1/2''$
- Porcentaje de largo defectuoso de la superficie de rodaje no deberá exceder 4%
- Textura de la superficie – método del círculo de arena ("Sand Patch")

# Construcción de Juntas: Especificación 401-3.12

---

## Junta caliente

- Junta longitudinal entre dos carriles que han sido constuidos aproximadamente al mismo tiempo (pavimentadoras en echelon)
- Diferencia en densidad es despreciable

# Construcción de Juntas (cont.)

---

- Secuencia de roleo (Pavimentadoras en echelon)
  1. La primera pavimentadora distribuye la mezcla y la aplanadora inicial deja una franja de 3" a 6" (de 7.5 a 15 cms) del borde común sin compactar.
  2. La segunda aplanadora compacta la franja de 3" a 6" (de 7.5 a 15 cms) en su primera pasada una vez depositada la mezcla asfáltica por la segunda pavimentadora.

# Deficiencias en la Construcción de Juntas

---

## Junta fría

- Junta longitudinal entre dos carriles que han sido construidos en periodos de tiempo diferente.
- Diferencia en densidad es evidente
- Zona de baja densidad en el lado de la junta del carril que se construyó inicialmente y una zona de alta densidad en el lado de la junta del nuevo carril.

# Construcción de Juntas Transversales

- Al terminar las obras del día
- Corte a **profundidad completa** seguido por imprimación de la cara vertical que va a estar contigua a la mezcla a depositarse el día siguiente
- Primera pasada transversal con una aplanadora estática con ruedas de acero compactando una franja de 6" (15 cms) de la mezcla recién depositada



# Juntas Transversales (cont.)

---

- Repetir el procedimiento cubriendo una franja adicional de 6" a 8" (de 15 a 20 cms) hasta que el ancho del rodillo de la aplanadora esté ubicado en la mezcla recién depositada
- Proveer tablones del espesor apropiado para que el rodillo de la aplanadora pueda compactar adecuadamente el borde del pavimento

# Secuencia de Roleo

---

- Roleo inicial (“Breakdown Rolling”)
  - Primera pasada en la carpeta recién depositada
  - Puede utilizarse el mecanismo vibratorio

# Secuencia de Roleo (cont.)

---

- Roleo intermedio
  - Pasadas subsiguientes por la aplanadora(s) para obtener la densidad requerida antes de que la mezcla se enfríe a 225 °F (p.e. cotejar densidad con equipo nuclear)

# Secuencia de Roleo (cont.)

---

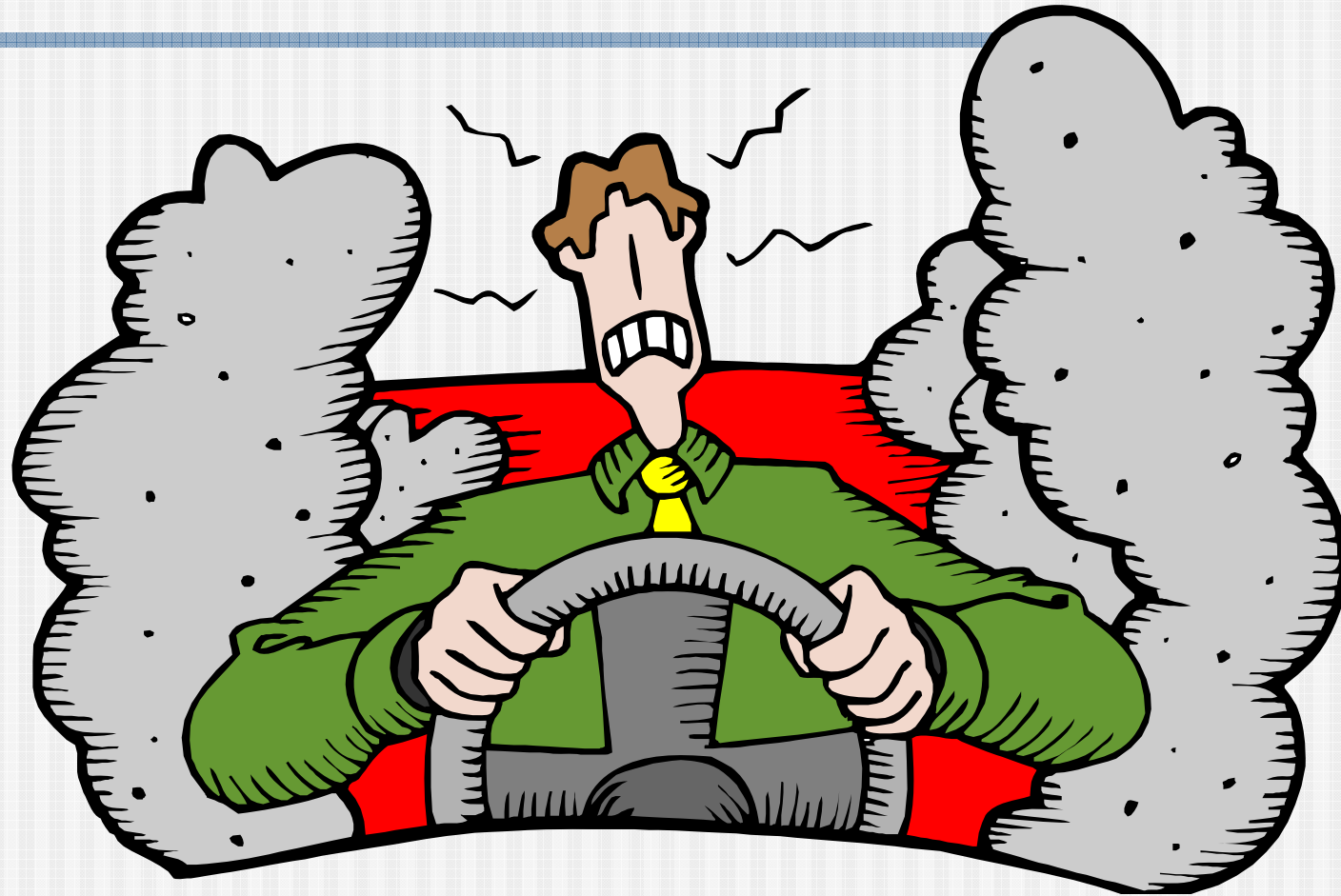
- Roleo final
  - Mejorar la superficie en términos de remoción de marcas del rodillo
  - \*\*\* no contribuye a la densidad\*\*\*
  - No debe utilizarse el mecanismo vibratorio de la aplanadora
  - La velocidad puede ser mayor pero nunca debe exceder las 7 mph

# Requerimientos de la Superficie: Esp. 401-3.13 (p 15)

---

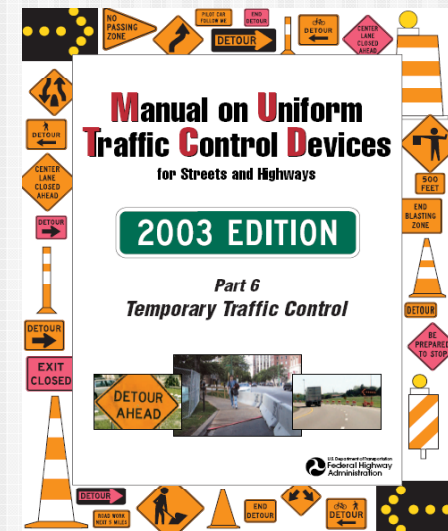
- Cotejo de las variaciones en la superficie:  
Utilizando un reglote de 10 pies (3 metros)
- Criterio a satisfacer:
  - No exceda 3/16" en 10 pies
  - No exceda 0.5 cm en 3 metros
  - % de longitud defectuosa no debe exceder 4% en ningún segmento de 300 metros de longitud
- Exceso de 1/2" (1.25 cm) debe corregirse con material de capa niveladora o de superficie

### 3. ASPECTOS DE SEGURIDAD



# Aspectos de Seguridad

- Seguridad en el proyecto
- Plan de Control de Tránsito
  - Especificación 638: Maintenance and Protection of Traffic
  - MUTCD-TTC Parte 6, USDOT-FHWA



# Referencias Técnicas

---

- Commonwealth of Puerto Rico, Department of Transportation and Public Works, Highway Authority, *Standard Specifications for Road and Bridge Construction*, **2005 edition**
- US Army Corps of Engineers, *Hot-Mix Asphalt Paving Handbook 2000*



# Referencias Técnicas (cont.)

---

- The Asphalt Institute: [www.asphaltinstitute.org](http://www.asphaltinstitute.org)
- Better Roads magazine: [www.betterroads.com](http://www.betterroads.com)
- Bomag: [www.bomag-americas.com](http://www.bomag-americas.com) - light equipment, heavy equipment
- video courses on HMA:  
[www.eng.auburn.edu/center/ncat/ed/edvideo.html](http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/ed/edvideo.html)

# Referencias Técnicas (cont.)

---

- FHWA: [www.fhwa.dot.gov](http://www.fhwa.dot.gov) - FHWA Websites
- [www.flexiblepavements.org](http://www.flexiblepavements.org)
- NAPA: [www.hotmix.org](http://www.hotmix.org)
- NACE: [www.naco.org/affils/nace/index.htm](http://www.naco.org/affils/nace/index.htm) -
- HMAT technology, HMA construction and production

# Referencias Técnicas (cont.)

---

- ATSSA: [www.atssa.com](http://www.atssa.com)
- ARRA: [www.arra.org](http://www.arra.org)
- Kandhal, P. "Moisture Susceptibility of HMA Mixes: Identification of Problem and Recommended Solutions",  
[www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep92-1.pdf](http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep92-1.pdf)

# Referencias Técnicas (cont.)

---

- HMA Pavement Mix Type Selection Guide:  
[www.fhwa.dot.gov/pavement/library.htm](http://www.fhwa.dot.gov/pavement/library.htm)
- Establishing Hot Mix Asphalt Mixing and Compaction Temperatures at the Project Level:  
[www.asphaltinstitute.org/superpav/temperature.html](http://www.asphaltinstitute.org/superpav/temperature.html)

Also: density specifications, full depth for parking lots, asphalt pavement construction, maintenance and repair, design mix, etc.

# Información Adicional

---

## **Benjamín Colucci, PhD, PE**

Departamento de Ingeniería Civil y  
Agrimensura

Recinto Universitario de Mayagüez  
Mayagüez, Puerto Rico 00681

Tel. (787) 834-6385 u 832-4040

Exts. 3393 ó 3403

Fax (787) 265-5695

**Cel (787) 806-6392**

**email: [bcolucci@uprm.edu](mailto:bcolucci@uprm.edu)**

Muchas gracias...

---

Fin

# Lista de Cotejo del Inspector: Proceso HMA

---

1. Temperaturas
2. %compactación → Densidad de mezcla compactada
3. Espesor de la capa compactada
4. Defecto existente en superficie con antelación a la colocación de la mezcla
5. Suavidad (smoothness) del producto compactado
6. Tipo de equipo (peso, velocidad)

# Lista de Cotejo: Equipos

---

## 1. Camiones

- Boleto de despacho (toneladas, tipo de mezcla, Temp, etc)
- Cumpla con el Reglamento de Dimensiones y Pesos

## 2. Pavimentadora y plancha (paver + screed)

## 3. Ski y controles asociados



# Lista de Cotejo: Equipos

---

4. Equipo nuclear
  - 97% de compactación
5. Equipo extracción de testigos (núcleos/cores) – cotejo de espesores y propiedades ingenieriles de la mezcla
6. Reglote de 3m (straightedge)
  - 3/16" en 10 pies
7. Profilograph – smoothness
  - PI – Profile Index (mm/m, pulg/milla)

# Defectos existentes

---

- Tipo de defecto
- Magnitud (% área con defecto)
- Severidad (baja, moderada, alta)
- Relacionado a carga (alligator, pothole, rutting, etc.)
- No relacionado a carga (bleeding)
- Defectos asociados a vicios de construcción (QC/QA deiciente)
  - (raveling, rutting, pothole, etc.)
- Falla funcional vs. estructural

# Cemento asfáltico

---

- Susceptibilidad a cambios de temperatura
- Criterios de selección en el estado de Texas incluyen el nivel de tráfico pesado esperado durante la vida útil del pavimento en terminos de ejes sencillos equivalentes a 18,000 lbs.  
 $\Sigma ESAL_{18}$