

# EFFECTOS DE LAS CARGAS SOBRE PAVIMENTOS Y ECONOMIAS DE ESCALA AL MOMENTO DE DISEÑAR UN PAVIMENTO.

ING. LUCIO CACERES

1° CONGRESO PARAGUAYO DE VIALIDAD Y TRANSITO

23-24 DE OCTUBRE DE 2014



# RESUMEN DE LOS PUNTOS A ANALIZAR

- ▶ 1) CARGAS Y SOBRECARGAS Y LAS CONSECUENCIAS SOBRE EL PAVIMENTO Y SOBRE LOS COSTOS DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA.
- ▶ 2) DISEÑO TECNICO Y DISEÑO POLITICO DE UN PAVIMENTO Y LAS ECONOMIAS DE ESCALA.

# LA CARGA COMO FUERZA TRASMITIDA AL PAVIMENTO

## FACTORES

- 1) CARGA
- 2) SUBRASANTE ( $E, \nu$ )
- 3) AMBIENTE ( $t, h,$  etc.)
- 4) ESTRUCTURAS, ESPESORES Y MATERIALES ( $h, E, \nu,$ )

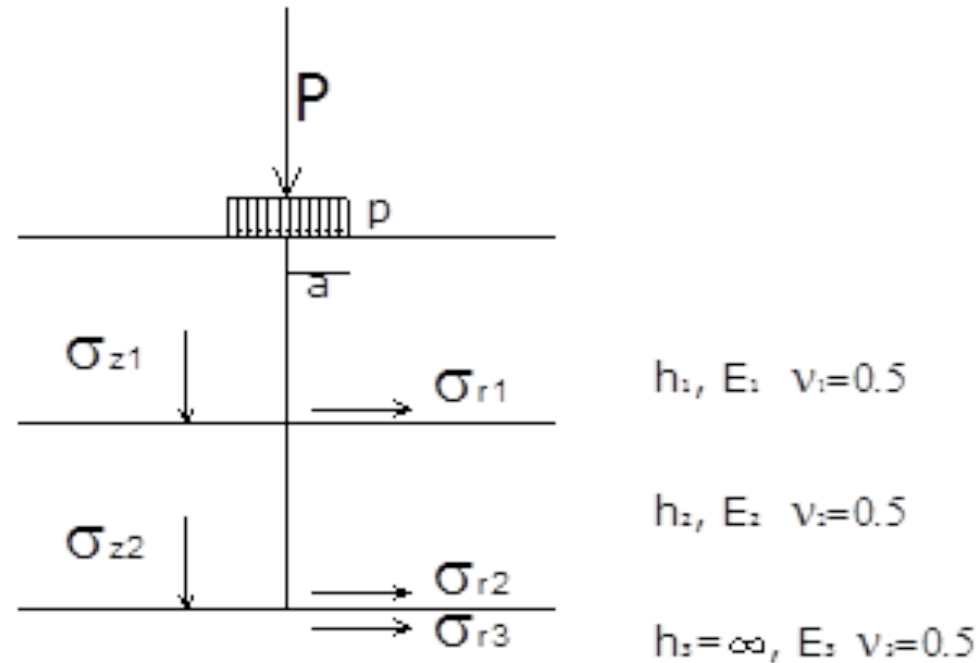


Figura 1 Sistemas Multicapa (Peattie - Jones)

## CARGA

- 1) PESO TOTAL POR RUEDA
- 2) PRESION DE INFLADO
- 3) APLICACIÓN DE LA CARGA EN LA SECCION TRANSVERSAL
- 4) SUPERPOSICION DE TENSIONES
- 5) REPETICION DE CARGAS Y RESPUESTA DE MATERIALES
- 6) VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE CARGAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

## TENSIONES QUE DETERMINAN LAS CAUSAS DE FALLA DE UN PAVIMENTO:

- TENSIONES DE COMPRESIÓN (EN GENERAL SOBRE LAS SUBRASANTE O SOBRE LAS BASES P SUBBASES POBRES)
- TENSIONES DE TRACCION POR FLEXION EN LA PRIMERA INTERCAPA (DEBAJO DE LAS CAPAS MÁS RIGIDAS)
- TENSIONES QUE PRODUCEN EL AHUELLAMIENTO DE LOS MATERIALES DE LAS CAPAS

# EXISTE UNA PROPORCIONALIDAD ENTRE LAS TENSIONES Y LAS CARGAS

## TENSIONES Y LAS CARGAS

### EJEMPLO DE LAS TENSIONES VERTICALES

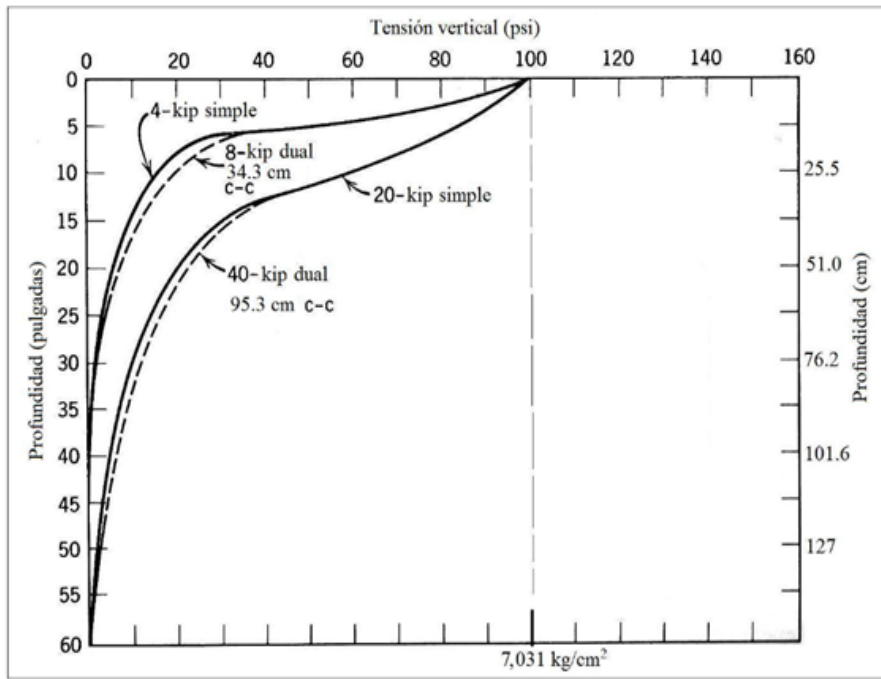


Figura 2 Tensión vertical de compresión y la carga por rueda en ruedas simples y duales (Principles of pavement design. Yoder&Witczak)

#### CONCLUSIONES

- 1) A MAS CARGA POR RUEDA MAS TENSIONES
- 2) ES ESCASA LA SUPERPOSICION DE TENSIONES EN LAS RUEDAS DUALES

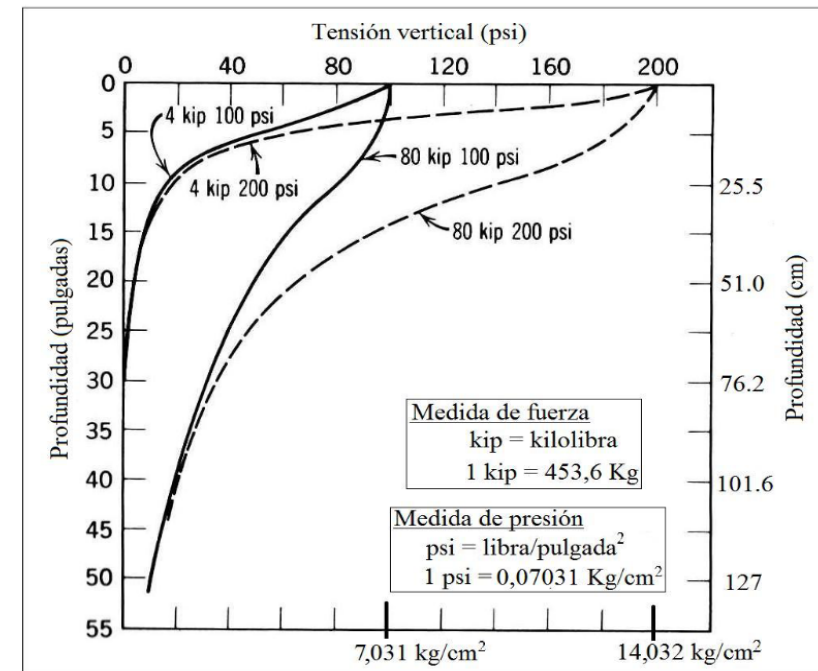


Figura 3 Variación de la tensión vertical de compresión con la profundidad y según la carga por rueda y la presión de inflado (Principles of pavement design. Yoder&Witczak)

#### CONCLUSIONES:

- 1) LA PRESION DE INFLADO ES RELEVANTE EN LA SUPERFICIE Y SE AMORTIGUA RAPIDAMENTE
- 2) LO QUE ES RELEVANTE ES LA CARGA POR RUEDA

# EXISTE UNA PROPORCIONALIDAD ENTRE LAS TENSIONES Y LAS CARGAS

## EJEMPLO DE LAS TENSIONES DE TRACCION POR FLEXION HORIZONTALES EN LA 1° INTERCAPA

### ACLARACIONES

- 1)  $h_1$  espesor de la capa más rígida
- 2)  $h_2$  espesor de la capa de base y subbase (constante)
- 3)  $\sigma_r/p$  tensiones expresadas en relación a la presión de inflado
- 4)  $K_1$  relación de rigideces entre la capa  $h_1$  y la capa  $h_2$ , para una relación de rigideces  $K_2$  constante entre  $h_2$  y  $h_3$

### CONCLUSIONES

- 1) Para una relación de rigideces  $K_1$  dada, cuanto menor es el espesor de la capa rígida en relación al espesor de la base, las tensiones de flexión son mayores
- 2) Cuando mayor es la relación de rigideces  $K_1$ , más rápidamente crecen las tensiones al bajar el espesor  $h_1$

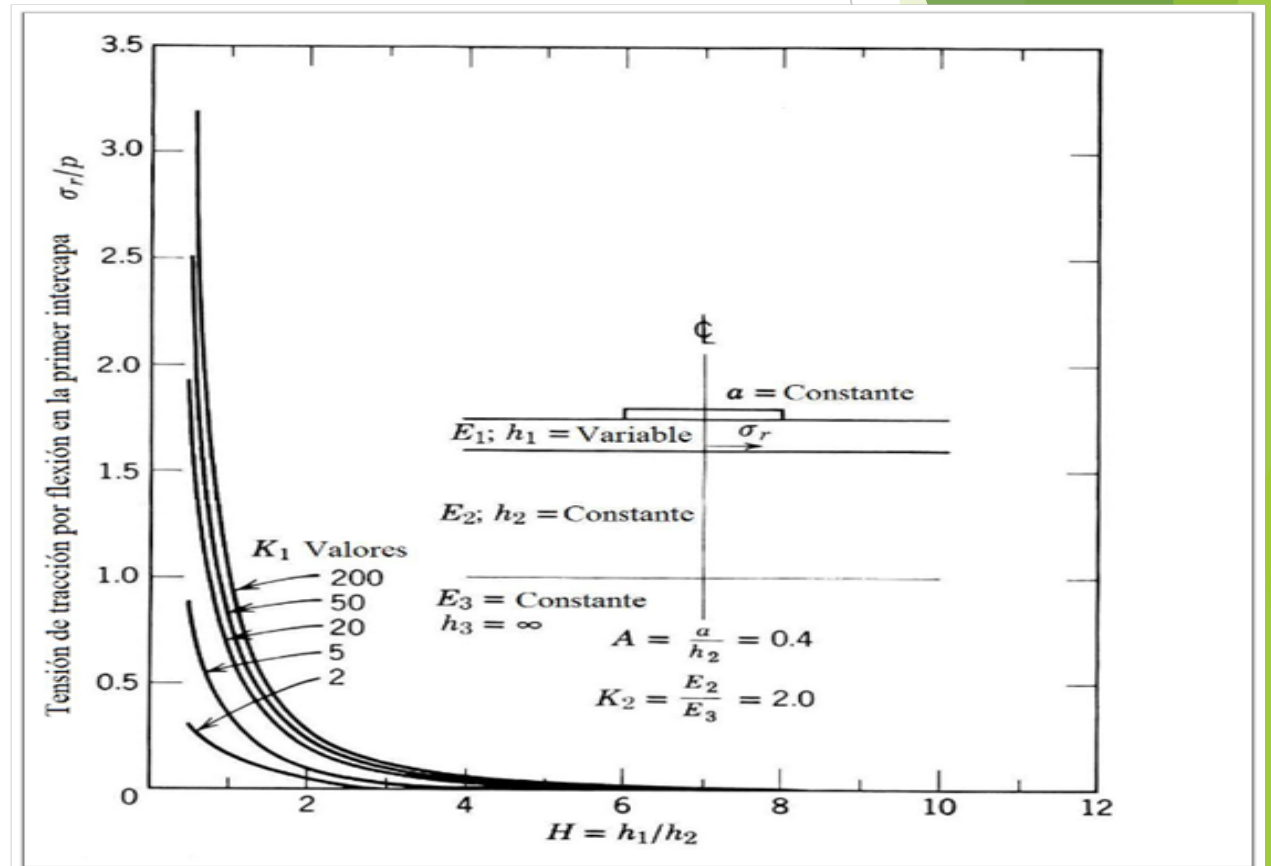


Figura 2-13 Tensiones de tracción por flexión en la primera intercapa. (Principles of pavement design. Yoder&Witczak)

# LOS ESTUDIOS DE EQUIVALENCIA DE DETERIORO

## ► 1) AASHO

$$F_j = \frac{N_{f18}}{N_{fj}} = \left[ \frac{(L_1 + L_2)^a}{(18 + 1)^a} \right] \left[ \frac{10^{G/\beta}}{10^{G/\beta_j} L_2^b} \right]$$

a=4.74 b=4.33 pavimentos flexibles  
a=4.62 b=3.28 pavimentos rígidos

Vehiculo Standard 18000 lb/ eje simple/ rueda dual  
(L<sub>1</sub>=18 L<sub>2</sub>=1)

## ► 2) DEACON

$$F_j = \left( \frac{\sigma_j}{\sigma_3} \right)^4$$

### CONCLUSION:

LA PROPORCIONALIDAD ENTRE EL DETERIORO CAUSADO POR UNA CARGA EN UN PAVIMENTO Y OTRA CARGA SE RELACIONAN POR LA POTENCIA CUARTA. ES DECIR, SI UNA CARGA PESA 1 Y OTRA CARGA PESA 1,2, LA CAPACIDAD DE DETERIORO ES 2,07

# LO MISMO EXPRESADO EN UNA TABLA CON LOS VALORES DE AASHO

CASO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE REPRESENTATIVO DE LA RED  
REGIONAL SN=3, Pt=2,0

EN U.S.A LA CARGA DE  
REFERENCIA EJE SIMPLE  
SON 18000 LB

EN EUROPA LA CARGA DE  
REFERENCIA EJE SIMPLE  
ES 10 TON

EN EL MERCOSUR LA  
CARGA DE REFERENCIA  
EJE SIMPLE ES DE 10  
TON

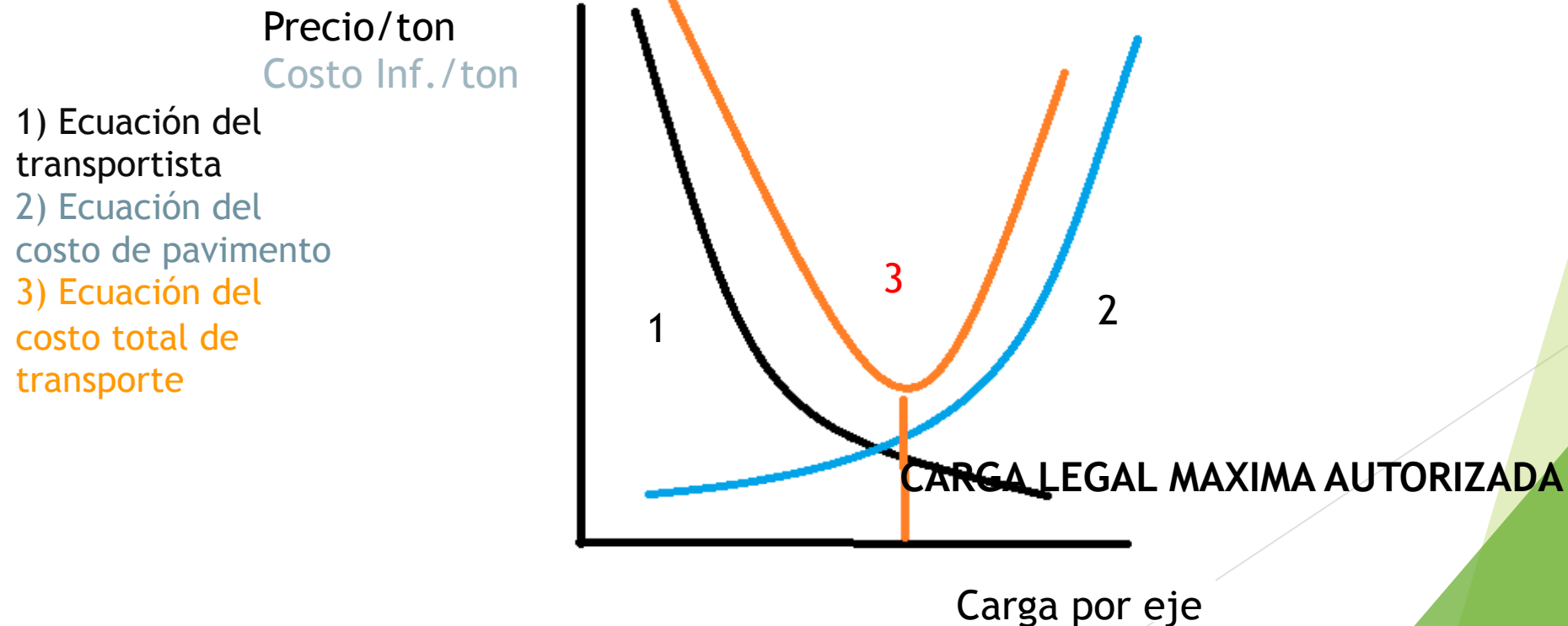
CONFIGURACIÓN DE EJES (AASHO Pt=2.0) SN=3		
EJE SIMPLE		
Carga/eje		Factor de deterioro del pavimento
2 kip	410 kg	0,0002
10 kip	4550 kg	0,09
12 kip	5460 kg	0,19
14 kip	6370 kg	0,35
16 kip	7280 kg	0,61
18 kip	8200 kg	1
20 kip	9100 kg	1,56
22 kip	10000 kg	2,35
EJE TANDEM		
Carga/eje		Factor de deterioro del pavimento
10 kip	4550 kg	0,01
20 kip	9100 kg	0,12
30 kip	13650 kg	0,65
32 kip	14600 kg	0,84
34 kip	15500 kg	1,08
36 kip	16400 kg	1,38
38 kip	17300 kg	1,73
40 kip	18200 kg	2,15

## Ejemplo:

Un camión con 22000 lb en  
un eje simple de rueda  
dual, deteriora igual que  
2,23 ejes de 18000 lb.  
Es decir, lleva un 22% más  
de carga pero rompe un  
235% más el pavimento  
(Aprox. 2,25 s/Deacon)

# CUAL ES LA RAZON PARA ESTABLECER LA CARGA LEGAL MAXIMA DE UN CAMION?

- Es un problema económico de balance entre la ecuación del costo de transporte del camión y la ecuación del costo de consumo de pavimento.





# LA CARGA MAXIMA HABITUAL DE DISTINTOS TIPOS DE VEHICULOS CARGADOS SEGUN MERCOSUR

	CAMION				OMNIBUS				AUTO
PRESION DE INFLADO	100-120 PSI- 7,03-8,43-KG/CM2				100-120 PSI- 7,03-8,43-KG/CM2				28-30PSI-1,96-2,11KG/CM2
PESO POR RUEDA	2500-3000 KG				2500-3000 KG				500 KG
PESO POR EJE (MERCOSUR)	EJE. DIR 6T	EJE DUAL 10,5T	EJE DOBLE 18t	EJE TRIPLE 25,5t	EJE. DIR 6T	EJE DUAL 10,5T	EJE DOBLE 18t	EJE DOB.1 15T	1 T

## CONCLUSION:

ES CLARO QUE OMNIBUS Y CAMIONES GENERAN FUERZAS MAYORES Y PRESIONES DE CONTACTO SUPERIORES A LOS AUTOS Y QUE RESULTAN EN TENSIONES MAYORES EN EL CUERPO DE LA ESTRUCTURA Y RESULTAN MAS DESTRUCTIVOS DEL PAVIMENTO

# CARGAS LEGALES EN LA REGION Y UNA REFLEXION

- ▶ **UNA REFLEXION**
- ▶ ES RAZONABLE QUE EN AMERICA DEL SUR, DONDE POR LA ESCASEZ DE RECURSOS NO TENEMOS PAVIMENTOS FUERTES, QUE TENGAMOS LAS MISMAS CARGAS DE REFERENCIA DE 10 T QUE EN EUROPA?
- ▶ ES RAZONABLE QUE ADEMAS LE HAYAMOS SUBIDO AL EJE SIMPLE 0,5 TON POR ENCIMA DE LAS 10T
- ▶ ES RAZONABLE QUE TENGAMOS 10 T DE CARGA POR EJE DUAL CUANDO USA TIENE 18.000LBS O 8,154 T? O SEA ACEPTAMOS QUE LOS PAVIMENTOS SE DESTRUYAN 2,26 VECES MÁS RÁPIDO QUE EN USA?
- ▶ ES RAZONABLE QUE ADEMAS EXISTAN TOLERANCIAS EN LAS CARGAS TOTALES Y POR EJE DE UN 10% ANTES DE ENTRAR EN EL NIVEL DE SANCIÓN O MULTA?
- ▶ LA CONSECUENCIA DE TODOS ESTOS PUNTOS ES, QUE LOS PAVIMENTOS DURAN MENOS QUE EN OTROS LUGARES Y NO RESULTA CONVENIENTE PARA LOS PAISES QUE NO TIENEN REDES CONSOLIDADAS CON PAVIMENTOS FUERTES.

# FACTORES A FAVOR Y EN CONTRA

- ▶ FALTARON ESTUDIOS PARA DEFINIR LA CARGA LEGAL EN LA REGION
- ▶ EL EJE DELANTERO ES RAZONABLE SE INCREMENTE POR LA FABRICACION DE VEHICULOS CON MOTOR DELANTERO, EN ÁRTICULAR DE OMNIBUS, PERO POR QUÉ EXTENDERLO A LOS CAMIONES?
- ▶ UN AUMENTO EN LAS CARGAS LEGALES SE TRANFIERE A LA COMPETITIVIDAD DE LAS MERCADERIAS EN LOS PAISES O SE TRANSFIERE A LA ECONOMÍA DEL CAMIÓN
- ▶ LA FIJACION DE PRECIOS DEL FLETE FUNCIONA COMO UN MERCADO PERFECTO DONDE LOS PRECIOS RESPONDEN A LOS COSTOS, CUANDO HAY SITUACIONES DE OLIGOPOLIO EN LA DEMANDA DE FLETES? O EL EXCESO DE CARGA GENERA UN SUBSIDIO DE LA SOCIEDAD A FAVOR DEL QUE CONTRATA LOS FLETES?
- ▶ LA DISMIUCION DE LA VIDA UTIL REPRESENTA UNA CARGA A LOS ESTADOS QUE SEA SOSTENIBLE, AL MISMO TIEMPO QUE MANTENER UNA RED VIAL EN CONDICIONES?

# ES NECESARIO CONTROLAR LAS CARGAS PESADAS SI SE HA DE TENER UNA RED VIAL EN BUENAS CONDICIONES

## ▶ CONTROL PUNITIVO DE CARGAS

- ▶ ES EL CONTROL QUE SE REALIZA CON EL OBJETO DE ESTABLECER SANCIONES AL EXCESO DE CARGA.
  - ▶ CARGA TOTAL DEL VEHICULO
  - ▶ CARGA POR EJE DEL VEHICULO
  - ▶ BALANZAS FIJAS EN PUESTOS FIJOS (PASOS DE FRONTERA, PUESTOS FIJOS ESTRATÉGICOS, ETC.) ESTATICAS Y DINAMICAS
  - ▶ BALANZAS MOVILES

## ▶ CONTROL INFORMATIVO DE CARGAS

- ▶ ES UN CONTROL QUE PERMITE MEJOR ORIENTAR LA UBICACIÓN DE LAS BALANZAS MOVILES PUNITIVAS.

# DISPOSITIVOS DE PESAJE

BALANZA  
TRADICIONAL



BALANZA DINAMICA



CONTEO Y PESAJE  
INFORMATIVO



BALANZA POR EJE



BALANZA MOVIL



FIBRA OPTICA PARA PESAJE



# SISTEMA DE CONTROL DE CARGAS

- ▶ ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CARGAS
  - ▶ PODERES DE FISCALIZACIÓN
  - ▶ PODERES POLICIALES DE SANCION
- ▶ FUNCIONAMIENTO Y COSTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CARGAS
  - ▶ USD 8:000.000/AÑO PARA UN PAIS QUE DEBERIA INVERTIR USD 360.000.000 ANUALES EN MANTENIMIENTO Y REPOSICIÓN (2,2%)
- ▶ AHORROS DEL SISTEMA DE CONTROL DE CARGAS
  - ▶ SI TUVIERAMOS UN 10% DE SOBRECARGADOS CON UN 20% DE SOBRECARGA, TENDRIAMOS UN CONSUMO DE INFRAESTRUCTURA DE UN 10% O SEA USD 36.000.000 ANUALES.
- ▶ DIFICULTADES DEL SISTEMA DE CONTROL DE CARGAS

# DISEÑO TECNICO Y DISEÑO POLITICO

## ▶ DISEÑO TECNICO

- ▶ P.E: METODO DE AASHTO
- ▶ SE DISEÑA EL PAVIMENTO PARA UNA CIERTA VIDA UTIL DE 20 AÑOS, PARA UN NIVEL DE SERVICIO FINAL ADMISIBLE, PARA LA CANTIDAD DE REPETICIONES DE EJES QUE SE PRODUCIRÁN DURANTE ESE PLAZO,
- ▶ UN DISEÑO QUE BUSCA LA SUSTENTABILIDAD FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL

## ▶ DISEÑO POLITICO

- ▶ SE REPARTE EL DINERO DISPONIBLE ENTRE LA LONGITUD DE CAMINOS DEMANDADOS
- ▶ UN DISEÑO QUE BUSCA LA SATISFACCIÓN PUBLICA DE CORTO PLAZO

# APLICACIÓN DEL METODO TECNICO

- ▶ SUPONGAMOS LA FORMULA SIMPLIFICADA DE AASHTO PARA  $P_t=1,5$ ,  $R=1$ ,  $S_i=3$ . (AASHTO 73)

$$\log W_{t18} = 9,36 \cdot \log(SN+1) - 0,20 + \log\left(\frac{(4,2 - P_t)}{(4,2 - 1,5)}\right) / (0,40 + (1094/SN+1)^{5,19}) + \log(1/R) + 0,372 \cdot (S_i - 3,0)$$

$$\log W_{t18} = 9,36 \cdot \log(SN+1)$$

Supongamos que el  $SN = 4$ . (15 cm de mezcla asfáltica y 37 cm. de bases granulares)

Cantidad de repeticiones admisibles: 3:486.256 ee18kips

Si  $SN = 3,17$  (10 cm de mezcla asfáltica y 37 cm. de bases granulares)

Cantidad de repeticiones admisibles: 637490 ee18kips



# DISEÑO TECNICO DE PAVIMENTO Y COSTO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA

DISEÑO SIMPLIFICADO SEGÚN AASHTO					PAVIMENTO		
SN	LOG10(SN+1)	Log Wt18	Wt18		15CM	MEZCLA ASFALTICA	SN
4	0,698970004	6,542359241	3486256		37 CM	BASES GRANULARES	1,4
							4,0
CARGA TRANSPORTADA Y PAGA							
CARGA POR EJE (LB)	PAYLOAD (LB)	PESO VACIO (LB)	CARGA TOTAL (LB)	CARGA PAGA (LB)			
18000	14000	4000	62752603	48807580			
CARGA POR EJE (TON)	PAYLOAD (TON)	PESO VACIO (TON)	CARGA TOTAL (TON)	CARGA PAGA (TON)			
8154	6342	1812	28426929	22109834			
PRECIO DE FLETE							
PRECIO DE FLETE USD/TON.KM							
0,14							
PRECIO DE LA INFRAESTRUCTURA							
PRECIO POR KM USD	PAYLOAD (TON)	N° APLICACIONES	TOTAL CARGA PAGA APLICADA (TON)				
1000000	6,342	3486256	22109834				
	CARGA TOTAL (TON)	N° APLICACIONES	TOTAL CARGA APLICADA (TON)				
	8,154	3486256	28426929				
COSTO INFRAESTRUCTURA/TON.KM PAGA							
0,045228743							
COSTO INFRAESTRUCTURA/TON.KM TOTAL							
0,035177912							

# DISEÑO POLITICO DE PAVIMENTO Y COSTO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA

DISEÑO SIMPLIFICADO SEGÚN AASHTO							
					<b>PAVIMENTO</b>		<b>SN</b>
	SN	LOG10(SN+1)	Log Wt18	Wt18	10 CM	MEZCLA ASFALTICA	1,76
	3,17	0,620136055	5,804473475	637490	37 CM	BASES GRANULARES	1,41
							3,17
<b>CARGA TRANSPORTADA Y PAGA</b>							
	<b>CARGA POR EJE (LB)</b>	<b>PAYLOAD (LB)</b>	<b>PESO VACIO (LB)</b>	<b>CARGA TOTAL (LB)</b>	<b>CARGA PAGA (LB)</b>		
	18000	14000	4000	11474823	8924862		
	<b>CARGA POR EJE (TON)</b>	<b>PAYLOAD (TON)</b>	<b>PESO VACIO (TON)</b>	<b>CARGA TOTAL (TON)</b>	<b>CARGA PAGA (TON)</b>		
	8154	6342	1812	5198095	4042962		
<b>PRECIO DE FLETE</b>							
	<b>PRECIO DE FLETE</b>						
	<b>USD/TON.KM</b>						
	0,14						
<b>PRECIO DE LA INFRAESTRUCTURA</b>							
	<b>PRECIO POR KM USD</b>	<b>PAYLOAD (TON)</b>	<b>N° APLICACIONES</b>	<b>CARGA PAGA APLICADA (TON)</b>			
	764000	6,342	637490	4042962			
		<b>CARGA TOTAL (TON)</b>	<b>N° APLICACIONES</b>	<b>TOTAL CARGA APLICADA (TON)</b>			
		8,154	637490	5198095			
	<b>COSTO INFRAESTRUCTURA/TON.KM PAGA</b>						
	0,188970341						
	<b>COSTO INFRAESTRUCTURA/TON.KM TOTAL</b>						
	0,146976932						

# EN SINTESIS: CON EL DISEÑO POLITICO SE PIERDEN LAS ECONOMIAS DE ESCALA

SN	COSTO PAVIMENTO USD/TON.KM PAGA	PRECIO FLETE USD/TON.KM PAGA	PRECIO TOTAL DEL TRANSPORTE USD/TON.KM PAGA
4	0,045	0,14	0,185
3,17	0,189	0,14	0,329

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ▶ PARA QUE UNA RED VIAL SE CONSERVE EN BUEN ESTADO, ADEMÁS DE MANTENERLA Y REHABILITARLA PERIODICAMENTE, ES NECESARIO CUIDARLA
- ▶ EL CAMION ES EL MAS AGRESIVO ACTOR DEL PAVIMENTO, MUCHO MAS QUE LO QUE LA INTUICIÓN ORIENTA, EL DETERIORO CRECE CON LA POTENCIA 4.
- ▶ ES NECESARIO Y RENTABLE CONTROLAR LAS CARGAS Y OBLIGAR AL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS. UN 20% DE SOBRECARGA EN TODOS LOS CAMIONES REDUCE A LA MITAD LA VIDA UTIL DE UN PAVIMENTO.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ▶ ES NECESARIO DISEÑAR LOS PAVIMENTOS TÉCNICAMENTE PARA OBTENER UN MEJOR RESULTADO ECONOMICO DEL TRANSPORTE.
- ▶ EL CRITERIO POLÍTICO DE DISTRIBUIR RECURSOS ENTRE LONGITUD DEMANDADA PARA REDUCIR EL IMPORTE, LLEVA AL SUBDIMENSIONAD DEL PAVIMENTO Y A EXCESOS EN LOS COSTOS DE TRANSPORTE.
- ▶ LOS PAISES POBRES TIENEN QUE INVERTIR INTELIGENTEMENTE Y SE LOGRA USANDO LAS MEJORES TÉCNICAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN Y EL CUIDADO EN EL EXCESO DE LAS CARGAS.

The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. The shapes are primarily triangles and polygons, creating a dynamic, layered effect. The overall composition is clean and modern, with the text centered in the white space.

# MUCHAS GRACIAS

1° CONGRESO DE VIALIDAD Y TRANSITO DE PARAGUAY  
ASOCIACION PARAGUAYA DE CARRETERAS  
23-24 DE OCTUBRE DE 2014