

# MECÁNICA DE PAVIMENTOS

## Cargas de Tránsito

---



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



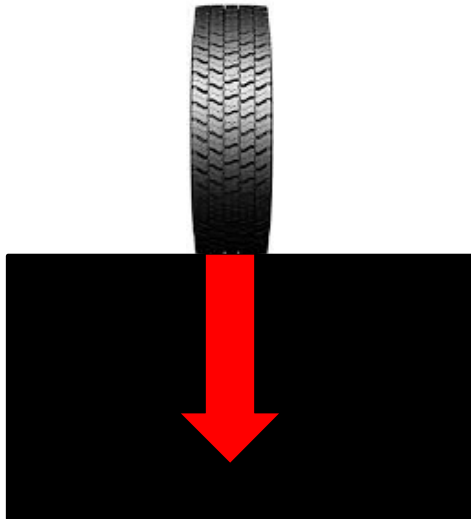
UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

Dr. Ing. Leonardo Behak  
Instituto de Estructuras y Transporte

# CARGAS DE TRÁNSITO

## Características

Magnitud de Carga



Configuración de Carga



Número de Repeticiones de Carga



# CARGAS DE TRÁNSITO

## Métodos de Consideración de Efectos de Vehículos y Tránsito



Tránsito Fijo  
Vehículo Fijo  
Tránsito y Vehículo Variable



# CARGA DE TRÁNSITO FIJO

Espesor de pavimento gobernado por una carga de rueda simple y el número de repeticiones no es considerado

Carga de Rueda Simple



Pavimento sometido a ruedas múltiples

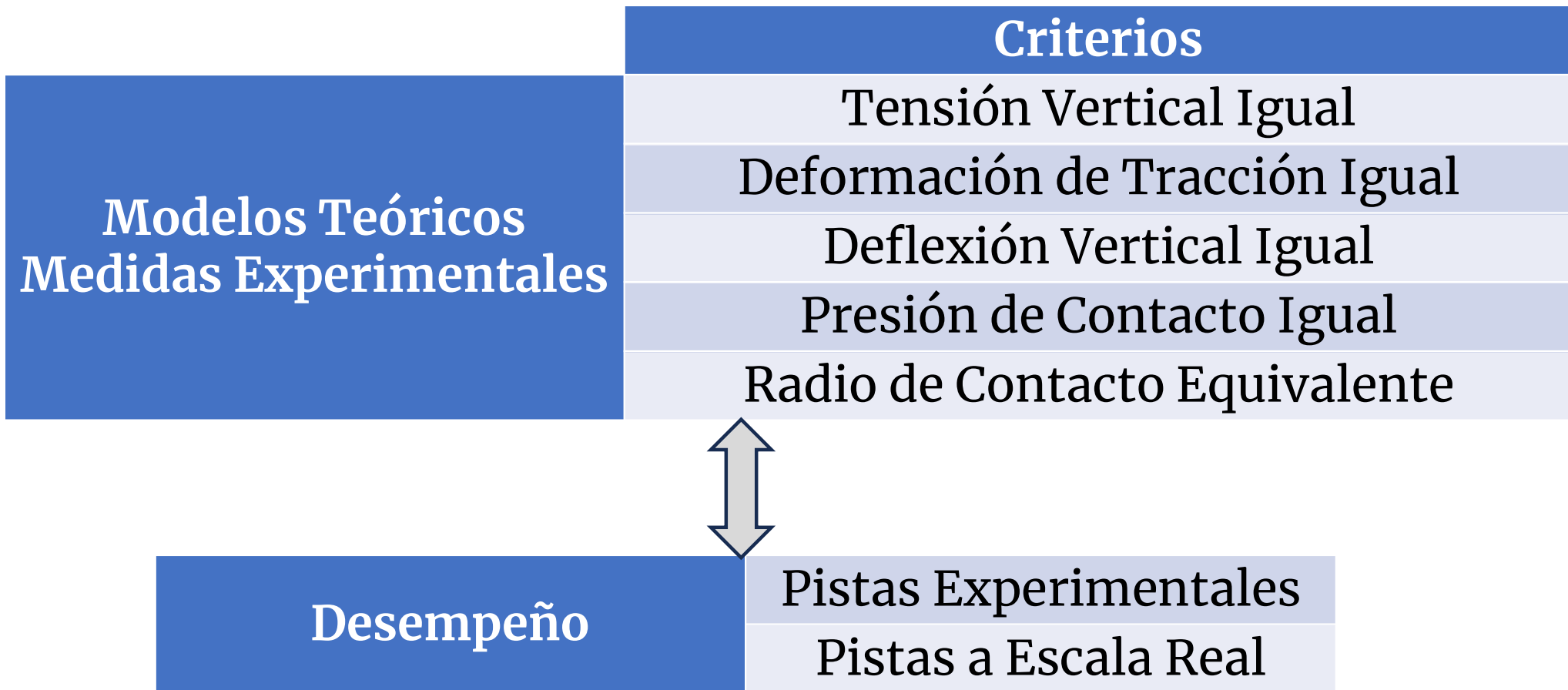


Carga de Rueda Simple Equivalente (ESWL)



Carga de rueda más pesada prevista es usada para diseño

# CARGA DE RUEDA SIMPLE EQUIVALENTE (ESWL)



# CARGA DE VEHÍCULO FIJO

Espesor de pavimento gobernado por el número de repeticiones de una carga de eje o vehículo estándar

Carga de Eje Simple



18 kip = 80 kN

Cargas de Ejes Diferentes



Factor de Carga de Eje Equivalente (EALF)



Daño causado respecto a Eje Estándar

# FACTOR DE CARGA DE EJE EQUIVALENTE (EALF)

## Pavimentos Flexibles

### Factores de Equivalencia AASHTO (AASHTO Road Test)

$$EALF = \frac{W_{tx}}{W_{t18}}$$

$W_{tx}$ : Número de aplicaciones de carga de eje x en tiempo t

$W_{t18}$ : Número de cargas de eje simple de 18 kip en tiempo t

$$\log(EALF) = 4,79 \cdot \log(18 + 1) - 4,79 \cdot \log(L_x + L_2) + 4,33 \cdot \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$L_x$  (kip): Carga de un eje simple o juego de ejes tandem o tridem

$L_2$ : Código de eje (1: eje simple; 2: ejes tandem; 3: ejes tridem)

$\beta_{18}$ : Valor de  $\beta_x$  cuando  $L_x = 18$  kip y  $L_2 = 1$

# EALF AASHTO

$$G_t = \log \left( \frac{4,2 - p_t}{4,2 - 1,5} \right)$$

$$\beta_x = 0,40 + \frac{0,081(L_x + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} \cdot L_2^{3,23}}$$

$p_t$ : Servicio Terminal (indica la condición de pavimento a considerarse como de falla)

SN: Número Estructural (función de espesor y módulo de cada capa y condiciones de drenaje de base y sub-base)

## Dificultad del Método

EALF depende de SN y SN  
depende del espesor de capa  
(a diseñar)



Solución por  
método de iteración



# EALF AASHTO

## AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 (AASHTO 1993)

Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and  $p_t$  of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

# AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993

Table D.5. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Tandem Axles and  $p_1$  of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0001	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000
4	.0005	.0005	.0004	.0003	.0003	.0002
6	.002	.002	.002	.001	.001	.001
8	.004	.006	.005	.004	.003	.003
10	.008	.013	.011	.009	.007	.006
12	.015	.024	.023	.018	.014	.013
14	.026	.041	.042	.033	.027	.024
16	.044	.065	.070	.057	.047	.043
18	.070	.097	.109	.092	.077	.070
20	.107	.141	.162	.141	.121	.110
22	.160	.198	.229	.207	.180	.166
24	.231	.273	.315	.292	.260	.242
26	.327	.370	.420	.401	.364	.342
28	.451	.493	.548	.534	.495	.470
30	.611	.648	.703	.695	.658	.633
32	.813	.843	.889	.887	.857	.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.6	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	25.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29.0	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33.0	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.6	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48.0	43.9	35.0	27.8	26.2	28.8
80	54.0	49.4	39.2	30.9	29.0	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32.0	34.8
84	67.8	61.9	49.0	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7

# ANÁLISIS TEÓRICO DE DETERMINACIÓN DEL EALF

## Criterio de Falla por Fisura de Fatiga (Deacon, 1969)

$$EALF = \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = \left( \frac{\epsilon_x}{\epsilon_{18}} \right)^4$$

$\epsilon_i$ : Deformación de tracción en fondo de capa asfáltica debida a carga de eje de  $i$  kip

Eje Simple

$$EALF = \left( \frac{L_x}{18} \right)^4$$

Igual número de ejes

$$EALF = \left( \frac{L_x}{L_s} \right)^4$$

$L_x$  (kip): Carga de eje simple, tándem o tridem

$L_s$  (kip): Carga de eje estándar con igual número de ejes que  $L_x$

# ANÁLISIS TEÓRICO DE DETERMINACIÓN DEL EALF

## Criterio de Falla por Control de Deformación Permanente

$$EALF = \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = \left( \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{18}} \right)^4$$

$\varepsilon_i$ : Deformación de compresión en tope de subrasante debida a carga de eje de  $i$  kip

Eje Simple

$$EALF = \left( \frac{L_x}{18} \right)^4$$

Igual número de ejes

$$EALF = \left( \frac{L_x}{L_s} \right)^4$$

$EALF_{fatiga} \neq EALF_{deformación}$  para  $L_s$  de eje simple y  $L_x$  de eje múltiple

# FACTOR DE CARGA DE EJE EQUIVALENTE (EALF)

## Pavimentos Rígidos

### Factores de Equivalencia AASHTO

$$\log \left( \frac{W_{tx}}{W_{t18}} \right) = 4,62 \cdot \log(18 + 1) - 4,62 \cdot \log(L_x + L_2) + 3,28 \cdot \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$G_t = \log \left( \frac{4,5 - p_t}{4,5 - 1,5} \right)$$

$$\beta_x = 1 + \frac{3,63(L_x + L_2)^{5,20}}{(D + 1)^{8,46} \cdot L_2^{3,52}}$$

D (inch): Espesor de losa de hormigón

# AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993

Table D.10. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles and  $p_t$  of 2.0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	002	002	002	002	002	002	002	002
6	011	010	010	010	010	010	010	010	010
8	035	033	032	032	032	032	032	032	032
10	087	084	082	081	080	080	080	080	080
12	186	180	176	175	174	174	173	173	173
14	353	346	341	338	337	336	336	336	336
16	.614	.609	.604	.601	.599	.599	.598	.598	.598
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 55	1 56	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59	1 59
22	2 32	2 32	2 35	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41	2 42
24	3 37	3 34	3 40	3 47	3 51	3 53	3 54	3 55	3 55
26	4 76	4 69	4 77	4 88	4 97	5 02	5 04	5 06	5 06
28	6 58	6 44	6 52	6 70	6 85	6 94	7 00	7 02	7 04
30	8 92	8 68	8 74	8 98	9 23	9 39	9 48	9 54	9 56
32	11 9	11 5	11 5	11 8	12 2	12 4	12 6	12 7	12 7
34	15 5	15 0	14 9	15 3	15 8	16 2	16 4	16 6	16 7
36	20 1	19 3	19 2	19 5	20 1	20 7	21 1	21 4	21 5
38	25 6	24 5	24 3	24 6	25 4	26 1	26 7	27 1	27 4
40	32 2	30 8	30 4	30 7	31 6	32 6	33 4	34 0	34 4
42	40 1	38 4	37 7	38 0	38 9	40 1	41 3	42 1	42 7
44	49 4	47 3	46 4	46 6	47 6	49 0	50 4	51 6	52 4
46	60 4	57 7	56 6	56 7	57 7	59 3	61 1	62 6	63 7
48	73 2	69 9	68 4	68 4	69 4	71 2	73 3	75 3	76 8
50	88 0	84 1	82 2	82 0	83 0	84 9	87 4	89 8	91 7

# CARGA DE EJE SIMPLE EQUIVALENTE (ESAL)

Base del diseño del pavimento

$$ESAL = \sum_{i=1}^m EALF_i \cdot n_i$$

$m$ : N° de grupos de carga de eje

$n_i$ : N° de repeticiones de carga del grupo de carga  $i$  en período de diseño

## CARGA DE EJE SIMPLE EQUIVALENTE (ESAL)

$$ESAL = \left( \sum_{i=1}^n EALF_i \cdot p_i \right) (ADT)_o (T)(A)(G)(D)(L)(365)(Y)$$

$p_i$ : Porcentaje de repeticiones del grupo  
 $ADT_o$ : Tránsito Promedio Diario inicial  
T: Porcentaje de Camiones en ADT  
A: N° promedio de ejes por camión  
G: Factor de Crecimiento  
D: Factor de Distribución Direccional  
L: Factor de Distribución de Carril  
Y: Período de Diseño (años)

Factor de Camión

$$T_f = \left( \sum_{i=1}^n EALF_i \cdot n_i \right) (A)$$



## CARGA DE TRÁNSITO Y VEHÍCULO VARIABLE

Cada tránsito y vehículo es considerado por separado  
No son necesarios factores de equivalencia para cada carga de eje



Cargas se dividen en grupos

Tensiones, deformaciones y deflexiones de cada grupo se determinan por separado en el diseño

# VOLUMEN DE TRÁNSITO

## Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)



Volumen de vehículos promedio del tránsito diario a lo largo del año

**Contabilidad de Tránsito Diario en:**

Días de semana hábiles y fin de semana

Sesiones (Temporales y Productivas)

### Autopistas

Alto Volumen de Tránsito

Bajo Volumen de Tránsito

Caminos de Bajo Volumen de Tránsito (CBV)

TPDA < 500 ESAL (Behrens, 1999)

# INTERACCIÓN RUEDA-PAVIMENTO

Análisis de tensiones y deformaciones en pavimentos requiere conocer  
Presión de Contacto (p)

Van Vuuren (1974)

Investigación de laboratorio con ensayos  
de compresión de 6 tipos de neumáticos

$$q(\text{kPa}) = 0,66p + 145$$

q: Presión de Contacto de Rueda

p: Presión de Inflado de Neumático

