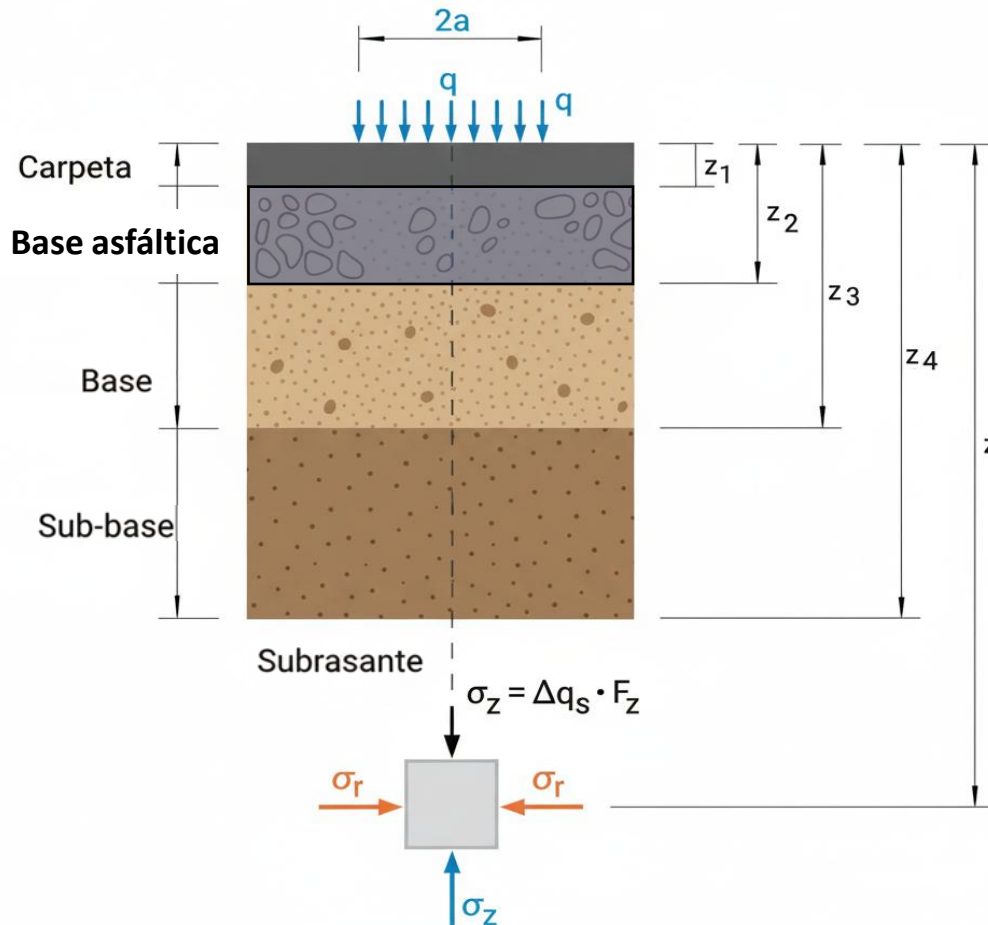


Análisis y Diseño de Pavimentos por la Metodología de la UNAM

Guía elaborada por M. en I. Ing. Martín Olvera Corona
Agosto 2025

El Modelo Teórico parte de los siguientes supuestos:

Para analizar el comportamiento del pavimento, se integra la teoría de distribución de esfuerzos verticales de Boussinesq, desarrollada para una placa circular flexible de radio “a” apoyada sobre un medio elástico, homogéneo e isotrópico.



$$\sigma_z(i) = q \left[1 - \frac{Z^3}{(a^2 + Z^2)^{3/2}} \right]$$

Z = Profundidad del daño en cm

q = Presión de contacto en kg/cm^2

a = Radio de la placa circular de carga o presión “ q ”



$$\text{daño unitario}_Z = f\{\sigma_Z\} = f\{q, Z, P, a\}$$

$$a = \sqrt{\frac{1000(P)}{2\pi q}}$$

Eje sencillo

$$a = \sqrt{\frac{1000(P)}{4\pi q}}$$

$Z < 30\text{cm}$

Eje doble o Tándem

$$a = \sqrt{\frac{1111(P)}{4\pi q}}$$

$$a = \sqrt{\frac{1000(P)}{6\pi q}}$$

$Z < 30\text{cm}$

Eje triple o Trídem

$$a = \sqrt{\frac{1333(P)}{6\pi q}}$$

Cálculo del esfuerzo vertical en kg/cm² que produce cualquier carga

$$\sigma_Z(i) = q \left[1 - \frac{Z^3}{(a^2 + Z^2)^{3/2}} \right]$$

Cálculo del esfuerzo vertical en kg/cm² que produce una carga estandar

$$\sigma_Z(st) = 5.8 \left[1 - \frac{Z^3}{(15^2 + Z^2)^{3/2}} \right]$$

Cálculo del coeficiente de daño unitario

$$d = 10^{\left[\frac{\log(\sigma_Z(i)) - \log(\sigma_Z(st))}{\log(1.5)} \right]}$$

$$P = f(\text{tipo camino})$$

No. Eje	Tipo Eje	L2 Clave	No. Lantas	Tipo de camino				Formula para calcular la cantidad de ejes en el 1er. Año
				ET Y A	B	C	D	
0	Sencillo	1	2	1	1	1	1	$2 \cdot A \cdot (fvc + fvv)$
1	Sencillo	1	2	6.5	6	5.5	5	$(100 - A + B4) \cdot fvc$
2	M-Dual	1	4	12.5	10.5	9	8	$(B2 + C2 + T2S1 + T2S2 + T2S3 + T2S2S2) \cdot fvc$
3	Dual	1	4	10	9.5	8	7	$(2 \cdot C2R2 + 2 \cdot C3R2 + C3R3 + C2R3 + 3 \cdot T2S1R2 + 2 \cdot T2S1R3 + 2 \cdot T2S2R2 + 3 \cdot T3S1R2 + 2 \cdot T3S1R3 + 2 \cdot T3S2R2 + T3S2R3) \cdot fvc$
4	Dual	1	4	11	9.5	8	7	$(T2S1 + T3S1) \cdot fvc$
5	M-Dual	1	4	11	10.5	9	8	$(C2R2 + C2R3 + T2S1R2 + T2S1R3 + T2S2R2) \cdot fvc$
6	Sencillo	1	2	4	4	4	4	$(B2 + B36 + B38 + 2 \cdot B4 + 2 \cdot C2 + C36 + C38 + 4 \cdot C2R2 + 3 \cdot C3R2 + 2 \cdot C3R3 + 3 \cdot C2R3 + 3 \cdot T2S1 + 2 \cdot T2S2 + T3S2 + T3S3 + 2 \cdot T3S1 + 5 \cdot T2S1R2 + 4 \cdot T2S1R3 + 4 \cdot T2S2R2 + 4 \cdot T3S1R2 + 3 \cdot T3S1R3 + 3 \cdot T3S2R2 + T3S2R4 + 2 \cdot T3S2R3 + T3S3S2 + 2 \cdot T2S2S2 + T3S2S2) \cdot fvv$
7	Sencillo	1	4	7	7	7	7	$(B2 + B36 + B38 + B4) \cdot fvv$
8	M-Doble	2	6	17.5	13	11.5	11	$(B36 + B4 + C36 + T3S1R3) \cdot fvc$
9	M-Doble	2	8	21	17	14.5	13.5	$(B38 + C38 + T3S2 + T3S3 + T3S1 + T3S2S2) \cdot fvc$
10	Doble	2	8	17	15	13.5	12	$(C3R3 + C2R3 + T2S1R3 + T2S2R2 + T3S1R3 + T3S2R2 + 3 \cdot T3S2R4 + 2 \cdot T3S2R3 + 2 \cdot T2S2S2 + 2 \cdot T3S2S2) \cdot fvc$
11	Doble	2	8	19	15	13.5	12	$(T2S2 + T3S2 + T3S3S2) \cdot fvc$
12	M-Doble	2	8	18	17	14.5	13.5	$(C3R2 + C3R3 + T3S1R2 + T3S2R2 + T3S2R4 + T3S2R3 + T3S3S2) \cdot fvc$
13	Doble	2	8	4.5	4.5	4.5	4.5	$(C36 + C38 + C3R2 + 2 \cdot C3R3 + C2R3 + T2S2 + 2 \cdot T3S2 + T3S3 + T3S1 + T2S1R3 + T2S2R2 + T3S1R2 + 2 \cdot T3S1R3 + 2 \cdot T3S2R2 + 4 \cdot T3S2R4 + 3 \cdot T3S2R3 + 2 \cdot T3S3S2 + 2 \cdot T2S2S2 + 3 \cdot T3S2S2) \cdot fvv$
14	Triple	3	12	23.5	22.5	20	18	$T3S3S2 \cdot fvc$
15	Triple	3	12	26.5	22.5	20	18	$(T3S3 + T2S3) \cdot fvc$
16	Triple	3	12	5	5	5	5	$T3S3S2 \cdot fvv$

Pvp = Porcentaje de vehículos cargados.
fvp = Factor de vehículos cargados
fvv = Factor de vehículos vacíos














No de carriles por sentido de circulación	Rangos para el Coeficiente de distribución para el carril de diseño	Propuesta Factor de carril de diseño fcd
1	0.5	0.50
2	De 0.4 a 0.5	0.45
3 o más	De 0.3 a 0.4	0.40











Cuadro 8. Coeficientes de distribución para el carril de diseño. Fuente: Elaboración propia







$$TDP_{Ac} = fcd \cdot (TDPA)$$

$$fvp = 0.0365 \cdot Pvp \cdot TDP_{Ac}$$

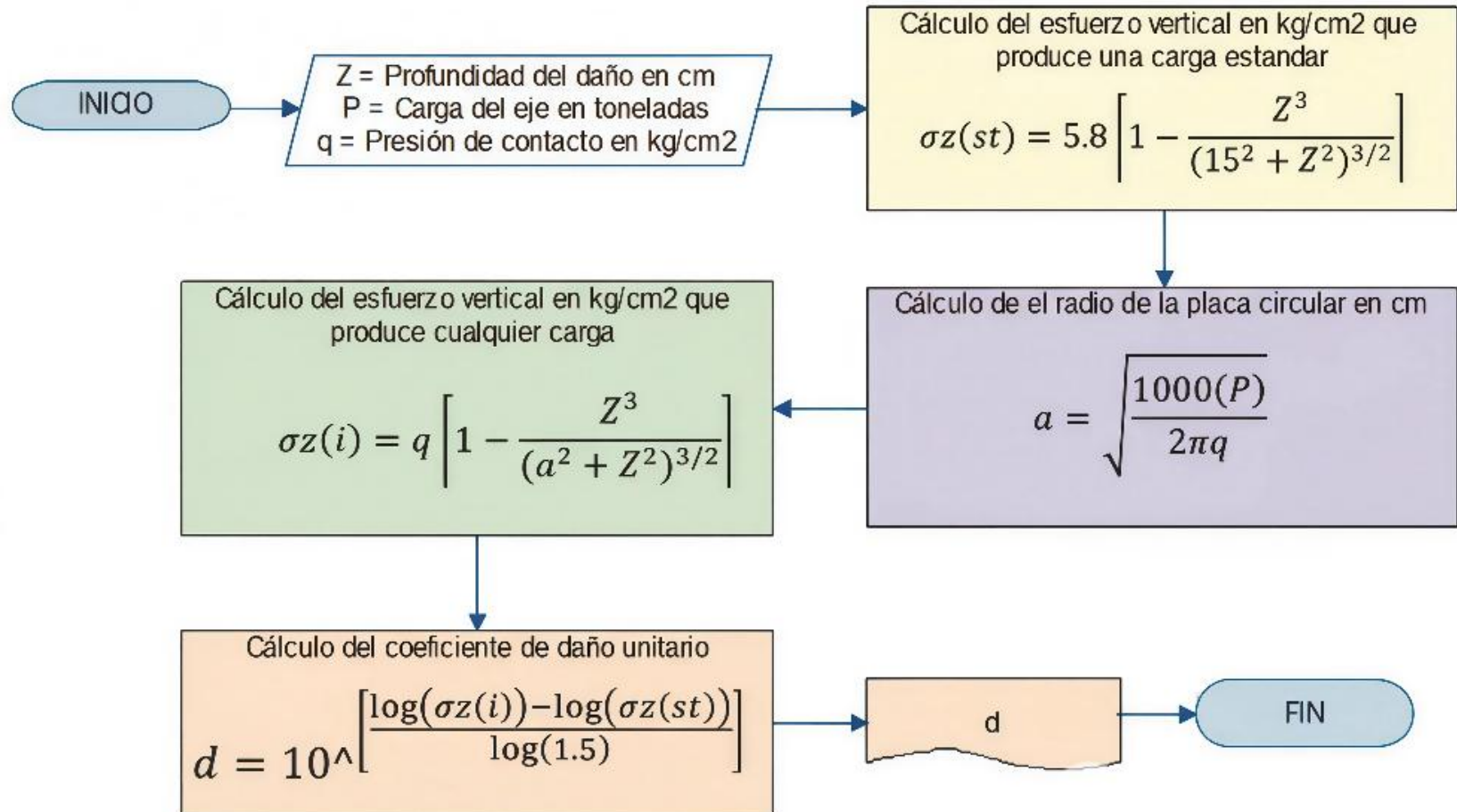
$$fvv = 0.0365 \cdot (100 - Pvp) \cdot TDP_{Ac}$$

No.	Figura	Nombre	Eje no.	No. Llantas	Eje tipo	ET y A	B	C	D	Eje no.	Vacios
1		A2	0	2	1	1	1	1	1		
		A2	0	2	1	1	1	1	1		
2		B2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		B2	2	4	1	12.5	10.5	9	8	7	7
3		B36	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		B36	8	6	2	17.5	13	11.5	11	7	7
4		B38	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		B38	9	8	2	21	17	14.5	13.5	7	7
5		B4	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		B4	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		B4	8	6	2	17.5	13	11.5	11	7	7
6		C2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		C2	2	4	1	12.5	10.5	9	8	6	4
7		C36	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		C36	8	6	2	17.5	13	11.5	11	13	4.5
8		C38	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		C38	9	8	2	21	17	14.5	13.5	13	4.5
9		C2-R2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		C2-R2	5	4	1	11	10.5	9	8	6	4
		C2-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		C2-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
10		C3-R2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		C3-R2	12	8	2	18	17	14.5	13.5	13	4.5
		C3-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		C3-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
11		C3-R3	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		C3-R3	12	8	2	18	17	14.5	13.5	13	4.5
		C3-R3	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		C3-R3	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
12		C2-R3	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		C2-R3	5	4	1	11	10.5	9	8	6	4
		C2-R3	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		C2-R3	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
13		T2-S1	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T2-S1	2	4	1	12.5	10.5	9	8	6	4
		T2-S1	4	4	1	11	9.5	8	7	6	4

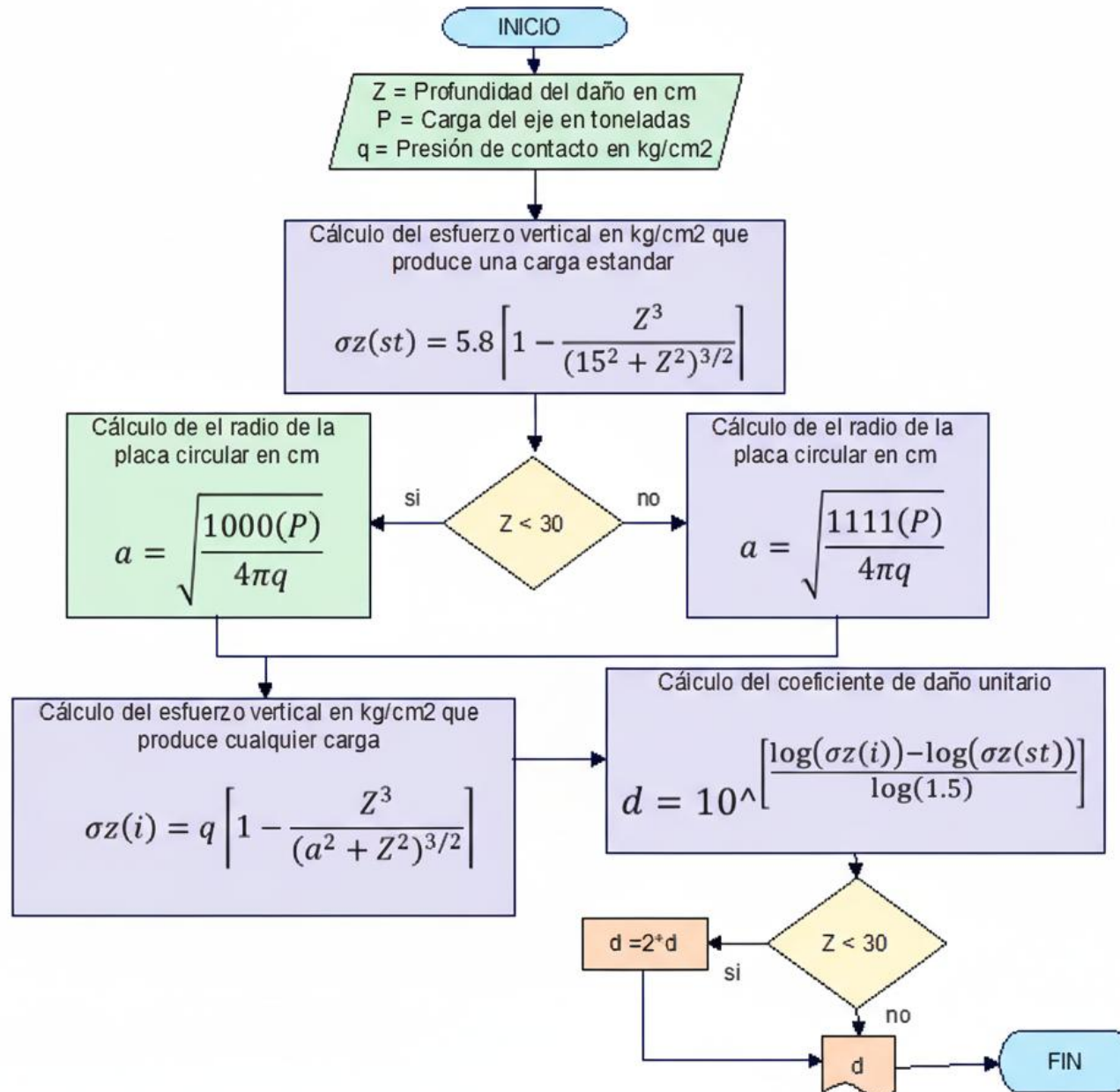
No.	Figura	Nombre	Eje no.	No. Llantas	Eje tipo	ET y A	B	C	D	Eje no.	Vacios
14		T2-S2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T2-S2	2	4	1	12.5	10.5	9	8	6	4
		T2-S2	11	8	2	19	15	13.5	12	13	4.5
15		T3-S2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S2	9	8	2	21	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S2	11	8	2	19	15	13.5	12	13	4.5
16		T3-S3	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S3	9	8	2	21	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S3	15	12	3	26.5	22.5	20	18	16	5
17		T2-S3	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T2-S3	2	4	1	12.5	10.5	9	8	6	4
		T2-S3	15	12	3	26.5	22.5	20	18	16	5
18		T3-S1	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S1	9	8	2	21	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S1	4	4	1	11	9.5	8	7	6	4
19		T2-S1-R2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T2-S1-R2	5	4	1	11	10.5	9	8	6	4
		T2-S1-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T2-S1-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T2-S1-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
20		T2-S1-R3	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T2-S1-R3	5	4	1	11	10.5	9	8	6	4
		T2-S1-R3	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T2-S1-R3	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T2-S1-R3	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
21		T2-S2-R2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T2-S2-R2	5	4	1	11	10.5	9	8	6	4
		T2-S2-R2	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
		T2-S2-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T2-S2-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
22		T3-SI-R2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-SI-R2	12	8	2	18	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-SI-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T3-SI-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T3-SI-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
23		T3-S1-R3	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S1-R3	8	6	2	17.5	13	11.5	11	13	4.5
		T3-S1-R3	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T3-S1-R3	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T3-S1-R3	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5

No.	Figura	Nombre	Eje no.	No. Llantas	Eje tipo	ET y A	B	C	D	Eje no.	Vacios
24		T3-S2-R2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S2-R2	12	8	2	18	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S2-R2	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
		T3-S2-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T3-S2-R2	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
25		T3-S2-R4	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S2-R4	12	8	2	18	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S2-R4	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
		T3-S2-R4	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
		T3-S2-R4	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
26		T3-S2-R3	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S2-R3	12	8	2	18	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S2-R3	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
		T3-S2-R3	3	4	1	10	9.5	8	7	6	4
		T3-S2-R3	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
27		T3-S3-S2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S3-S2	12	8	2	18	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S3-S2	14	12	3	23.5	22.5	20	18	16	5
		T3-S3-S2	11	8	2	19	15	13.5	12	13	4.5
28		T2-S2-S2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T2-S2-S2	2	4	1	12.5	10.5	9	8	6	4
		T2-S2-S2	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
		T2-S2-S2	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
29		T3-S2-S2	1	2	1	6.5	6	5.5	5	6	4
		T3-S2-S2	9	8	2	21	17	14.5	13.5	13	4.5
		T3-S2-S2	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5
		T3-S2-S2	10	8	2	17	15	13.5	12	13	4.5

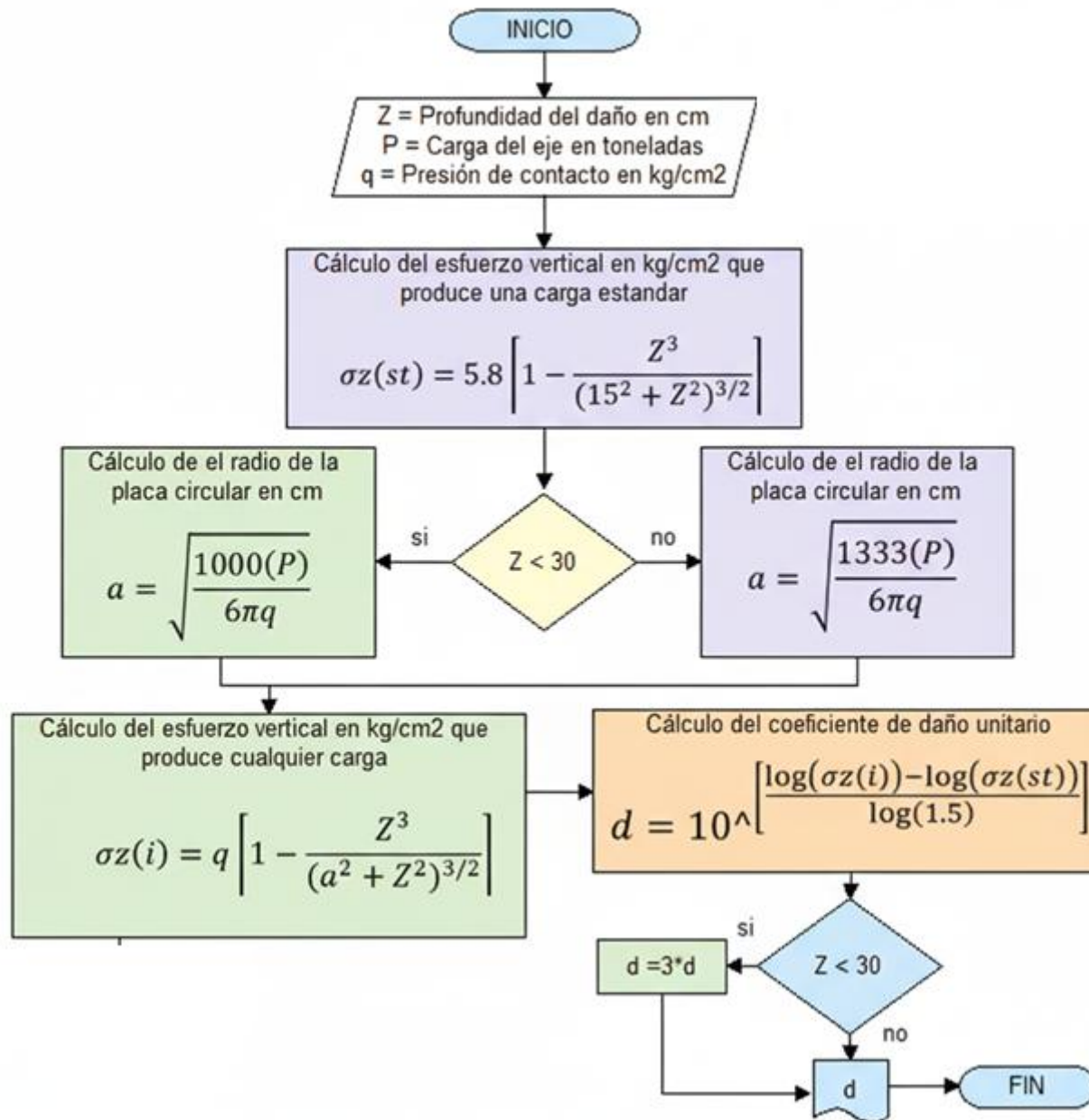
Daño unitario que produce un eje sencillo



Daño unitario que produce un eje doble o Tándem



Daño unitario que produce un eje Triple o Trídem



$$Ejes\ equivalentes_{1er\ año} = \sum_0^{16} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Eje no.}}}{ejes(i)} \times \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Daño unitario}}}{daño\ unitario(i)}$$

Eje no.	Tipo	W(Ton)	Fórmula	Radio (a)	Esf vert(i)	Daño unitario	Ejes equiv 1er año
0	1	1	2,326,875	8.92062	0.01646	0.000007	16
1	1	6.5	164,250	13.13080	0.10617	0.274299	45,054
2	1	12.5	43,800	18.20914	0.20142	10.412748	456,078
3	1	10	0	16.28675	0.16205	3.027686	0
4	1	11	0	17.08169	0.17785	5.135852	0
5	1	11	0	17.08169	0.17785	5.135852	0
6	1	4	46,538	10.30065	0.06571	0.017983	837
7	1	7	5,475	13.62647	0.11421	0.415140	2,273
8	2	17.5	0	16.0581	0.15763	2.587848	0
9	2	21	98,550	17.5908	0.18833	7.108676	700,560
10	2	17	65,700	15.8271	0.15322	2.202898	144,730
11	2	19	21,900	16.7322	0.17082	4.084367	89,448
12	2	18	21,900	16.2859	0.16203	3.026006	66,270
13	2	4.5	52,013	8.14297	0.04121	0.001270	66
14	3	23.5	0	16.6427	0.16904	3.848423	0
15	3	26.5	54,750	17.6731	0.19005	7.484960	409,802
16	3	5	0	7.67669	0.03664	0.000653	0
Suma							1,915,133

Obtener el espesor de Grava equivalente requerido

