

**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA - U.N.A.M.**  
**CURSOS INSTITUCIONALES**

EMPRESA: DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
 CURSO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS PUBLICOS  
 FECHA:

**EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE** ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACION CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD
ING. MANUEL ZARATE AQUINO				

**EVALUACION DE LA ENSEÑANZA**

CONCEPTO	CALIF.
ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADA EN EL CURSO	
ACTUALIZACION DEL CURSO	
APLICACION PRACTICA DEL CURSO	

**EVALUACION DEL CURSO**

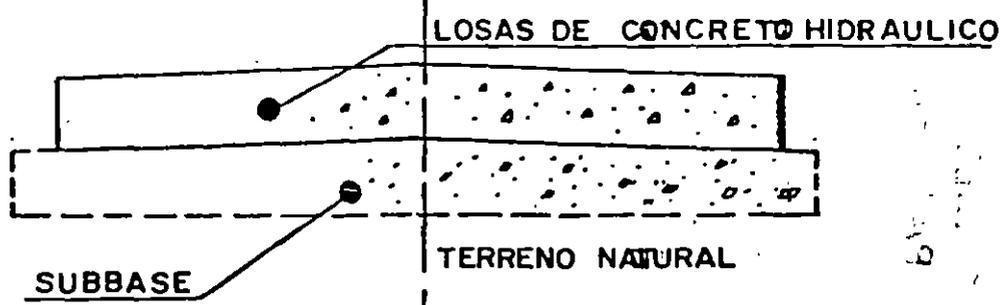
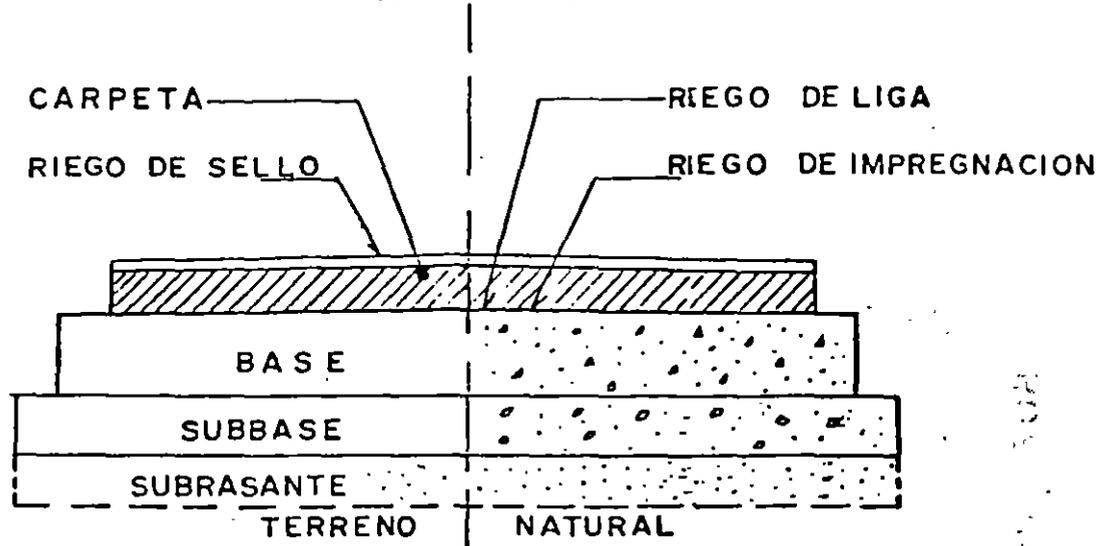
CONCEPTO	CALIF.
CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
CONTINUIDAD EN LOS TEMAS	
CALIDAD DEL MATERIAL DIDACTICO UTILIZADO	

## PAVIMENTO

ESTRUCTURA CONSTITUIDA POR VARIAS CAPAS DE MATERIALES, QUE TIENE POR OBJETO PERMITIR EL TRANSITO DE VEHICULOS EN FORMA COMODA, SEGURA Y EFICIENTE, CON UN COSTO MINIMO.

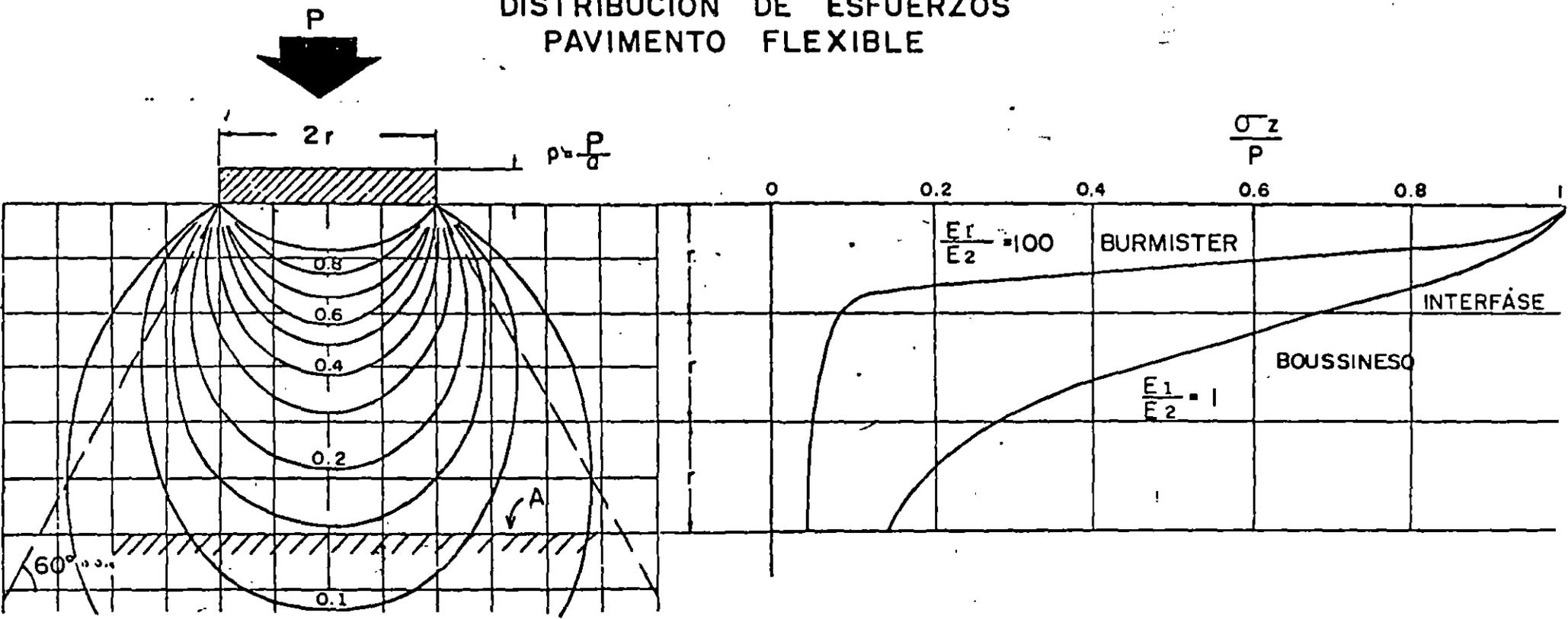
UN PAVIMENTO ADECUADO ES EL QUE LLEGA A LA FALLA FUNCIONAL DESPUES DE HABER RESISTIDO EL TRANSITO DE PROYECTO HASTA LLEGAR A LA CALIFICACION DE RECHAZO, CON EL MENOR COSTO POSIBLE.

ESTRUCTURAS  
PAVIMENTO ASFALTICO  
(FLEXIBLE)



PAVIMENTO DE CONCRETO  
(RIGIDO)

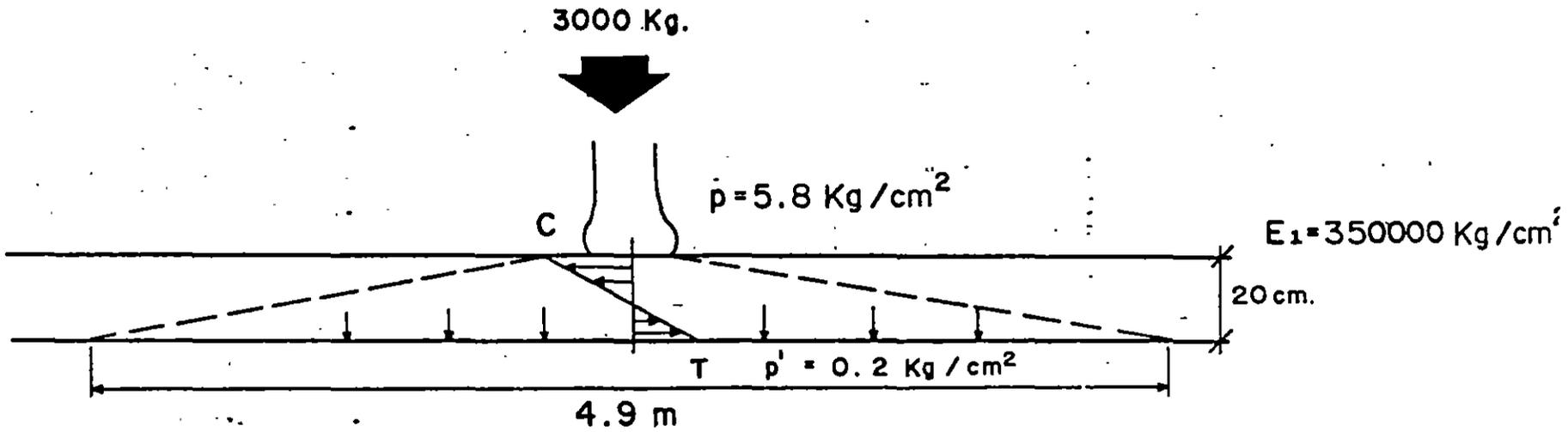
DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS  
PAVIMENTO FLEXIBLE



$$p' = \frac{P}{A}$$

$$p' = p \frac{a}{A}$$

# DISTRIBUCION DE ESFUERZOS PAVIMENTO RIGIDO



$$E_2 = 500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$300 < \frac{E_1}{E_2} < 1000$$

SECCIONES TÍPICAS DE PAVIMENTOS

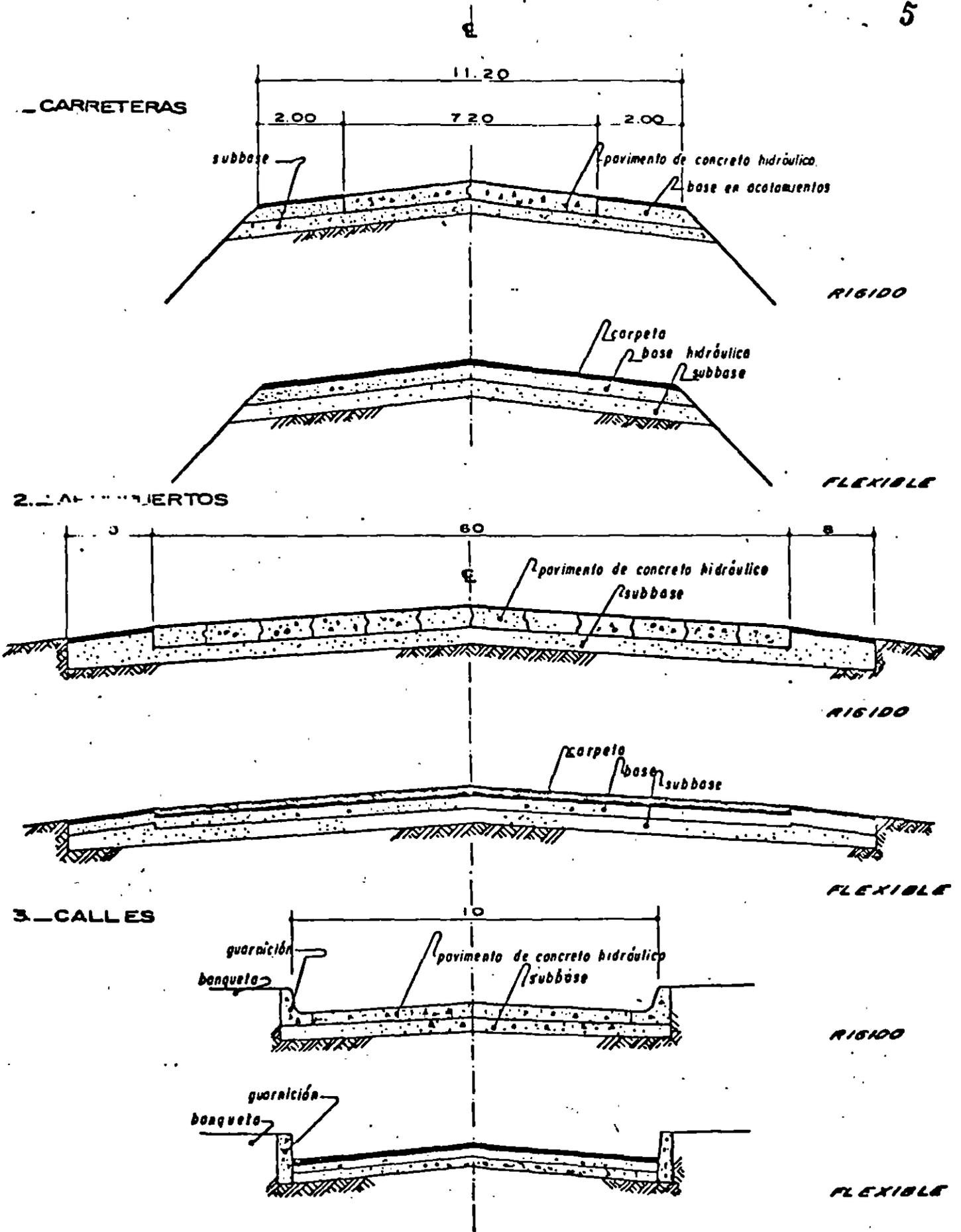
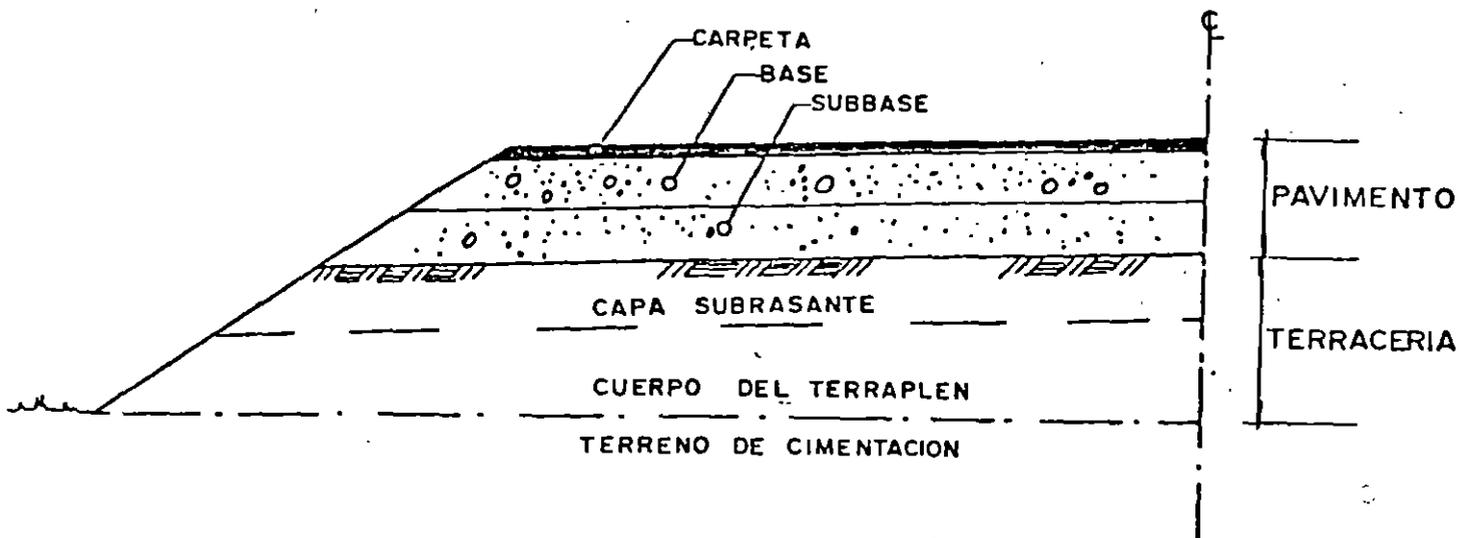


FIGURA Nº 1

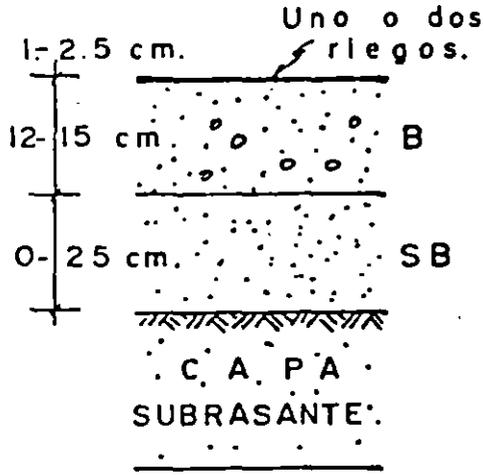


### FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DEL PAVIMENTO

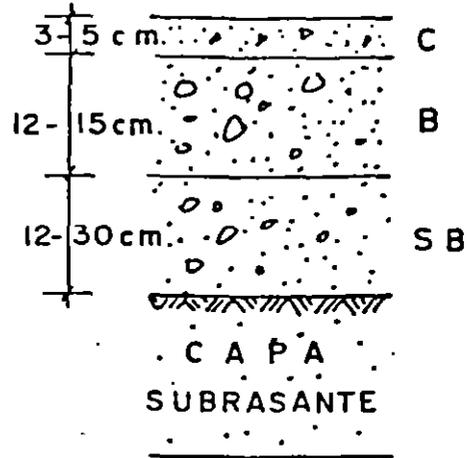
- SUBBASE.-** TRANSMITIR ESFUERZOS A LA CAPA SUBRASANTE  
 TRANSICION ENTRE BASE Y SUBRASANTE  
 REDUCIR EFECTOS DE CAMBIOS VOLUMETRICOS Y REBOTE ELASTICO  
 REDUCIR COSTO DEL PAVIMENTO
- BASE.-** SOPORTAR ADECUADAMENTE LAS CARGAS Y DISTRIBUIR ESFUERZOS A LAS CAPAS SUBYACENTES EN FORMA ADECUADA.
- CARPETA.-** PROPORCIONAR UNA SUPERFICIE ESTABLE, UNIFORME, -- IMPERMEABLE Y DE TEXTURA APROPIADA.

ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA DIFERENTES TIPOS DE TRANSITO CARRETERO.

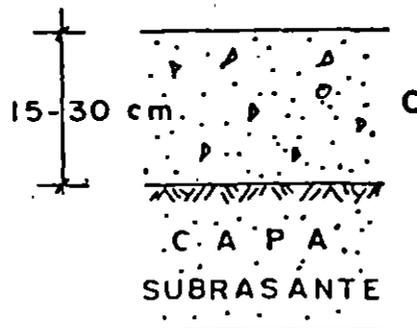
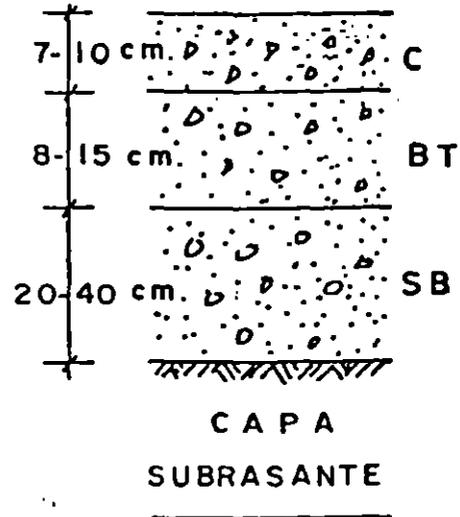
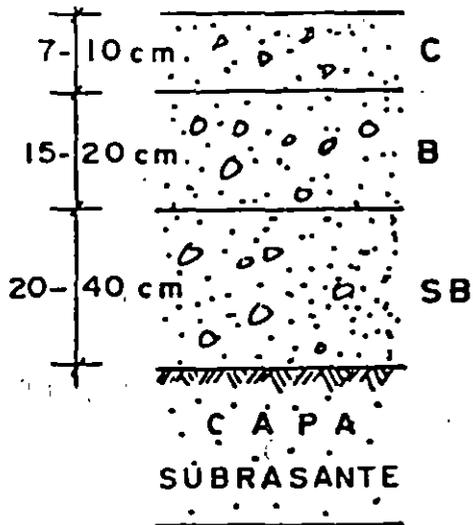
LIGERO



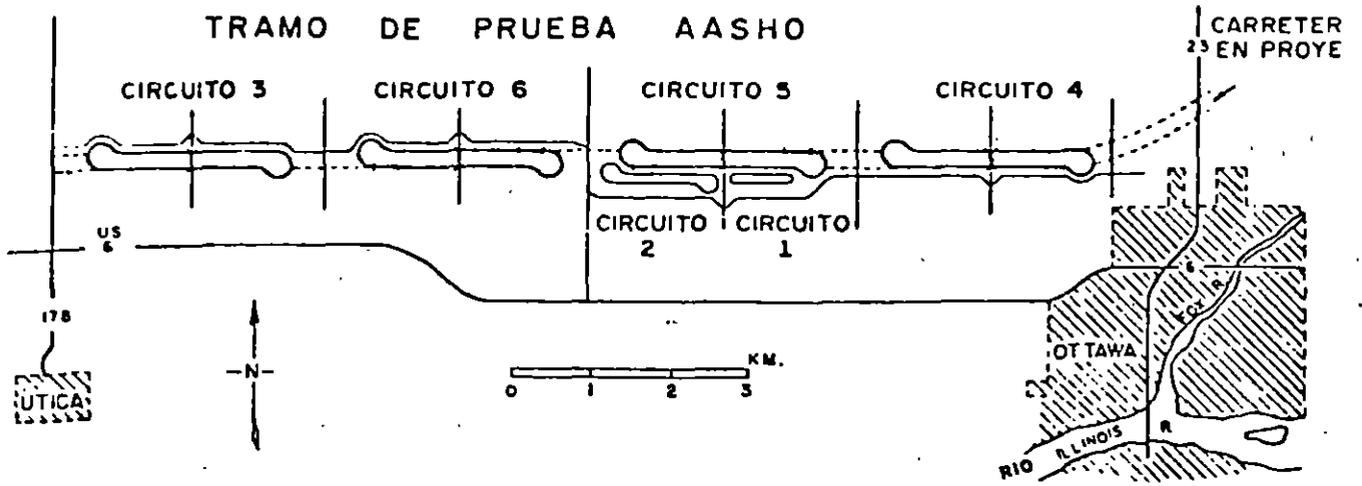
MEDIANO



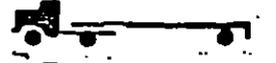
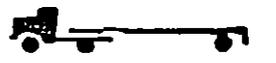
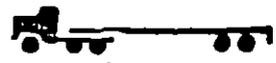
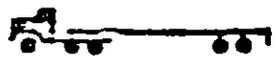
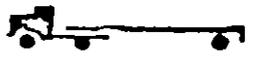
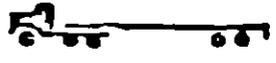
PESADO



EL ESPESOR DE LA CAPA SUBRASANTE VARIA ENTRE 30 Y 50 cm.



TIPOS Y PESOS DE VEHICULOS POR CARRIL

CIRCUITO CARRIL	PESO EN TONS.		TOTAL	
	EJES DELANTEROS	EJES TRASEROS		
② {	① 	1	1	2
	② 	1	3	4
③ {	① 	2	6	14
	② 	3	12	27
④ {	① 	3	9	21
	② 	5	16	37
⑤ {	① 	3	11	25
	② 	5	20	45
⑥ {	① 	5	15	35
	② 	6	24	54

## SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTO FLEXIBLE

ELEMENTO	ESPESORES, cm	MATERIALES
CARPETA	2.5 — 15	CONCRETO ASFALTICO
BASE	0 — 22.5	CALIZA TRITURADA
SUBBASE	0 — 40	MEZCLA DE GRAVA Y ARENA

SE EMPLEARON 27 COMBINACIONES DE ESPESORES  
EN FORMA FACTORIAL

## CONCEPTOS ESTABLECIDOS A PARTIR DE LA PRUEBA AASHO

- DIFERENCIACION ENTRE FALLA ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL
- INDICE DE SERVICIO Y CALIFICACION ACTUAL
- NIVEL DE RECHAZO
- COMPORTAMIENTO
- INDICE DE ESPESOR
- CARGA EQUIVALENTE

ESTRUCTURAL.- COLAPSO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVI-  
MENTO O DE ALGUNO DE SUS COMPONENTES, DE TAL MANE-  
RA QUE EL PAVIMENTO ES INCAPAZ DE SOPORTAR LAS --  
CARGAS O BIEN, SE REDUCE A UNA INTERRUPCION EN -  
SU CONTINUIDAD O INTEGRIDAD. PUEDE DEGENERAR EN  
FALLA FUNCIONAL.

#### TIPO DE FALLA

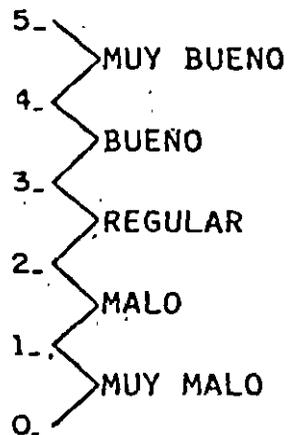
FUNCIONAL.- EL PAVIMENTO NO CUMPLE CON SU FUN- -  
CION PRIMORDIAL, PROVOCANDO INCOMODIAD E INSEGURI-  
DAD EN EL USUARIO, ASI COMO ESFUERZOS IMPREVISTOS  
EN LOS VEHICULOS. NO SIEMPRE ESTA ACOMPAÑADA DE -  
FALLA ESTRUCTURAL.

- SERVICIABILIDAD.-

CAPACIDAD DE UN PAVIMENTO PARA CUMPLIR CON SU FUN-  
CION, PROPORCIONANDO AL USUARIO UN VIAJE COMODO Y SEGURO  
EN CONDICIONES NORMALES DE TRANSITO.

- CALIFICACION ACTUAL.-

PROMEDIO DE LAS CALIFICACIONES INDIVIDUALES QUE --  
EMITE UN GRUPO DE PERSONAS, SOBRE LA SERVICIABILIDAD DE -  
UN TRAMO DE PAVIMENTO.



- INDICE DE SERVICIO

ESTIMACION DE LA SERVICIABILIDAD DE UN TRAMO DE PAVIMENTO, OBTENIDA A PARTIR DE MEDICIONES FISICAS.

PAVIMENTO FLEXIBLE

$$IS = 5.03 - 1.9 \text{ LOG } (1+sv) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38 \frac{2}{RD}$$

PAVIMENTO RIGIDO

$$IS = 5.41 - 1.8 \text{ LOG } (1+sv) - 0.09 \sqrt{C + P}$$

DONDE:

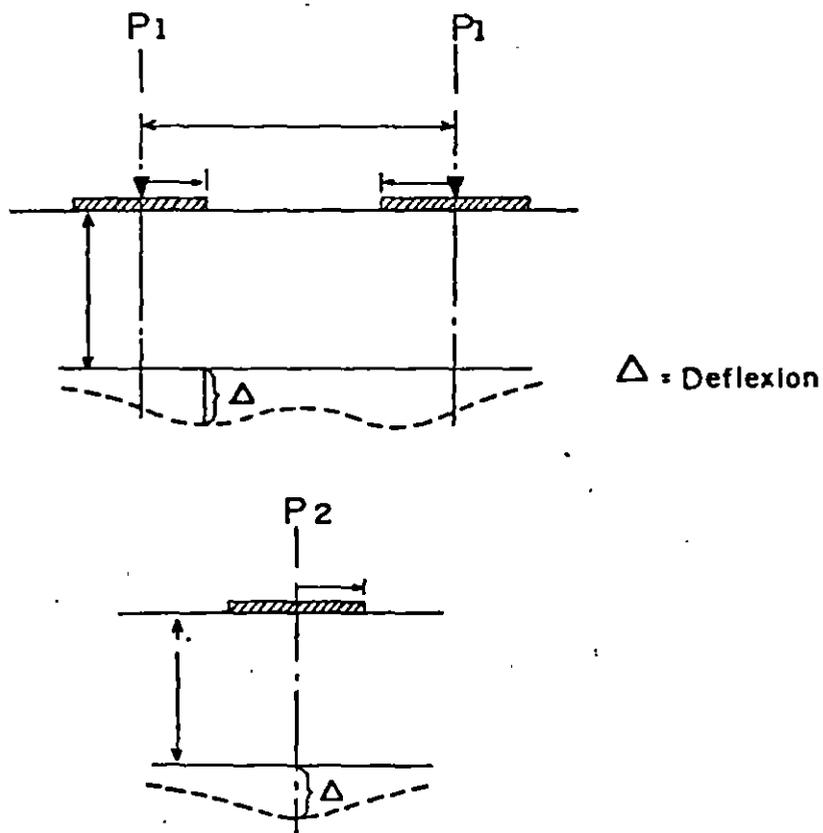
SV = VARIANCIA DE LA PENDIENTE

C = LONGITUD DE AGRIETAMIENTO POR CADA 100 M<sup>2</sup>

P = AREA BACHADA POR CADA 100 M<sup>2</sup>

RD = PROFUNDIDAD DE LAS DEFORMACIONES EN RODADAS MEDIDAS CON REGLA DE 1.2 M.

## CONCEPTO DE CARGA EQUIVALENTE A RUEDA SENCILLA



### CARGA EQUIVALENTE A RUEDA SENCILLA (ESWL)

Se define como la carga que actúa en una rueda sencilla, que produce en un lugar dado de la estructura de un pavimento, el mismo efecto que el producido por una carga aplicada en un sistema de ruedas múltiples.

- NIVEL DE RECHAZO

· MINIMO NIVEL DE SERVICIABILIDAD ACEPTADO EN UN TRAMO DE PAVIMENTO, SE ELIGE EN FUNCION DE LA CATEGORIA DE LA CARRETERA.

- COMPORTAMIENTO

VARIACION DE LA SERVICIABILIDAD CON RESPECTO AL TIEMPO. SE DETERMINA MEDIANTE EVALUACIONES PERIODICAS DEL PAVIMENTO.

## INDICE DE ESPESOR

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$SN = 0.44 D_1 + 0.14 D_2 + 0.11 D_3$$

---

CARPETA CONCRETO ASFALTICO

---

BASE GRAVA TRITURADA

---

SUBBASE GRAVA Y ARENA

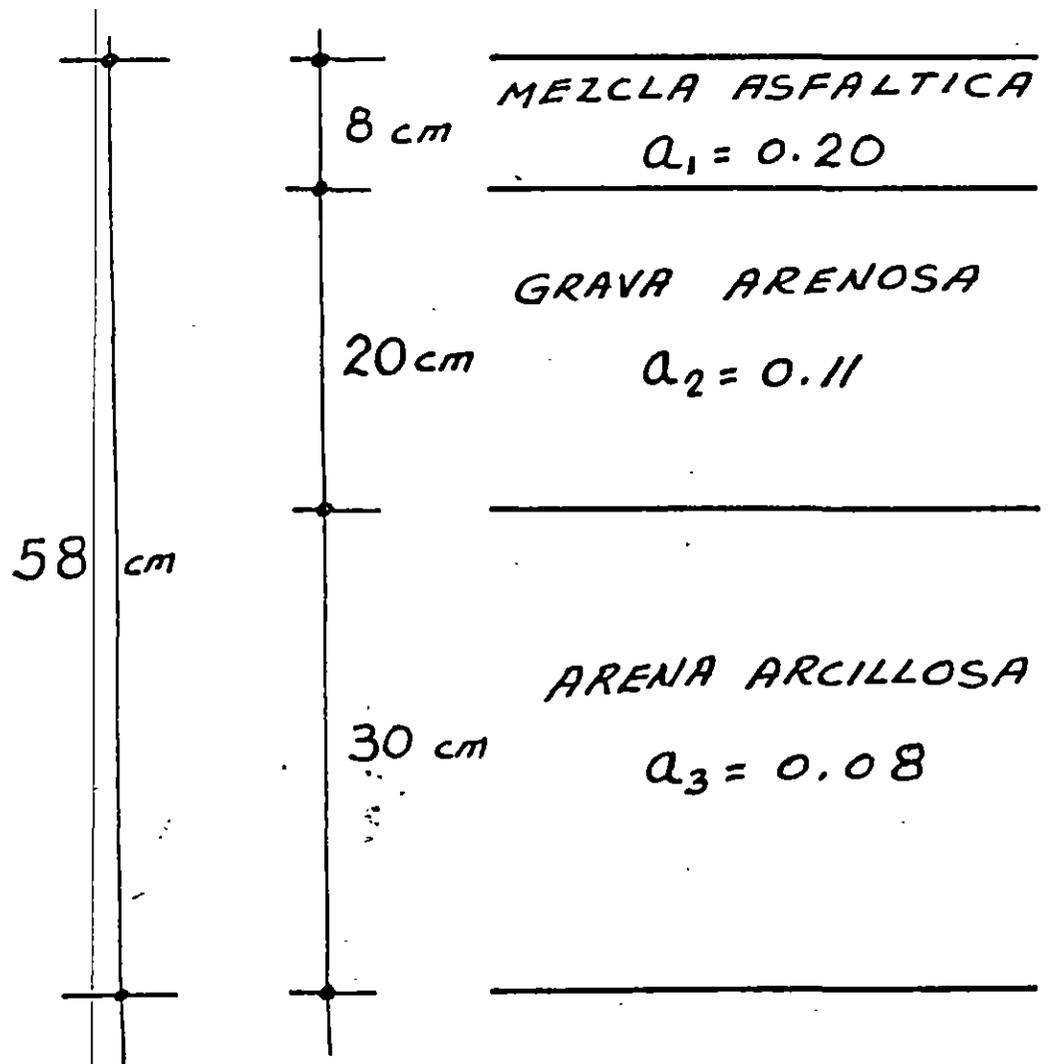
---

D1

D2

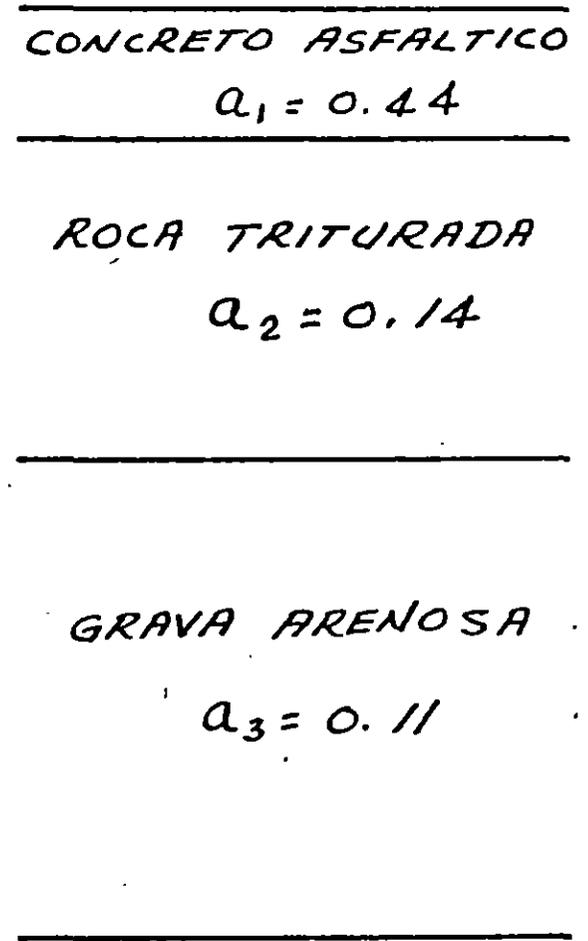
D3

81



S.N. = 2.44

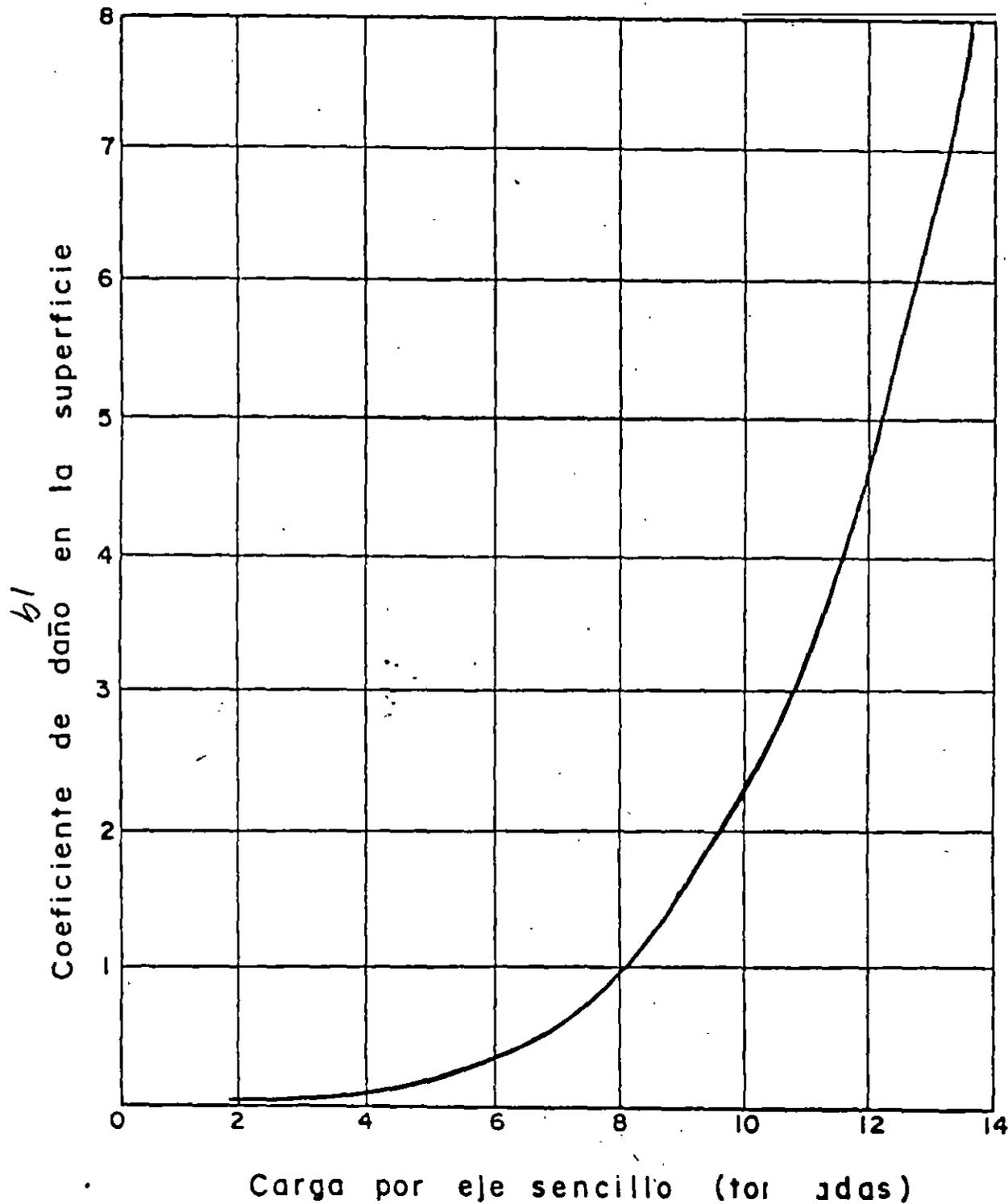
Espesor = 45 cm  
(grava)



86

S.N. = 3.65

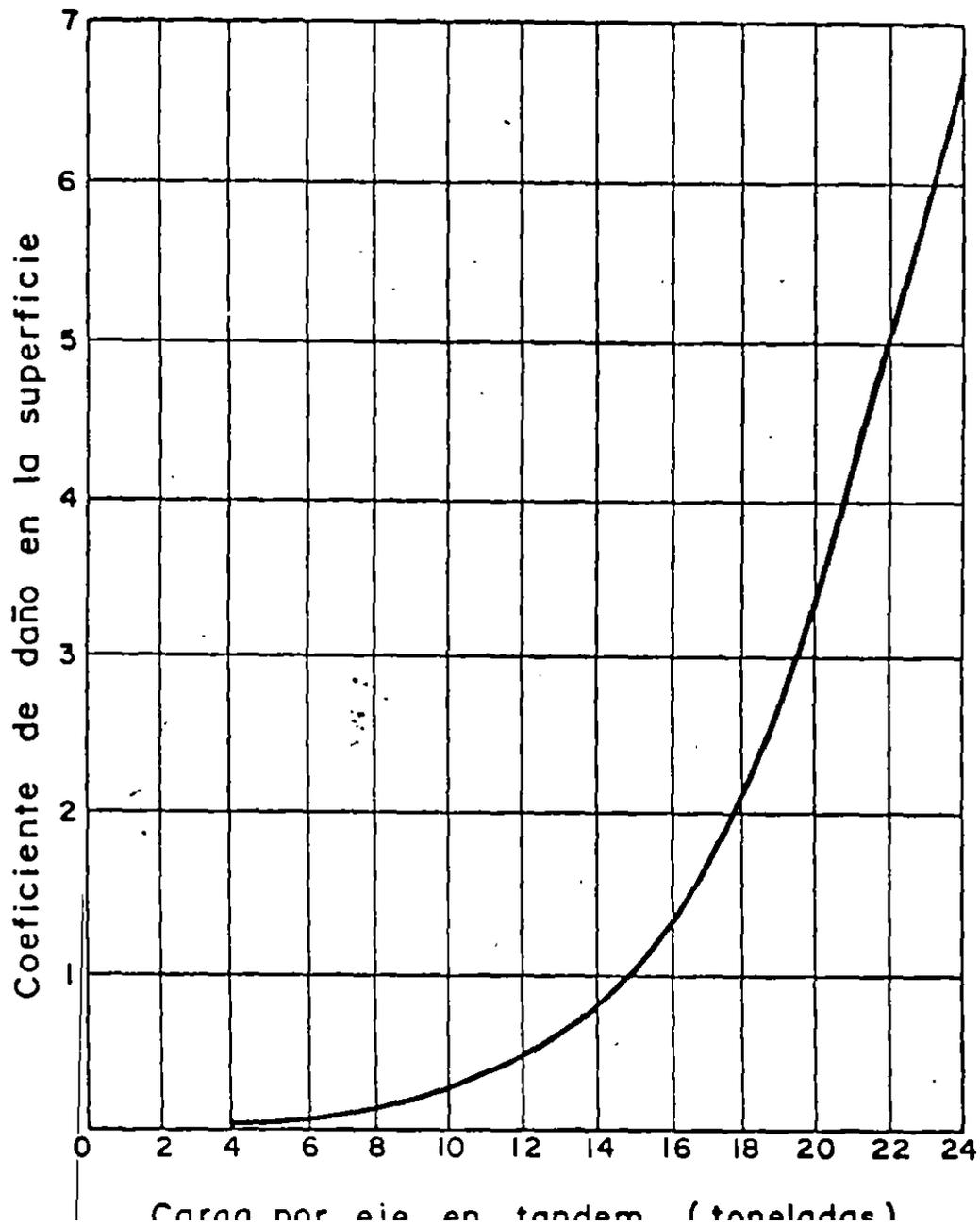
Espesor = 69 cm  
(grava)



Carga por eje sencillo	Coeficiente de daño
2.0 Toneladas	0.003
4.0 "	0.05
6.0 "	0.28
8.0 "	0.90
10.0 "	2.21
12.0 "	4.60
14.0 "	8.40

COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA PARA EJES SENCILLOS

02



Carga por eje en tandem	Coeficiente de daño
4.0 Toneladas	0.005
8.0 "	0.08
9.0 "	0.129
12.0 "	0.40
16.0 "	1.29
20.0 "	3.16
24.0 "	6.55

COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA  
PARA EJES TANDEM

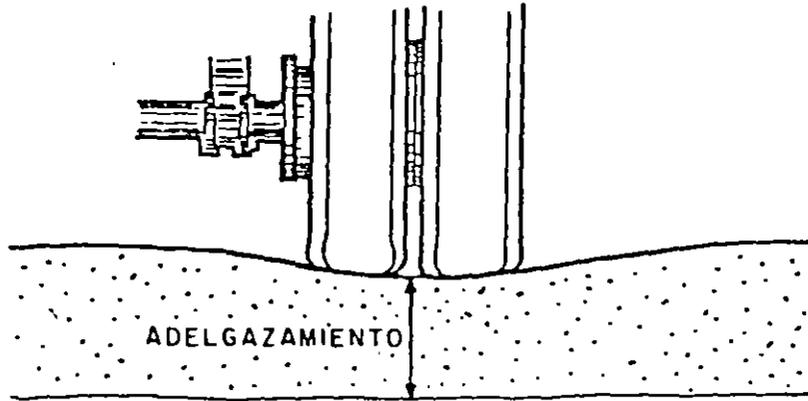
FORMAS PRINCIPALES DE DETERIORO QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

DETERIORO	CAUSA GENERAL	CAUSA ESPECIFICA QUE LO PRODUCE
AGRIETAMIENTOS O FRACTURAS	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CARGAS REPETIDAS (FATIGA) DESPLAZAMIENTO (PRODUCIDO POR ESFUERZOS AL FRENAR) GRIETAS DE REFLEXION (PUEDEN INCREMENTARSE POR EL TRANSITO)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CAMBIOS TERMICOS CAMBIOS DE HUMEDAD CONTRACCION DE LOS MATERIALES SUBYACENTES
DEFORMACIONES	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	RODERAS (POR CARGAS REPETIDAS) FLUJO PLASTICO (CARGAS EXCESIVAS)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	EXPANSION (PRODUCIDA POR ARCILLAS EXPANSI- VAS O POR CONGELAMIENTO) DEFORMACIONES POR CONSOLIDACION
DESINTEGRACION	SE ASOCIA CON LAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES, MAS QUE CON CONSIDERA- CIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL. NO SE CONSIDERA EN LA FASE INICIAL DE DISE- ÑO.	

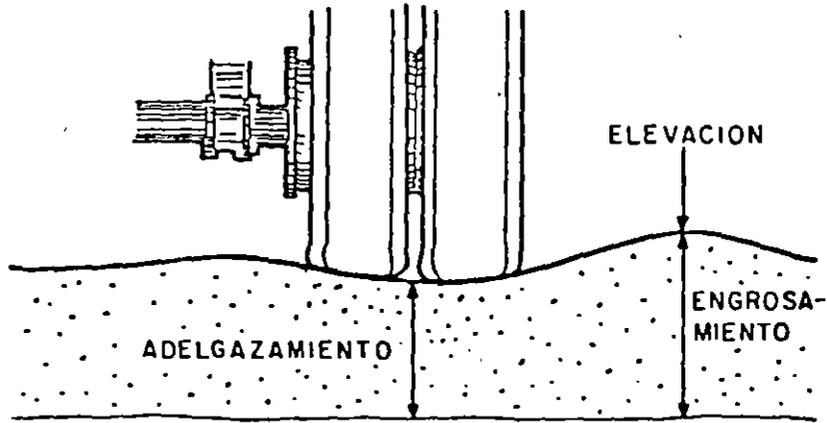
21

22

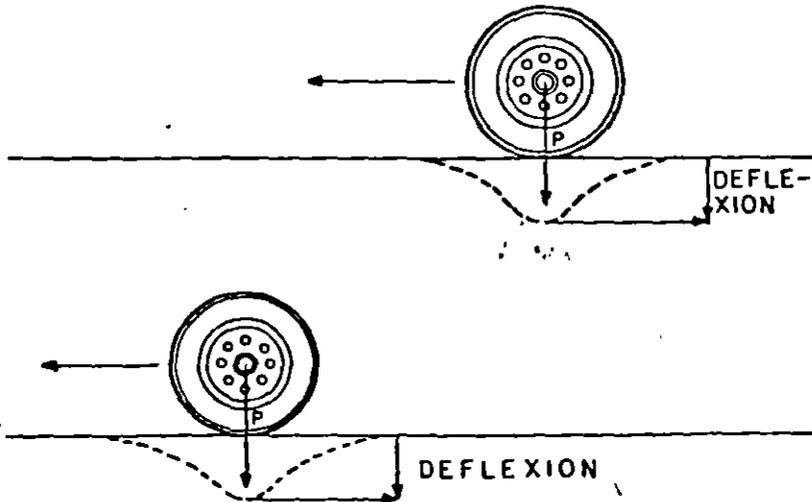
a) DENSIFICACION



b) DEFORMACION PLASTICA



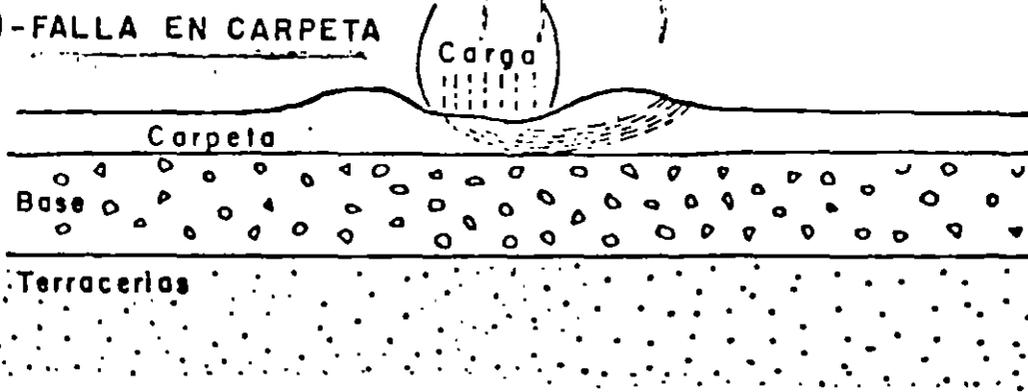
1) DEFORMACION PERMANENTE



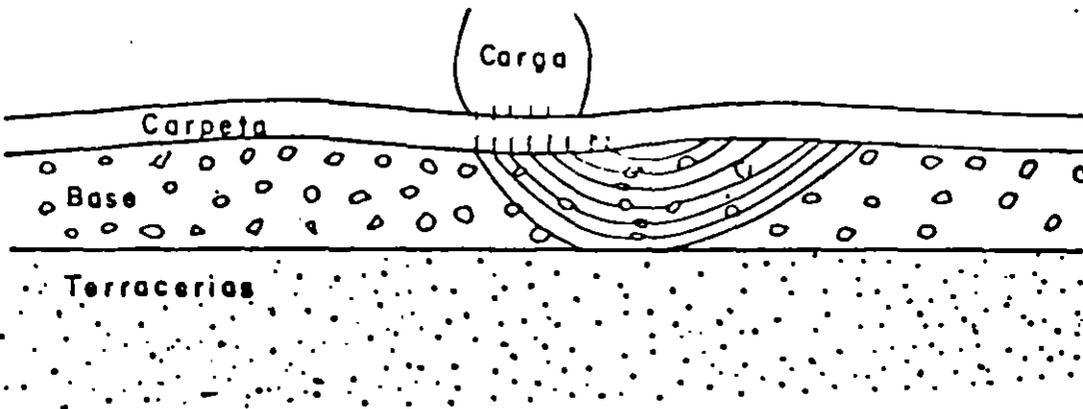
2) DEFORMACION POR DEFLEXION TRANSITORIA

TIPOS DE FALLA

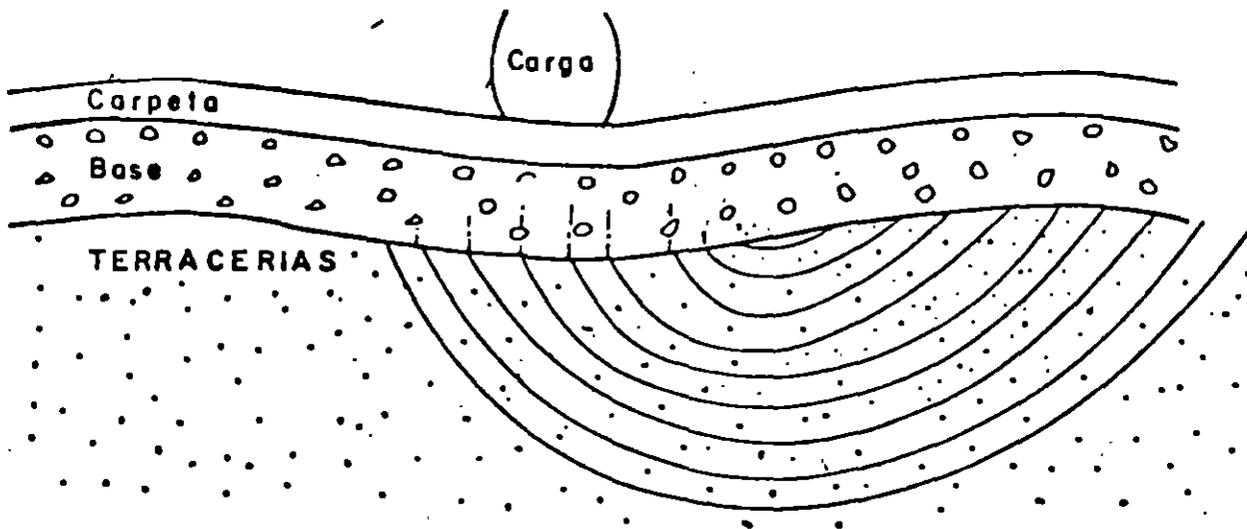
a) FALLA EN CARPETA



b) FALLA EN LA BASE

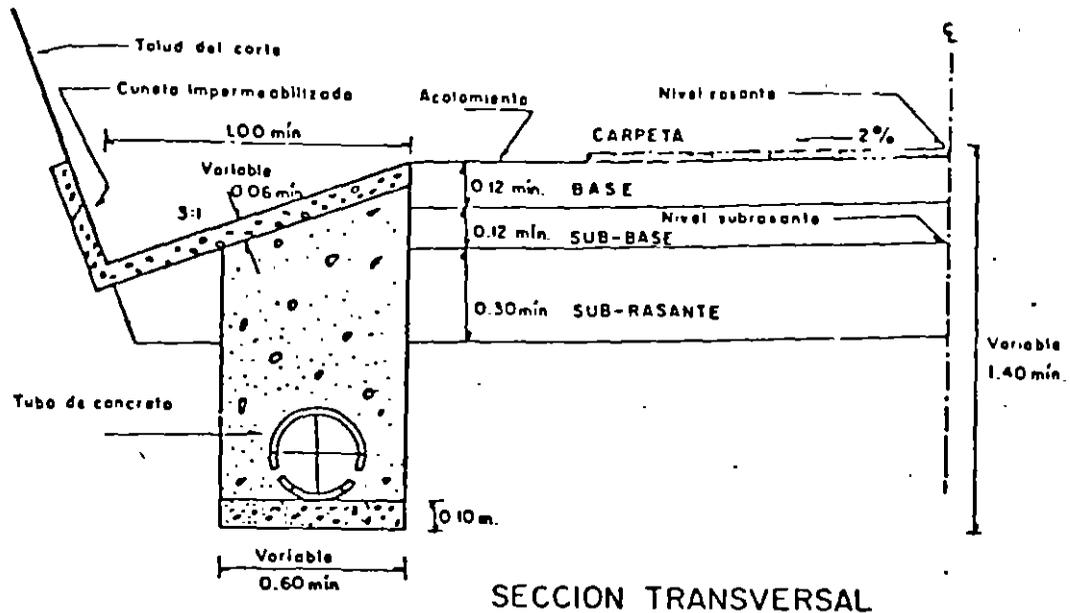


c) FALLA GENERAL DEL TERRENO DE CIMENTACION

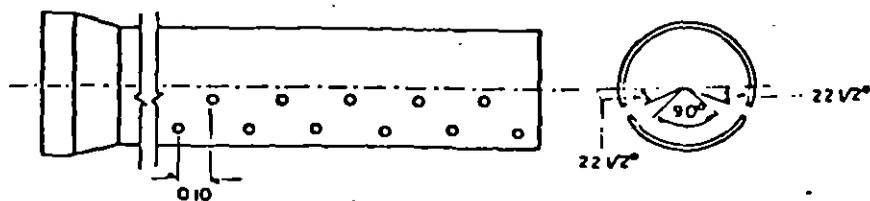
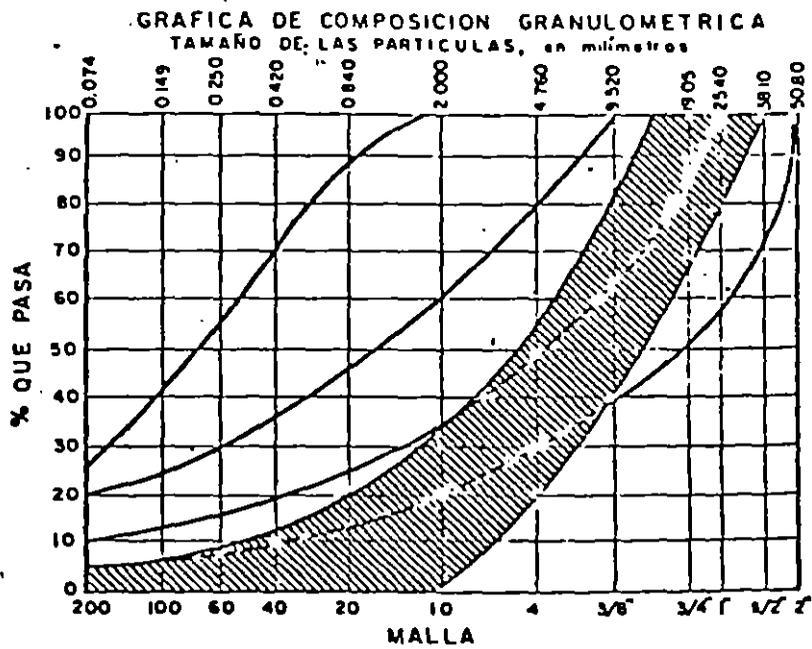


MECANISMOS CON QUE EL AGUA ACTUA  
SOBRE TERRACERIAS Y PAVIMENTO.

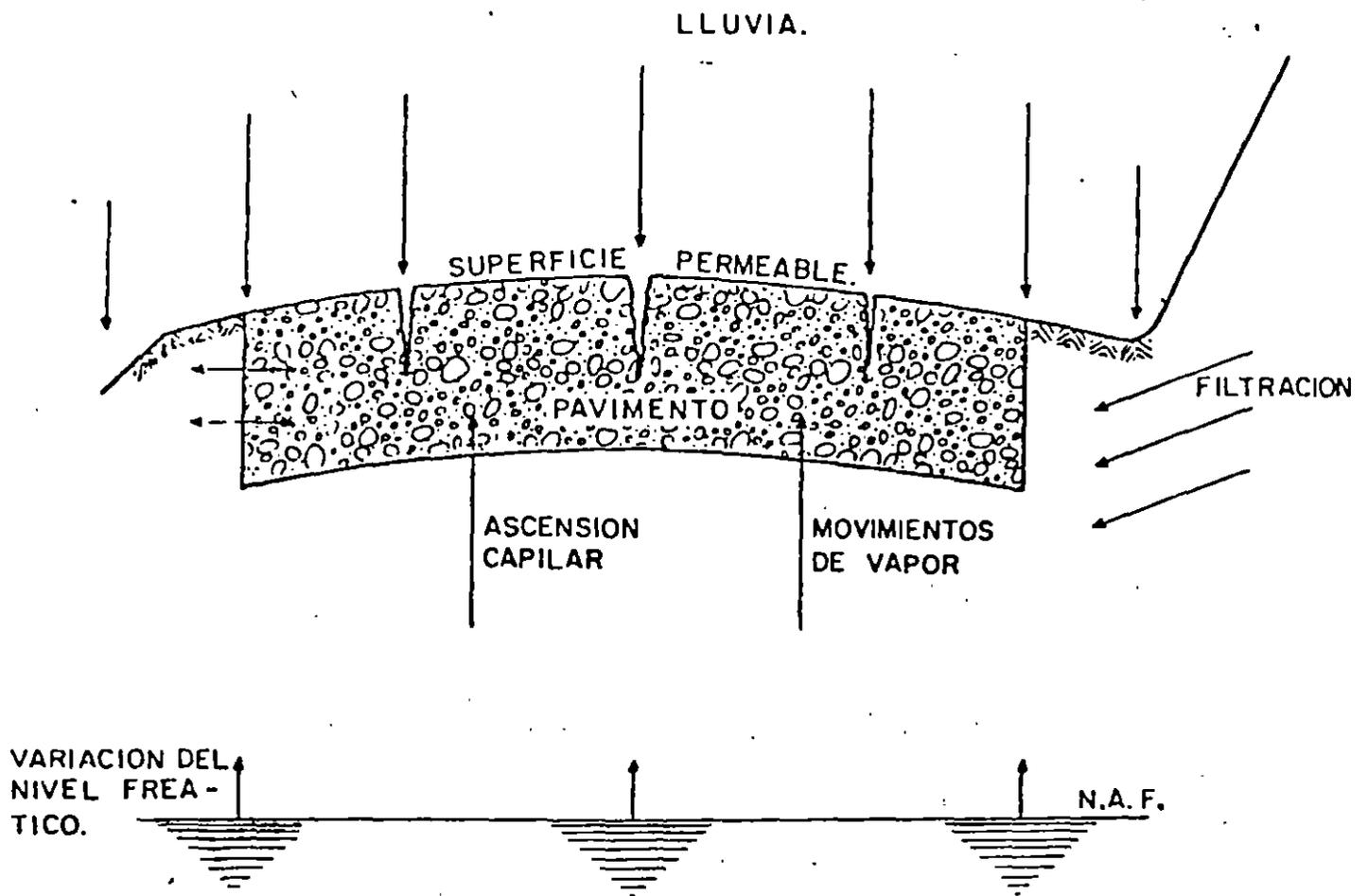
- 1.- EROSION
- 2.- TUBIFICACION
- 3.- VARIACIONES VOLUMETRICAS  
EXPANSION  
CONTRACCION
- 4.- FUERZAS DE FILTRACION
- 5.- REDUCCION DE LA RESISTENCIA  
AL ESFUERZO CORTANTE.
- 6.- DISOLUCION
- 7.- ACUAPLANEO Y DERRAPAMIENTO
- 8.- ESFUERZOS ADICIONALES SOBRE ESTRUCTURAS



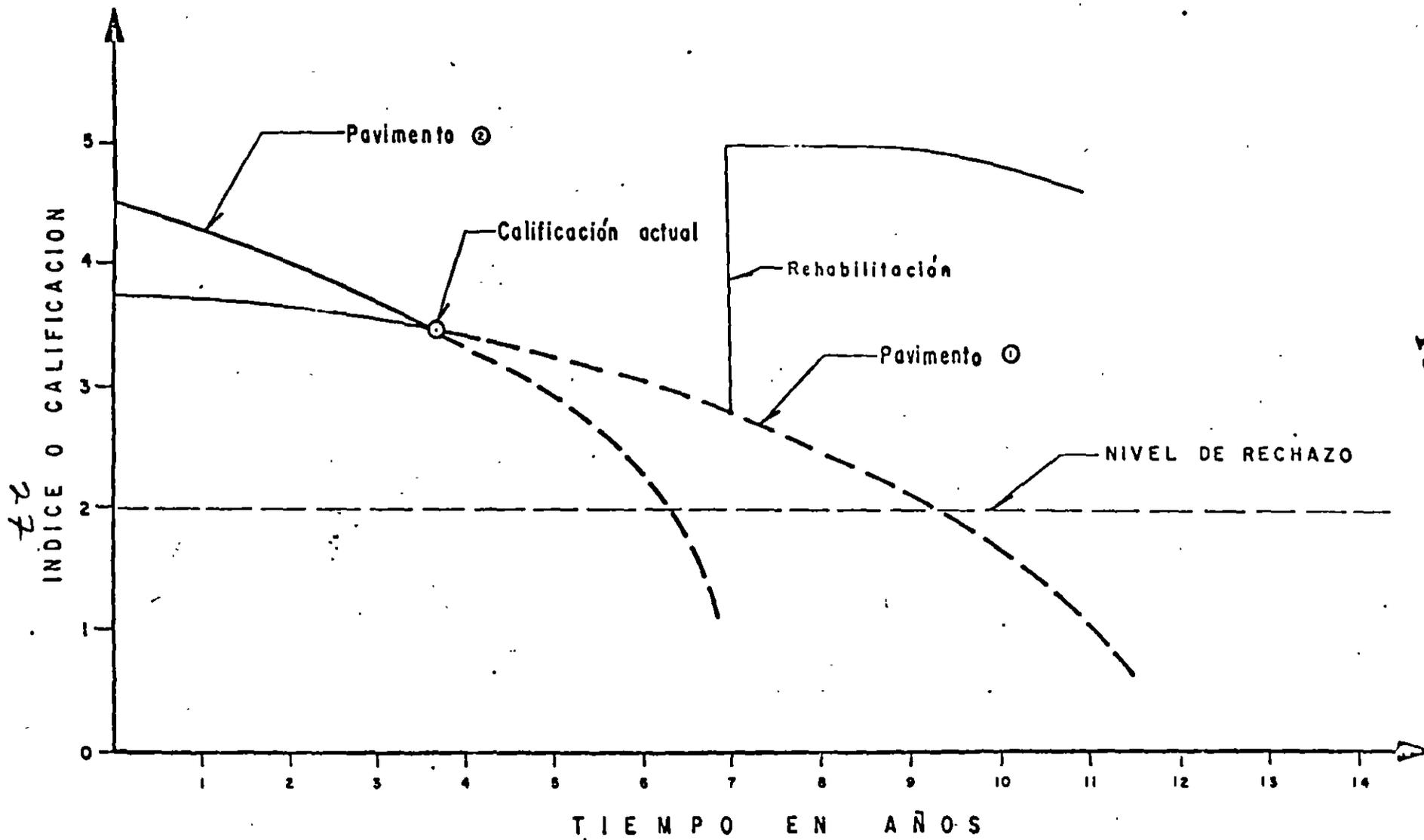
SECCION TRANSVERSAL



DETALLE DEL TUBO DE CONCRETO



FORMAS EN QUE PUEDE ENTRAR EL AGUA AL PAVIMENTO.



METODOS DE SOLUCION DE  
DRENAJE SUPERFICIAL

CORTES	{	CUNETAS
		CONTRACUNETAS
TERRAPLENES	{	ALCANTARILLAS
		LAVADEROS
		BORDILLOS
AREAS DE ESTACIONA. MIENTO Y CALLES	{	DRENES
		ATARJEAS Y COLADERAS . PLU

METODOS DE SUBDRENAJE

<u>METODO</u>	<u>A P L I C A C I O N E N</u>		
	<u>TERRAPLEN</u>	<u>CORTE</u>	<u>PAVIMENTO</u>
1.- REMOCION DE MATERIAL Y CONSTRUCCION CAPA PERMEABLE	x		
2.- TRINCHERAS ESTABILIZADORAS	x		
3.- SUBDRÉN TRANSVERSAL DE PENETRACION.	x	x	
4.- POZOS DE ALIVIO	x		
5.- SUBDRENES Y CAPAS PERMEABLES		x	x

B) CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

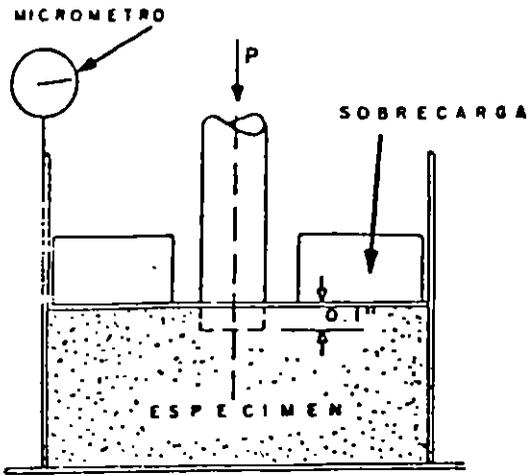
- ESTUDIOS GEOTECNICOS: EXPLORACION, MUESTREO Y ENSAYES DE CAMPO y/o LABORATORIO (RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD)
- EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO MATERIALES PAVIMENTACION
  - . PRUEBAS PENETRACION
  - . PRUEBAS COMPRESION Y TRIAXIALES
  - . PRUEBAS DE PLACA
  - . PRUEBAS DINAMICAS

NOTA

TENER MUY PRESENTE:

- CLIMA Y FACTORES AMBIENTALES
- NORMALIZACION METODO DE ENSAYE
- VARIABILIDAD MATERIALES Y DISPERSION REULTADOS ENSAYE.

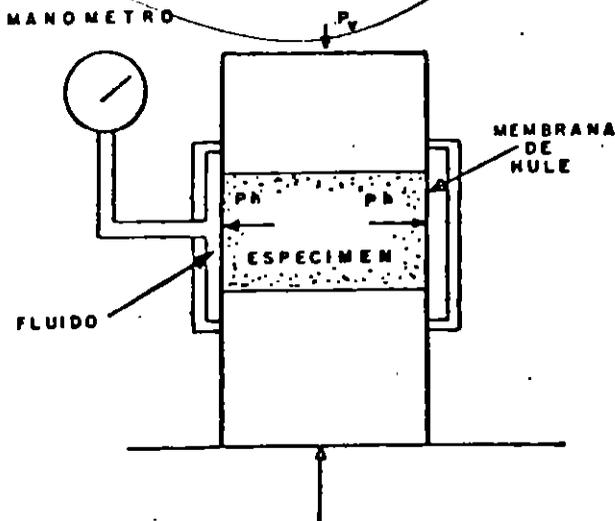
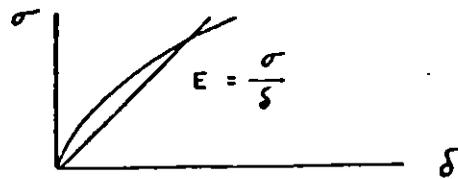
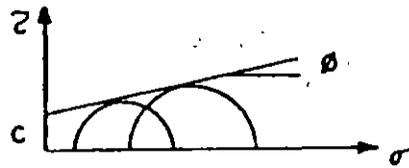
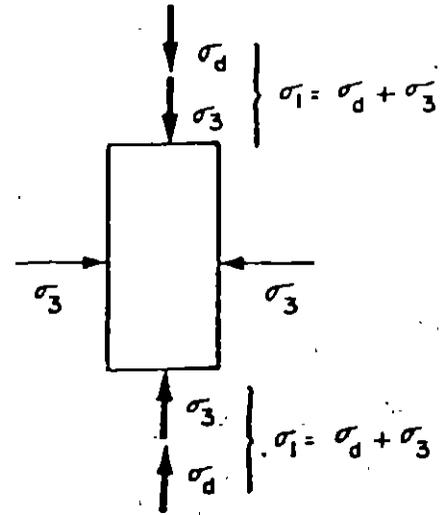
34



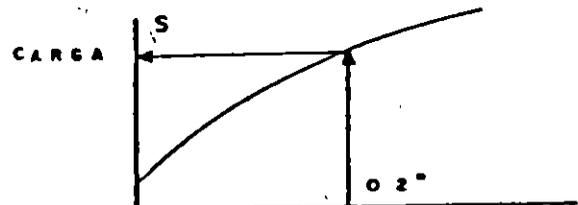
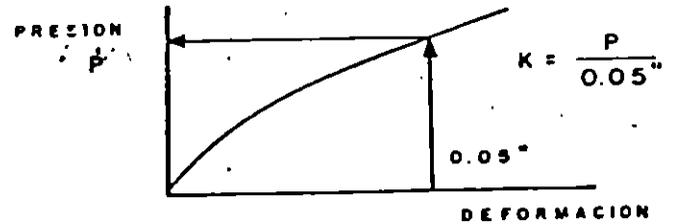
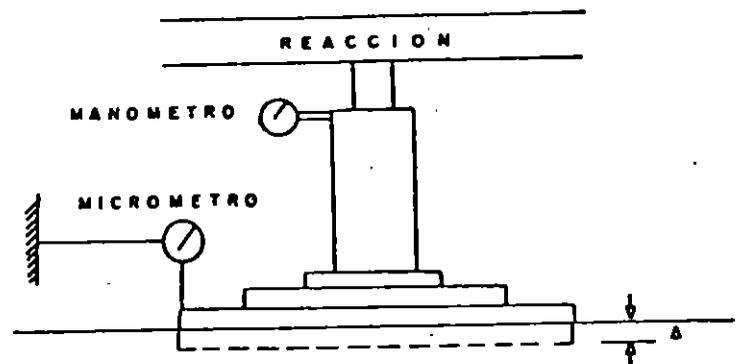
$$CBR = \frac{P_{0.1''}}{1360 \text{ Kg.}} \times 100$$

*trabaja prueba de módulo de resiliencia.*

36



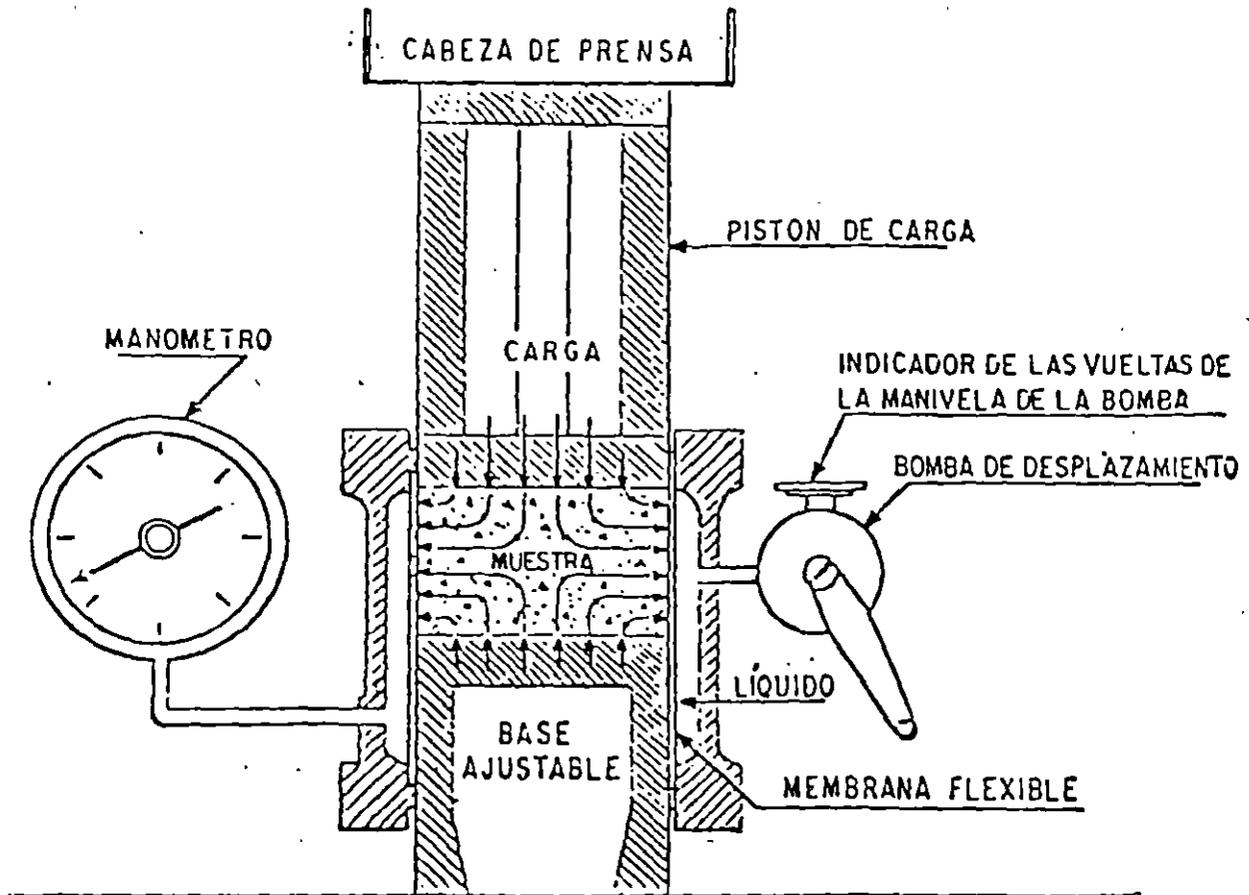
$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v}\right) 100$$



DEFORMACION PROMEDIO PARA 10 REPETICIONES

31

# ESTABILOMETRO



$$R = \left( 1 - \frac{P_h}{P_v} \right) 100$$

$$T = K \frac{P \sqrt{A} \text{ Log } r}{5 \sqrt{c}} \left( \frac{P_h}{P_v} = 0.1 \right)$$

En donde:

T = espesor del pavimento

k = constante (0.0175)

P = presión de inflado de las llantas

A = área de contacto

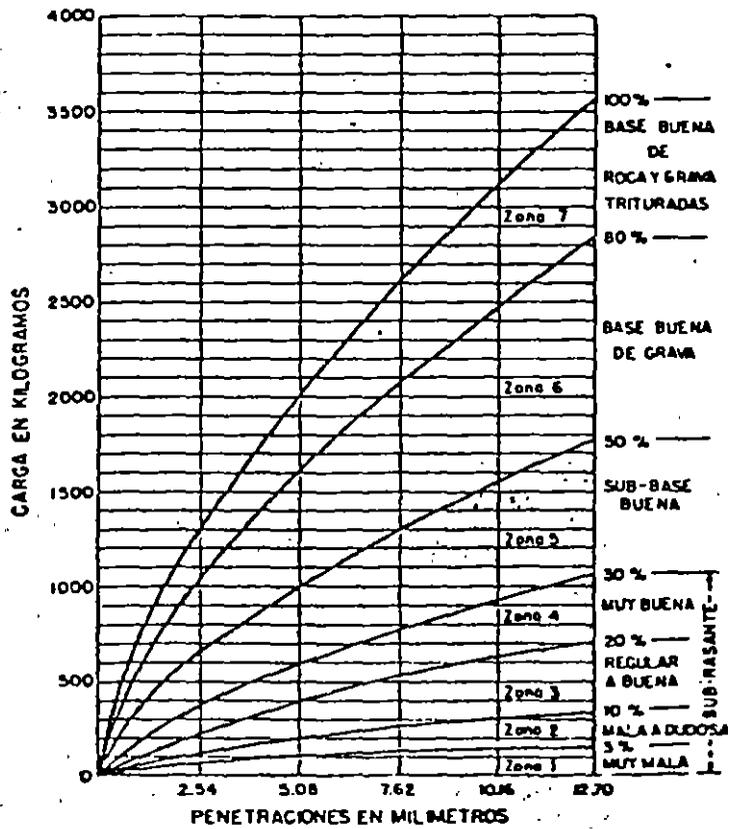
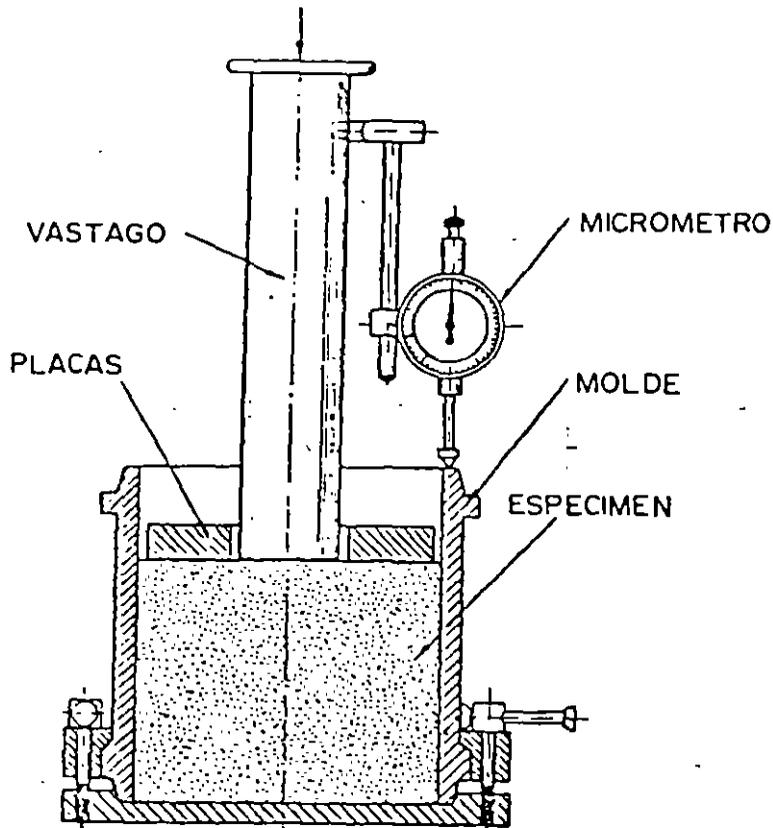
r = número de repeticiones de esfuerzos

c = Valor del cohesímetro.

$P_h$  = presión horizontal transmitida

$P_v$  = presión vertical aplicada (160 psi)

# PRUEBA DE VALOR RELATIVO SOPORTE



# MÉTODOS DE DISEÑO

MÉTODOS BASADOS EN PRUEBAS  
SIMPLES DE RESISTENCIA

CBR (1925)

MÉTODOS BASADOS EN PRUEBAS  
ELABORADAS

PRUEBAS DE PLACA  
PRUEBAS TRIAXIALES

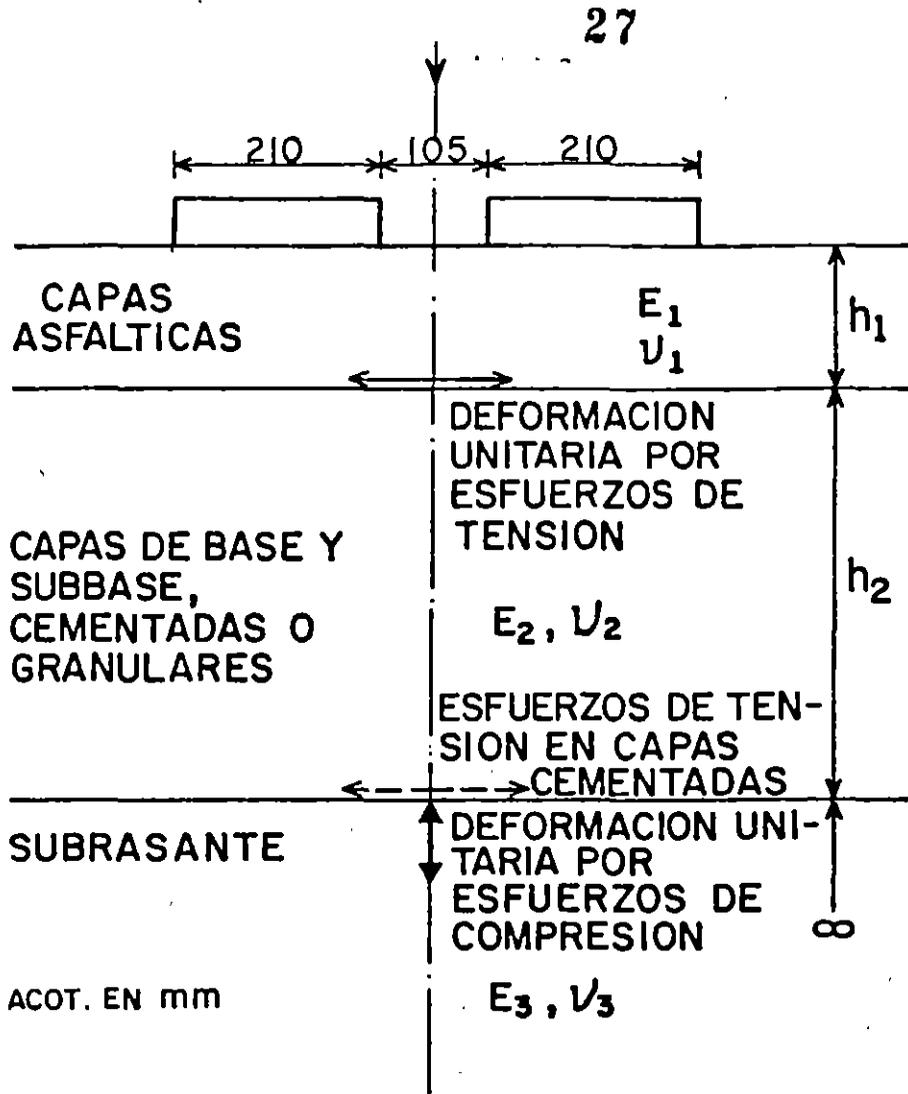
(1945)

MÉTODOS BASADOS EN ANÁLISIS  
ESTRUCTURAL DE SISTEMAS MUL-  
TICAPA

MÉTODO SHELL  
(1950)

MÉTODOS BASADOS EN EVALUACION  
ESTADÍSTICA DE COMPORTAMIENTO -  
DE PAVIMENTOS

MÉTODO AASHTO  
(1965)



CARGA DE RUEDA DOBLE DE UN EJE  
ESTANDAR DE 8.2 TON(80KN)

## PRUEBAS DE CAMPO

- C B R
- PRUEBAS DE PLACA
- VIGA BENKELMAN
- PRUEBAS VIBRATORIAS TIPO DYNAFLECT

## PRUEBAS DE LABORATORIO (ELASTICAS)

- MODULO COMPLEJO (DINAMICO)
- MODULO DE RESILIENCIA
- RIGIDEZ A LA FLEXION
- TENSION INDIRECTA (ESTATICA O DINAMICA)
- MODULO DE RIGIDEZ (EMPIRICO)

## PRUEBAS DE LABORATORIO (VISCOELASTICAS)

- FLUJO PLASTICO (CREEP)
- RELAJACION
- MODULO COMPLEJO

## FACTORES DE DISEÑO

- 1.- TRANSITO  
MAGNITUD, CONFIGURACION, Y REPETICION DE CARGAS Y SU DISTRIBUCION EN LA SECCION TRANSVERSAL
- 2.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES
  - RESISTENCIA
  - DEFORMABILIDAD BAJO CARGAS
  - VARIACIONES VOLUMETRICAS
  - DURABILIDAD
  - PERMEABILIDAD Y CAPILARIDAD
  - ETC.
- 3.- CLIMA Y FACTORES AMBIENTALES
  - REGIMENES PLUVIOMETRICOS Y DE TEMPERATURA
  - OROGRAFIA E HIDROLOGIA.

A) CARACTERIZACION DEL TRANSITO

- . VOLUMEN Y COMPOSICION DE LOS VEHICULOS
- . TASA DE CRECIMIENTO
- . VIDA O PERIODO DE DISEÑO
- . GEOMETRIA DE LA SECCION Y DISTRIBUCION DEL TRANSITO

FACTORES DE EQUIVALENCIA RECOMENDADOS PARA SUBBASES ESTABILIZADAS

M A T E R I A L	FACTOR DE EQUIVALENCIA
CARPETA ASFALTICA	1.7-2.3
BASE ASFALTICA	1.7-2.3
BASE TRATADA CON CEMENTO	1.6-2.3
BASE UTILIZANDO SUELO CEMENTO	1.5-2.0
BASE CON AGREGADOS TRITURADOS	1.4-2.0
CAPA DE SUBBASE	1.0

FACTORES DE EQUIVALENCIA RECOMENDADOS PARA BASES ESTABILIZADAS

M A T E R I A L	FACTOR DE EQUIVALENCIA
CARPETA ASFALTICA	1.2-1.6
BASE ASFALTICA	1.2-1.6
BASE TRATADA CON CEMENTO	1.2-1.6
BASE CON AGREGADOS TRITURADOS	1.0

COEFICIENTES (a) PROPUESTOS POR EL  
COMITE DE DISEÑO DE AASHO

C O M P O N E N T E	COEFICIENTE
<u>CARPETA</u>	
MEZCLA EN EL LUGAR (BAJO ESTABILIDAD)	0.20
MEZCLA EN PLANTA (ALTA ESTABILIDAD)	0.44 *
<u>BASE</u>	
GRAVA ARENOSA	0.07
ROCA TRITURADA	0.14 *
<u>SUB-BASE</u>	
GRAVA ARENOSA	0.11 *
ARENA O ARCILLA ARENOSA	0.05-0.10

Highway Conditions	Analysis Period (years)
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

Number of Lanes in Each Direction	Percent of 18-kip ESAL in Design Lane
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

**Table 2.2. Suggested Levels of Reliability for Various Functional Classifications**

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85-99.9	80-99.9
Principal Arterials	80-99	75-95
Collectors	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

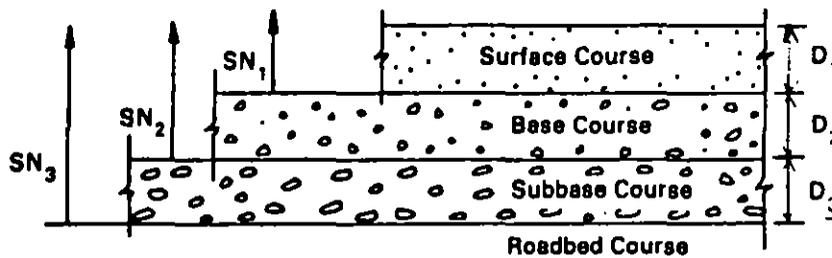
NOTE: Results based on a survey of the AASHTO Pavement Design Task Force.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

where

- $a_1, a_2, a_3$  = layer coefficients representative of surface, base, and subbase courses, respectively (see Section 2.3.5),
- $D_1, D_2, D_3$  = actual thicknesses (in inches) of surface, base, and subbase courses, respectively, and
- $m_2, m_3$  = drainage coefficients for base and subbase layers, respectively (see Section 2.4.1).

Minimum Thickness (inches)		
Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1.0 (or surface treatment)	4
50,001-150,000	2.0	4
150,001-500,000	2.5	4
500,001-2,000,000	3.0	6
2,000,001-7,000,000	3.5	6
Greater than 7,000,000	4.0	6



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

- 1)  $a, D, m$  and  $SN$  are as defined in the text and are minimum required values.
- 2) An asterisk with  $D$  or  $SN$  indicates that it represents the value actually used, which must be equal to or greater than the required value.

Figure 3.2. Procedure for Determining Thicknesses of Layers Using a Layered Analysis Approach

Quality of Drainage	Water Removed Within
Excellent	2 hours
Good	1 day
Fair	1 week
Poor	1 month
Very poor	(water will not drain)

**Table 2.4. Recommended  $m_i$  Values for Modifying Structural Layer Coefficients of Untreated Base and Subbase Materials in Flexible Pavements**

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Good	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Fair	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Poor	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Very poor	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

**Table 2.5. Recommended Values of Drainage Coefficient,  $C_d$ , for Rigid Pavement Design**

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Good	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Fair	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Poor	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Very poor	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

NOMOGRAPH SOLVES:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

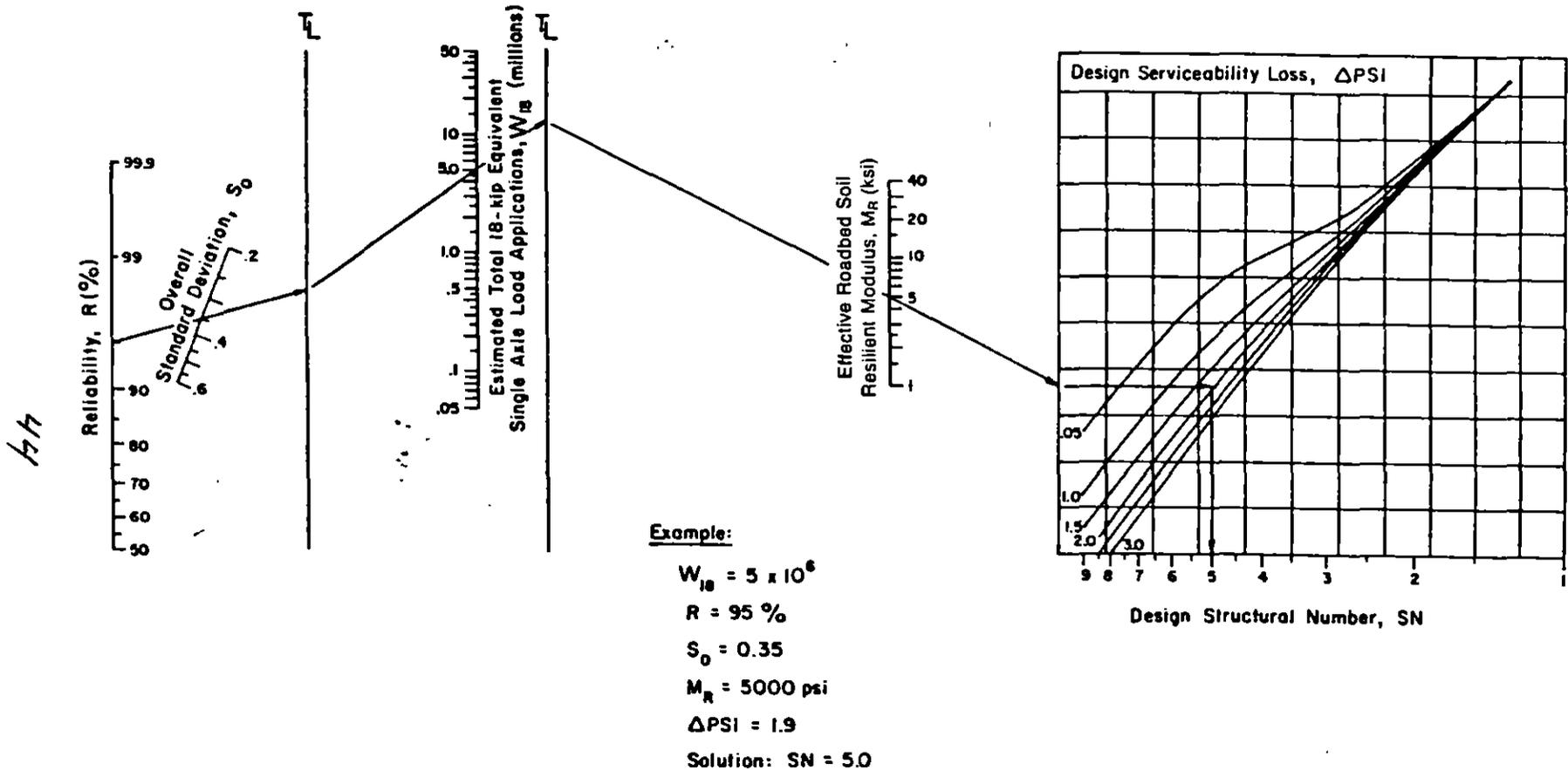


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

Table D.4. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and  $p_t$  of 2.5

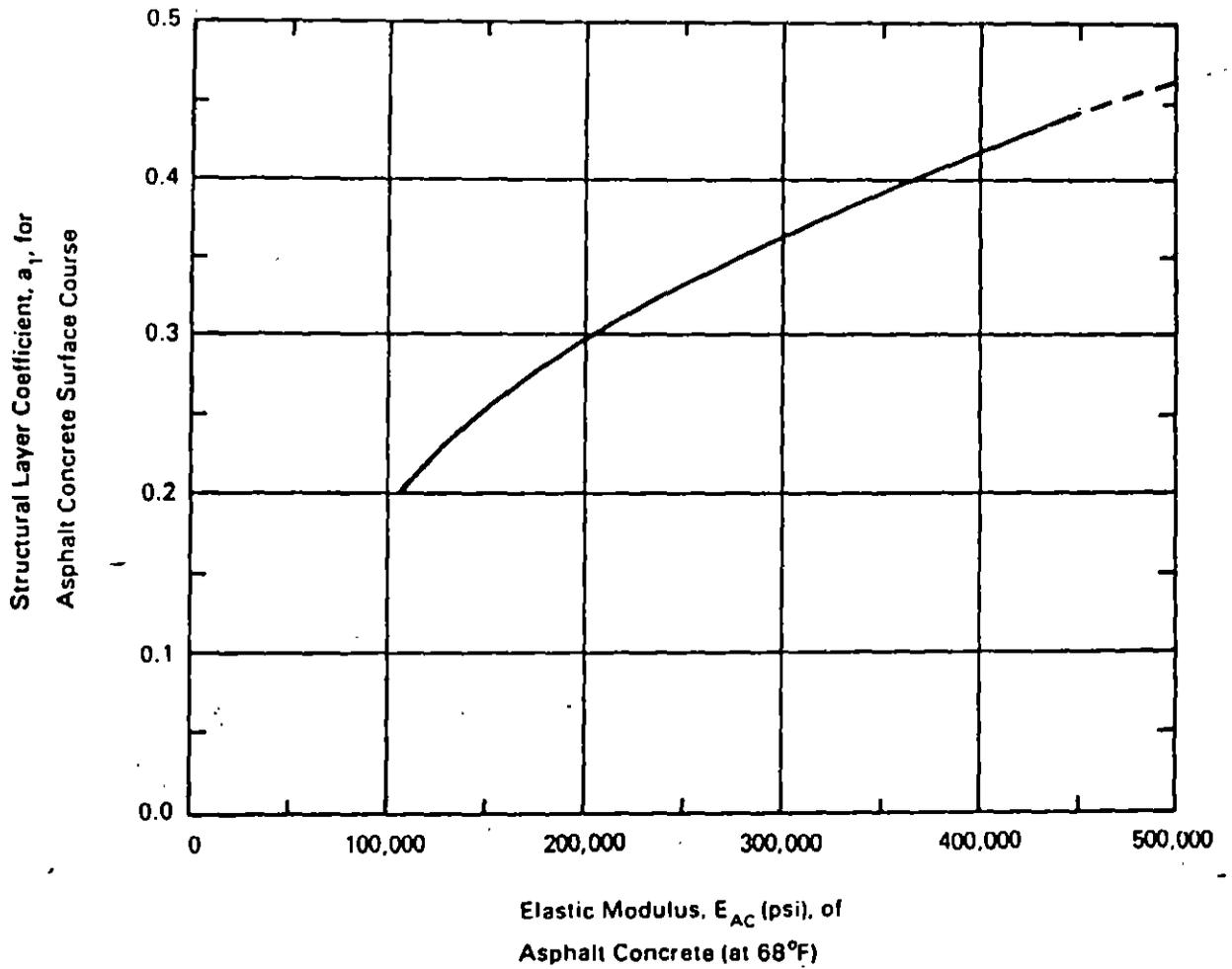
Axle Load (klps)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0004	.0004	.0003	.0002	.0002	.0002
4	.003	.004	.004	.003	.002	.002
6	.011	.017	.017	.013	.010	.009
8	.032	.047	.051	.041	.034	.031
10	.078	.102	.118	.102	.088	.080
12	.168	.198	.229	.213	.189	.176
14	.328	.358	.399	.388	.360	.342
16	.591	.613	.646	.645	.623	.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112.	102.	79.	60.	53.	55.

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

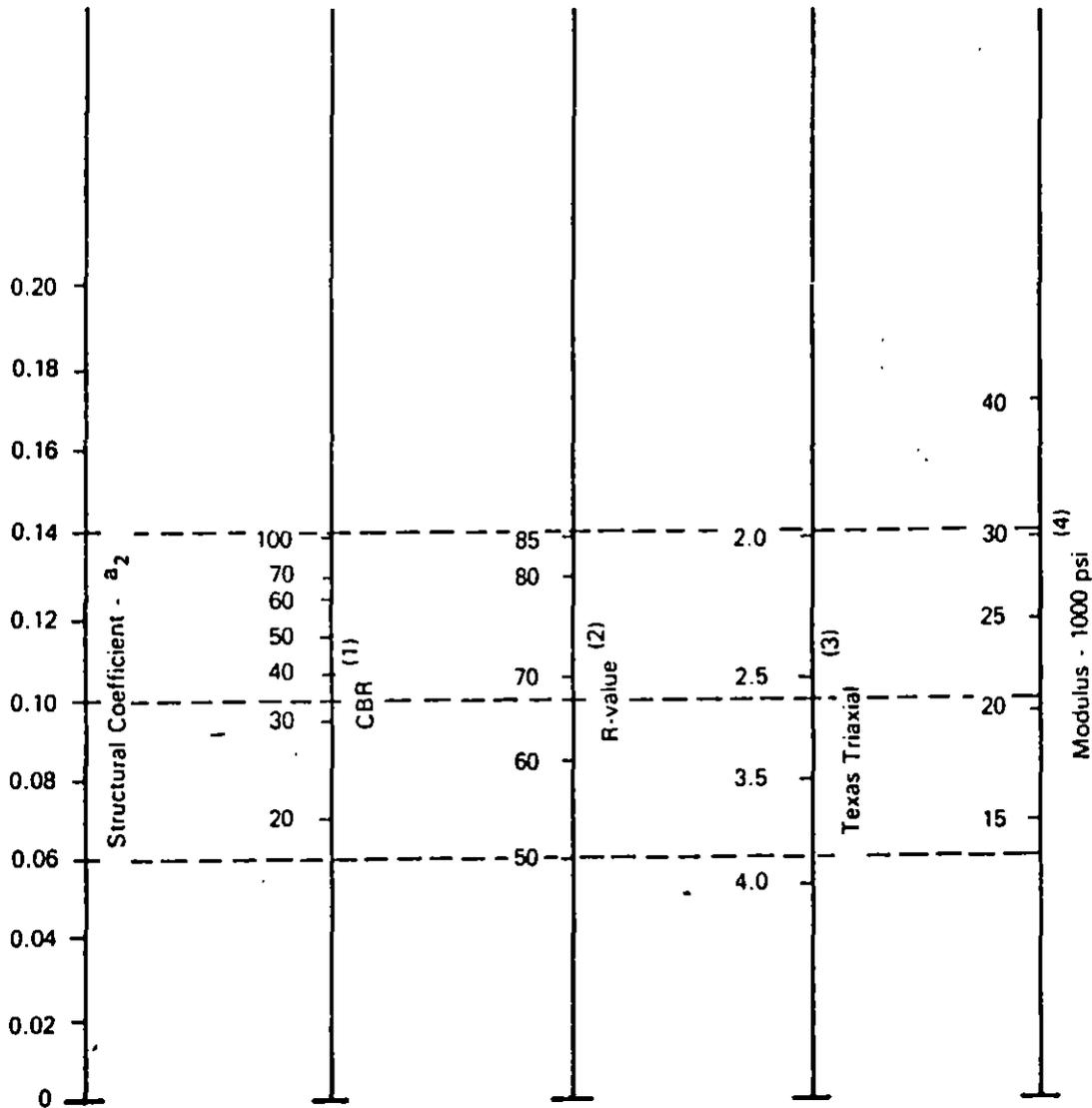
Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0001	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000
4	.0005	.0005	.0004	.0003	.0003	.0002
6	.002	.002	.002	.001	.001	.001
8	.004	.006	.005	.004	.003	.003
10	.008	.013	.011	.009	.007	.006
12	.015	.024	.023	.018	.014	.013
14	.026	.041	.042	.033	.027	.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

Table D.6. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and  $p_i$  of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0002	.0002	.0002	.0001	.0001	.0001
6	.0006	.0007	.0005	.0004	.0003	.0003
8	.001	.002	.001	.001	.001	.001
10	.003	.004	.003	.002	.002	.002
12	.005	.007	.006	.004	.003	.003
14	.008	.012	.010	.008	.006	.006
16	.012	.019	.018	.013	.011	.010
18	.018	.029	.028	.021	.017	.016
20	.027	.042	.042	.032	.027	.024
22	.038	.058	.060	.048	.040	.036
24	.053	.078	.084	.068	.057	.051
26	.072	.103	.114	.095	.080	.072
28	.098	.133	.151	.128	.109	.099
30	.129	.169	.195	.170	.145	.133
32	.169	.213	.247	.220	.191	.175
34	.219	.266	.308	.281	.246	.228
36	.279	.329	.379	.352	.313	.292
38	.352	.403	.461	.436	.393	.368
40	.439	.491	.554	.533	.487	.459
42	.543	.594	.661	.644	.597	.567
44	.666	.714	.781	.769	.723	.692
46	.811	.854	.918	.911	.868	.838
48	.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9.0
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

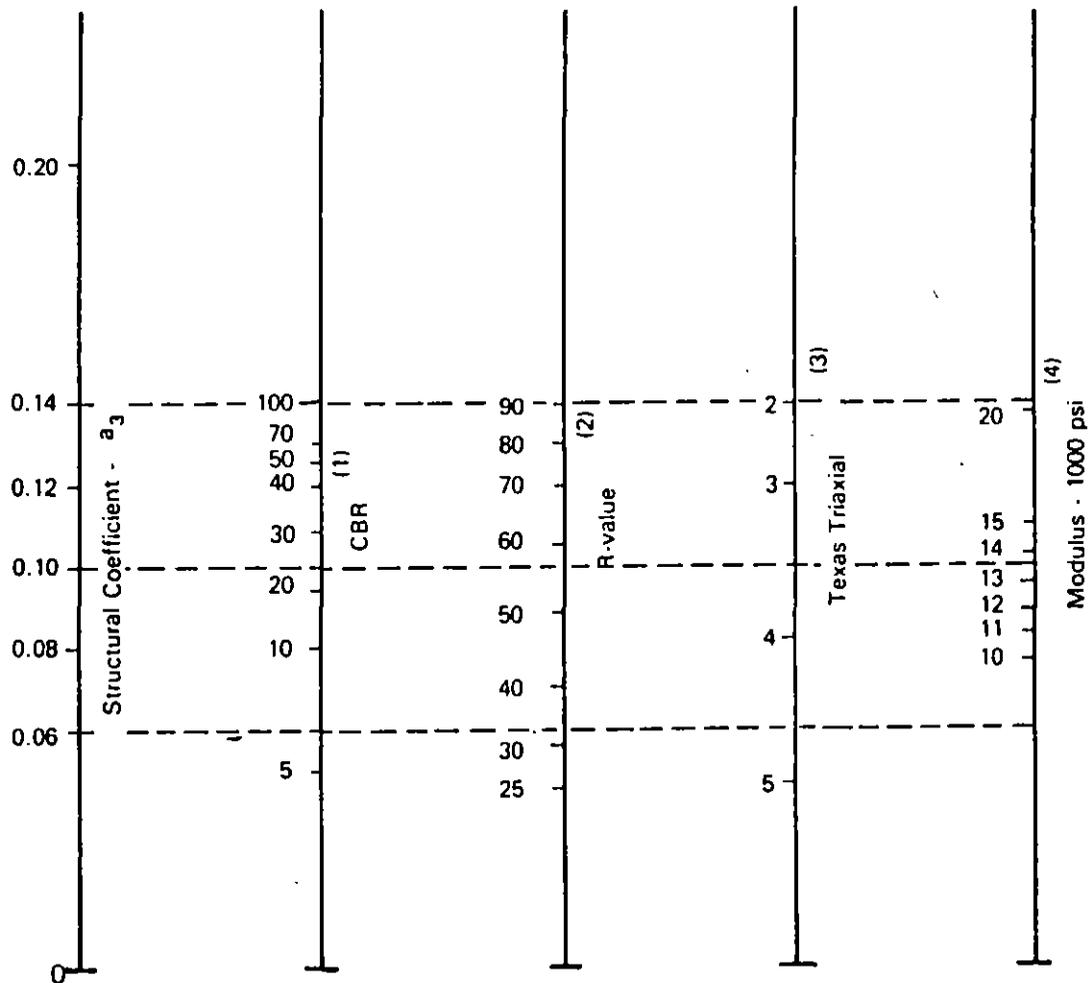


**Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (J)**



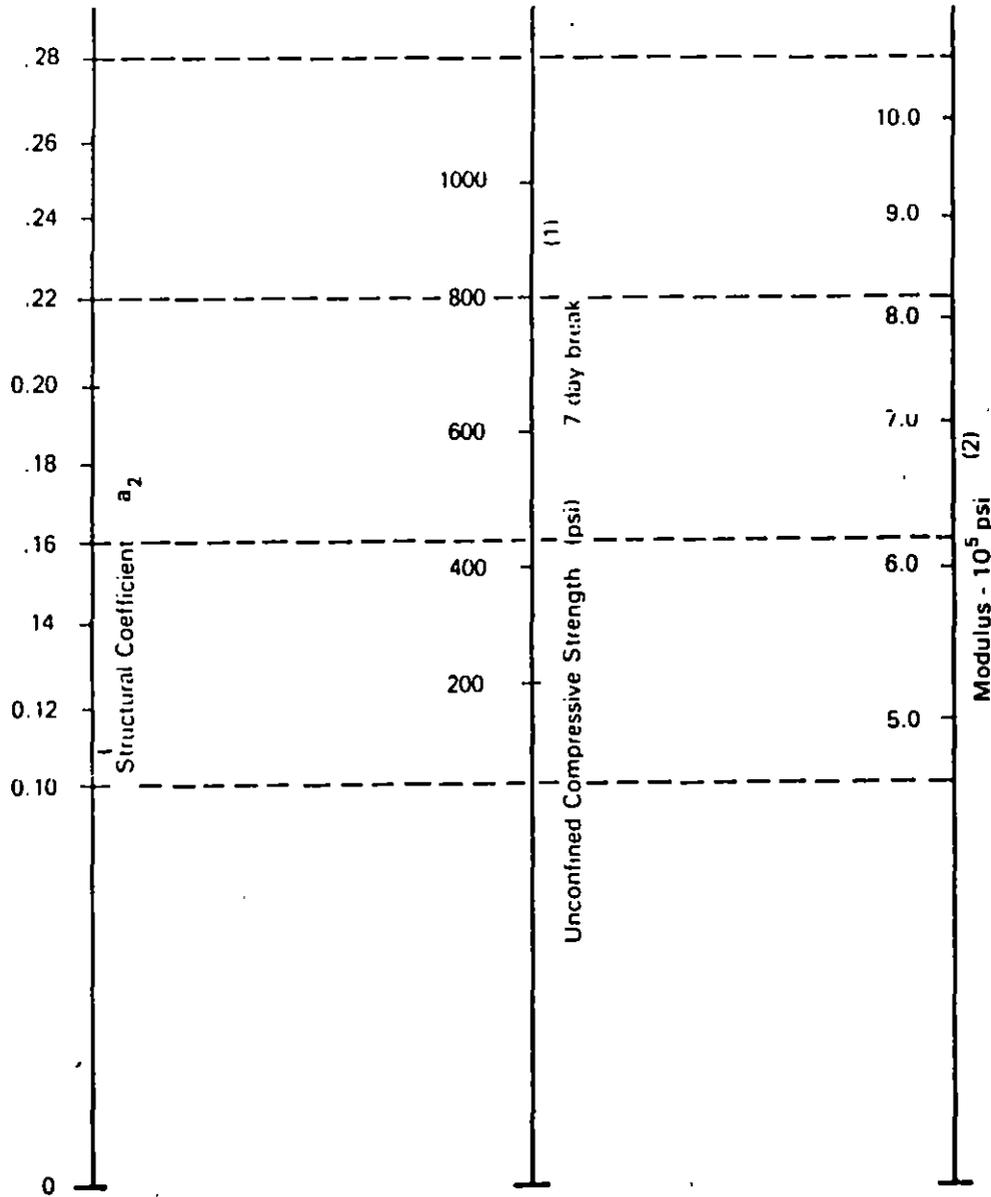
- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois.
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient ( $a_2$ ) with Various Base Strength Parameters (3)



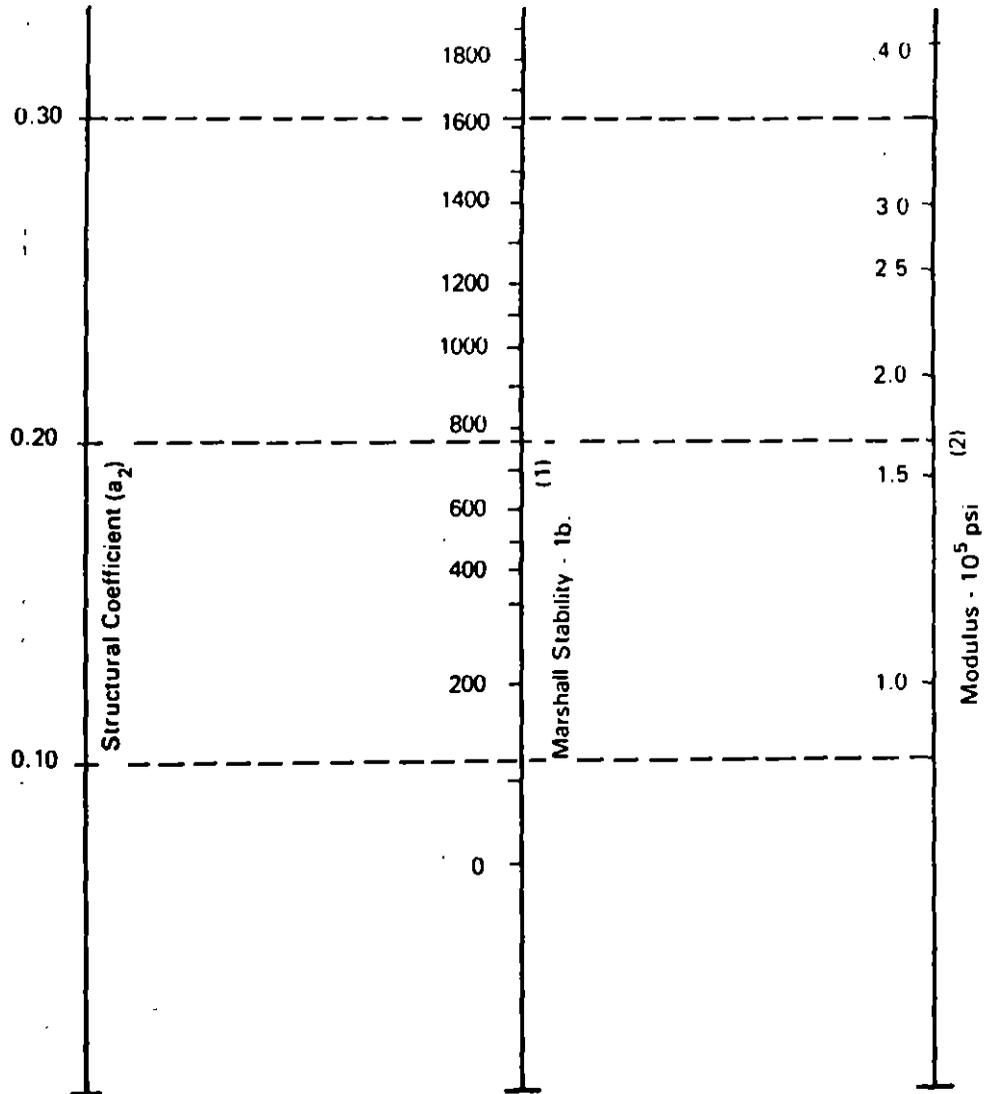
- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.7. Variation In Granular Subbase Layer Coefficient (a<sub>3</sub>) with Various Subbase Strength Parameters (3)



- (1) Scale derived by averaging correlations from Illinois, Louisiana and Texas.
- (2) Scale derived on NCHRP project (3).

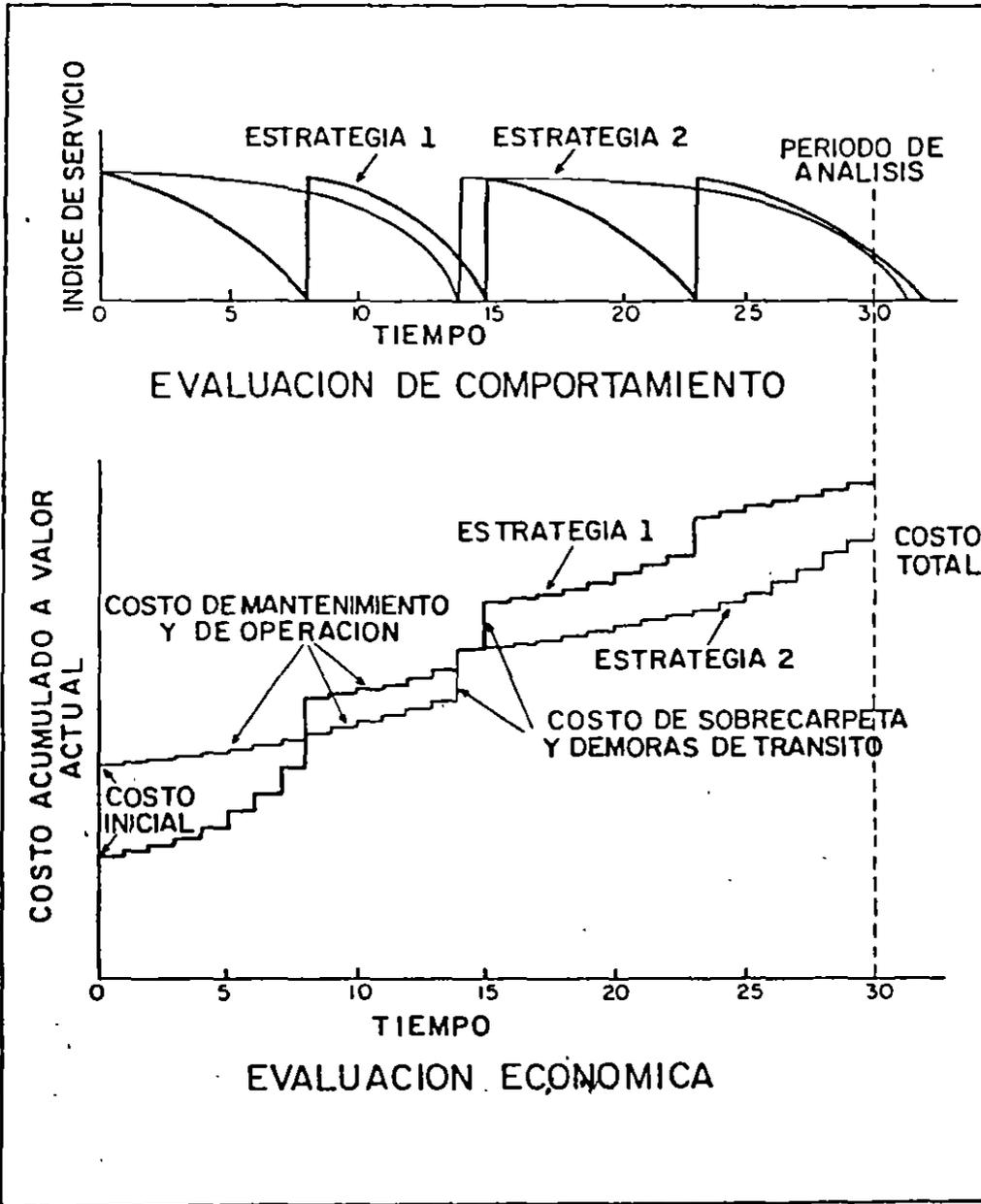
Figure 2.8. Variation in  $a_2$  for Cement-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)

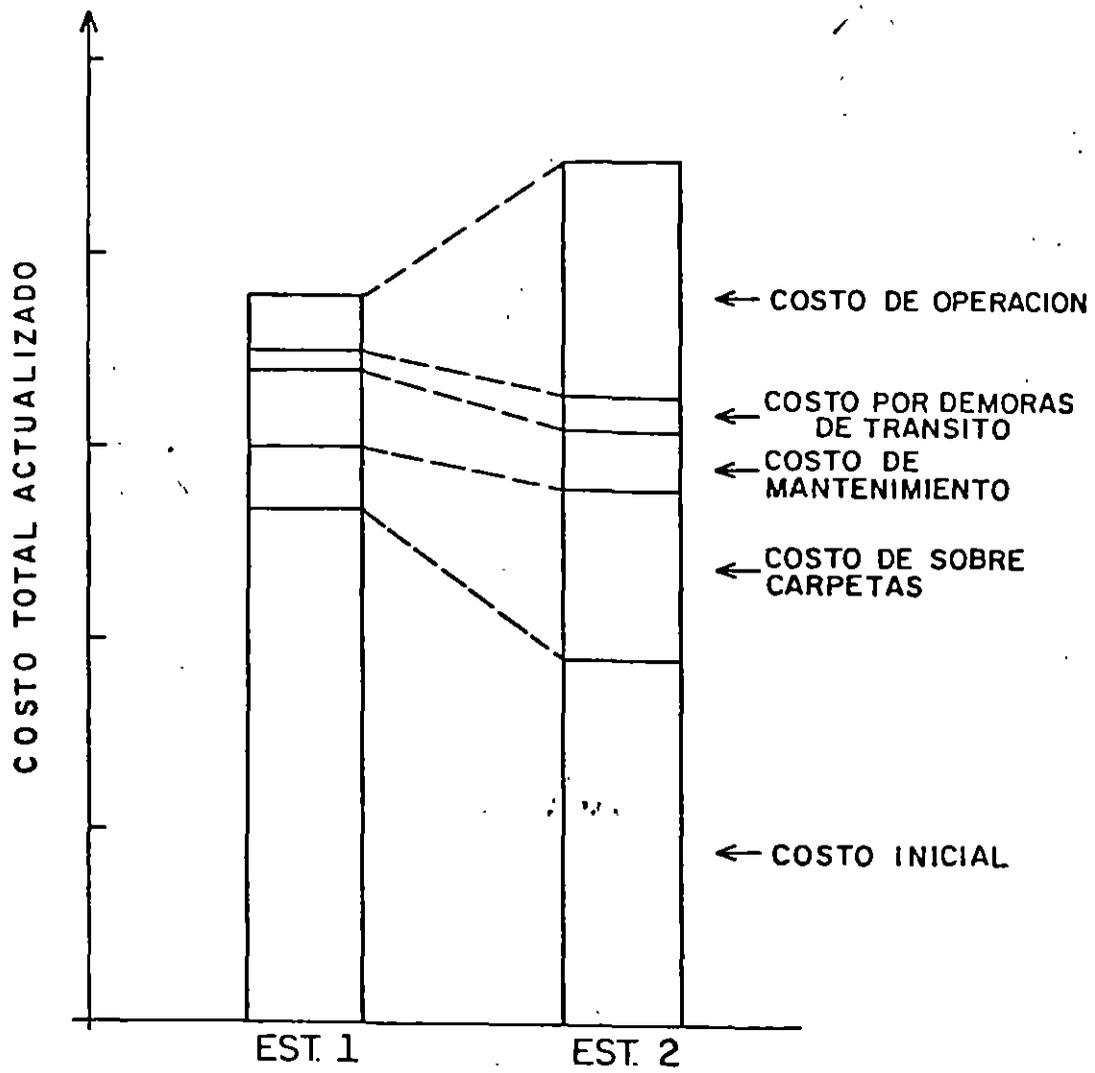
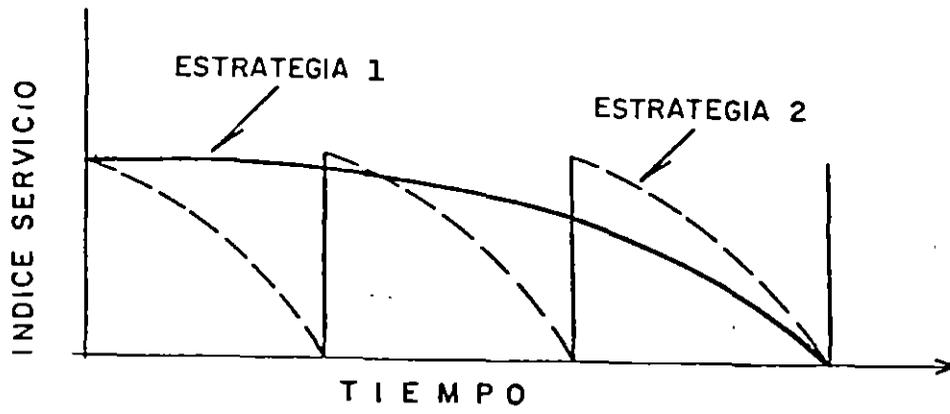


(1) Scale derived by correlation obtained from Illinois.

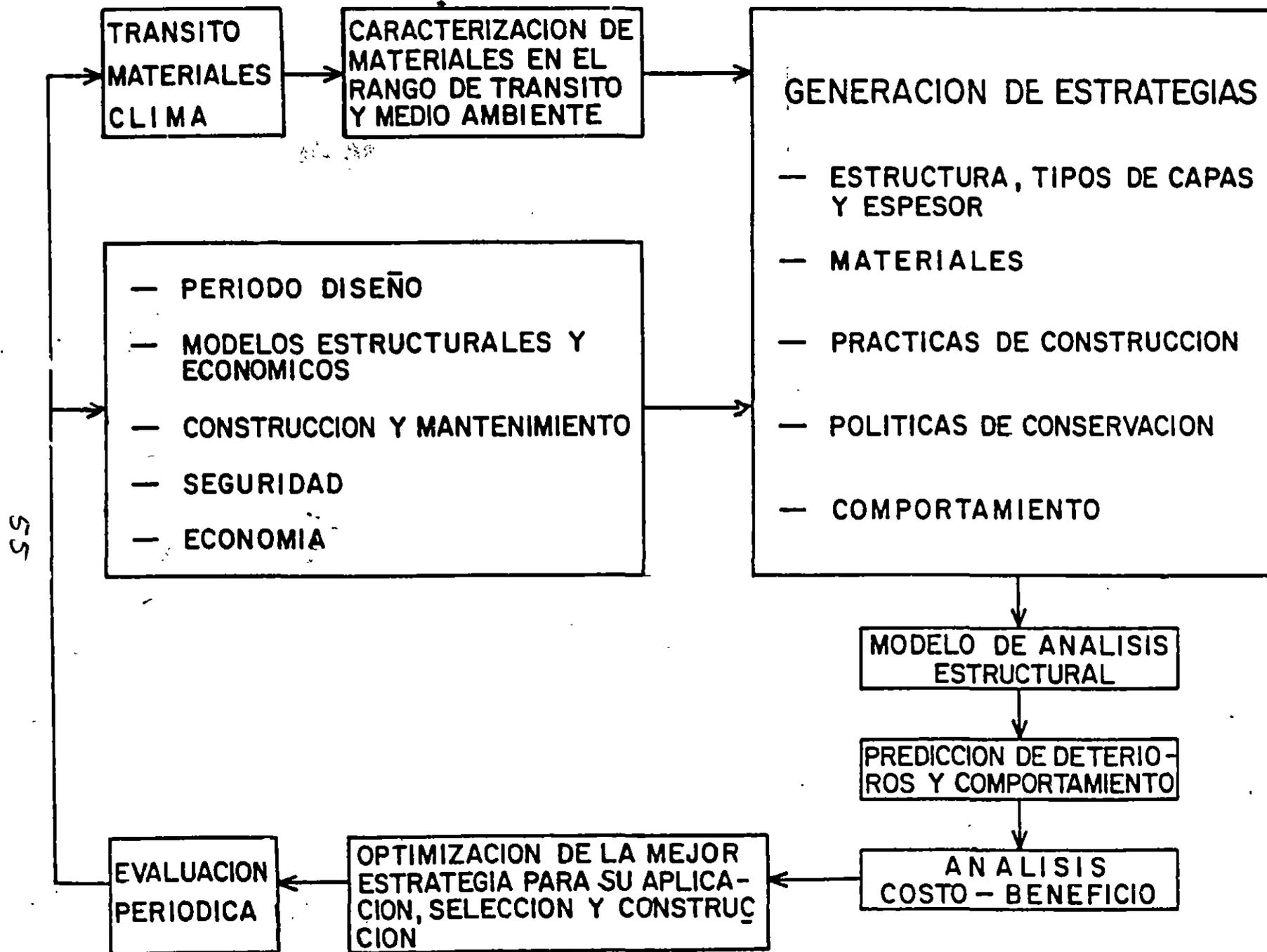
(2) Scale derived on NCHRP project (3).

**Figure 2.9. Variation in  $a_2$  for Bituminous-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)**





# SISTEMA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS



## GENERACION DE ALTERNATIVAS EN LAS ESTRATEGIAS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS

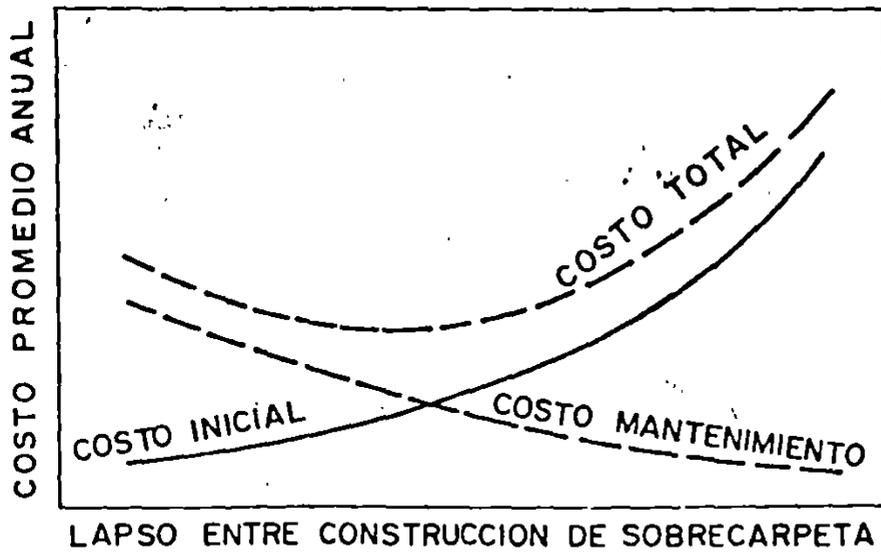
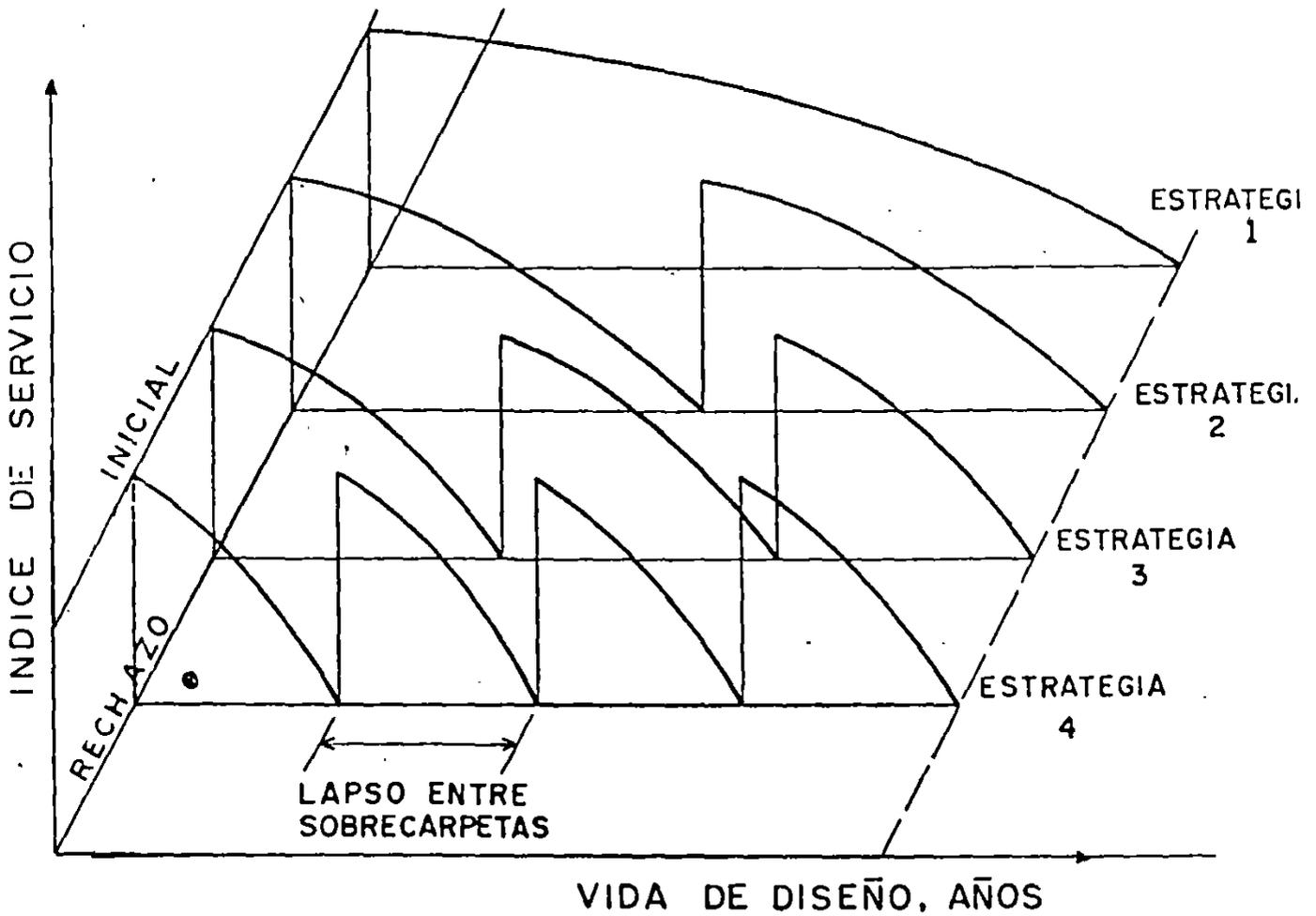
ES COMUN QUE EN LA PRACTICA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS SE CONSIDERE COMO LA SELECCION DE LA ESTRUCTURA Y ESPESORES, SE REQUIERE INTRODUCIR ADEMAS, TIPOS DE MATERIALES, POLITICAS ESPERADAS DE CONSTRUCCION, MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y EVALUACION DE COMPORTAMIENTO. USAR ESTRATEGIA DE DISEÑO PARA DESCRIBIR UNA ALTERNATIVA DE DISEÑO DE PAVIMENTO. (VER CUADRO)

### ALTERNATIVAS DE SECCIONES ESTRUCTURALES

LOS TIPOS DE PAVIMENTOS CONSIDERADOS PARA CUALQUIER SITUACION DE DISEÑO DEBERIAN INCLUIR TANTO PAVIMENTO RIGIDO COMO FLEXIBLE Y PARA COMPUESTOS CON CAPAS ESTABILIZADAS. NORMALMENTE SIN EMBARGO SOLO UN TIPO ES CONSIDERADO. DEBIDO A: 1) PREFERENCIA PERSONAL DEL DISEÑADOR. 2) EXPERIENCIA PREVIA EXITOSA CON UN TIPO PARTICULAR DE PAVIMENTO. 3) FALTA DE MEDIOS ADECUADOS PARA EJECUTAR COMPARACIONES.

- EJEMPLOS ALTERNATIVOS:
- A.- CARPETA, CONCRETO ASFALTICO
  - B.- BASE GRANULAR
  - C.- BASE TRATADA CON ASFALTO
  - D.- SUB-BASE GRANULAR

ANALISIS DE ESTRATEGIAS



1.- FASES DEL PROYECTO

- ESTRUCTURACION Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES CAPAS
- NORMAS DE CALIDAD Y FUENTES DE APROVISIQ NAMIENTO DE MATERIALES
- NORMAS DE CONSTRUCCION
- TOLERANCIAS DE CONSTRUCCION Y ACABADO

2.- QUE DEBEMOS HACER:

- EXPLORACION Y MUESTREO A LO LARGO DE LA RUTA
- ENSAYES DE LABORATORIO
- ESTUDIOS ESPECIFICOS
- ANALISIS DE TRANSITO
- CLIMA Y FACTORES AMBIENTALES
- RECURSOS Y POTENCIALIDAD DE MATERIALES

3.- QUE DEBEMOS TENER:

- BUEN CONOCIMIENTO DE LOS DIFERENTES FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO
- CIERTO DOMINIO DE VARIOS DE LOS PRINCIPALES METODOS DESARROLLADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE -- LAS DIFERENTES CAPAS
- FAMILIARIDAD CON LAS NORMAS QUE REGULAN LA CALIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES
- EXPERIENCIA Y BUEN JUICIO

<u>Categorías de tránsito</u>		
Categorías de tráfico	Designación	Número acumulado de ejes equivalentes de 13 t (130 kN) en el carril y periodo de proyecto
T1	Pesado	$4 \cdot 10^6 - 10^7$
T2	Medio alto	$8 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^6$
T3	Medio bajo	$8 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^5$
T4	Ligero	$10^4 - 8 \cdot 10^4$

#### CATEGORIAS DE SUBRASANTE

E1    CBR - 5 - 10  
E2    CBR - 10-20  
E3    CBR - 20 +

TABLA 1

Número de ejes equivalentes de 13 t(130 kN) correspondiente a un eje simple		
Carga por eje P(t) P'(kN)		Número de ejes equivalentes de 13 t(130 kN)
1	10	0,00004
2	20	0,00055
3	30	0,003
4	40	0,009
5	50	0,02
6	60	0,04
7	70	0,08
8	80	0,14
9	90	0,22
10	100	0,35
11	110	0,51
12	120	0,73
13	130	1,0
14	140	1,3
15	150	1,8
16	160	2,3
17	170	2,9
18	180	3,7
19	190	4,6
20	200	5,6

## CATEGORIAS DE TRANSITO

DESIGNACION	NUMERO ACUMULADO DE EJES DE 8.2 t (80 KN)
T <sub>0</sub> _____	$6 \times 10^7$
T <sub>1</sub> _____	$2.5 \times 10^7 - 6 \times 10^7$
T <sub>2</sub> _____	$5 \times 10^6 - 2.5 \times 10^7$
T <sub>3</sub> _____	$5 \times 10^5 - 5 \times 10^6$
T <sub>4</sub> _____	$6.3 \times 10^4 - 5 \times 10^5$

63

TABLA 4.- CATÁLOGO DE SECCIONES DE FIRME

TRAFICO	T 0														T 1														T 2																									
	021	022	023	024	025	026	027	031	032	033	034	035	036	037	121	122	123	124	125	126	127	131	132	133	134	135	136	137	211	212	213	214	215	216	217	221	222	223	224	225	226	227	231	232	233	234	235	236	237					
HORMIGÓN VIBRADO					28	28							28	28					25	25						25	25							23	23						23	23					23	23						
MEZCLAS BITUMINOSAS	35	30	30	15	10			35	30	27	15	10			30	25	25	15	10			30	25	22	15	10			30	25	18	12	8			25	20	18	12	8			25	20	18	12	8			25	20	18	12	8
HORMIGÓN COMPACTADO					25								25						22							22								20						20									20					
HORMIGÓN MAGRO					15								15						15							15								15						15								15						
GRAVA CEMENTO				25		15					22		15					22		15				20		15					20		15				20		15				20		15		15							
SUELO CEMENTO			20	20	20					20	20	20					20	20	20					20	20	20					25	20	20					22	20	20						20	15	15						
ZAHORRA ARTIFICIAL	20	25						25							20	25						25						25	25						20	25							25											
ZAHORRA NATURAL		25				20	20									25			20	20									25	20	20	20	20	20		25																		
EXPLANADA	E 1	E 2				E 3				E 1	E 2				E 3				E 1				E 2				E 3																											

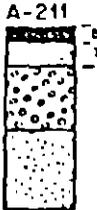
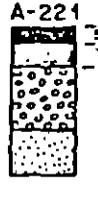
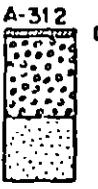
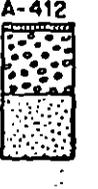
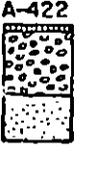
19

TRAFICO	T 3														T 4																							
	311	312	313	314	315	316	321	322	323	324	325	326	331	332	333	334	335	336	411	412	413	414	415	416	421	422	423	424	425	426	431	432	433	434	435	436		
HORMIGÓN VIBRADO					21							21						21						20														20
MEZCLAS BITUMINOSAS	20	18	12	6	*		18	15	12	6	*		18	15	12	6	*		5	TS	8	6	*		5	TS	8	6	*		5	TS	8	6	*			
HORMIGÓN COMPACTADO				20							20						20							20													20	
GRAVA CEMENTO			18							18						20	**						18							18	**					18	**	
SUELO CEMENTO		25	20	15				22	15	15				22								25	15					22	**				22					
ZAHORRA ARTIFICIAL	25	25				25	25					25							30	30					20	20					30	30						
ZAHORRA NATURAL	25	20			20		25				20								20	25	20		20	20	20	25			20									
EXPLANADA	E 1				E 2				E 3				E 1				E 2				E 3																	

TS = Tratamiento superficial mediante riegos con gravilla  
 \* = TS ó 4 cm. de M.B.  
 \*\* = Sólo con explanada con superficie estabilizada

Fig.3 SECCIONES ESTRUCTURALES DE FIRMES FLEXIBLES  
GRUPO A : SECCIONES CON BASE GRANULAR

6.1 IC

E 1		E 2		E 3		
						T1
 <p>A-211 3 12 20 25</p>			 <p>A-221 3 12 20 15</p>			T2
 <p>A-311 8 20 20</p>	 <p>A-312 DTS 25 20</p>	 <p>A-321 8 20 15</p>	 <p>A-322 DTS 25 15</p>	 <p>A-331 8 20</p>	 <p>A-332 DTS 25 20</p>	T3
 <p>A-411 5 15 20</p>	 <p>A-412 DTS 20 20</p>	 <p>A-421 5 15 15</p>	 <p>A-422 DTS 20 15</p>	 <p>A-431 5 15</p>	 <p>A-432 DTS 20 20</p>	T4

No están representados los riegos de imprimación, adherencia y curado

Espesores en centímetros

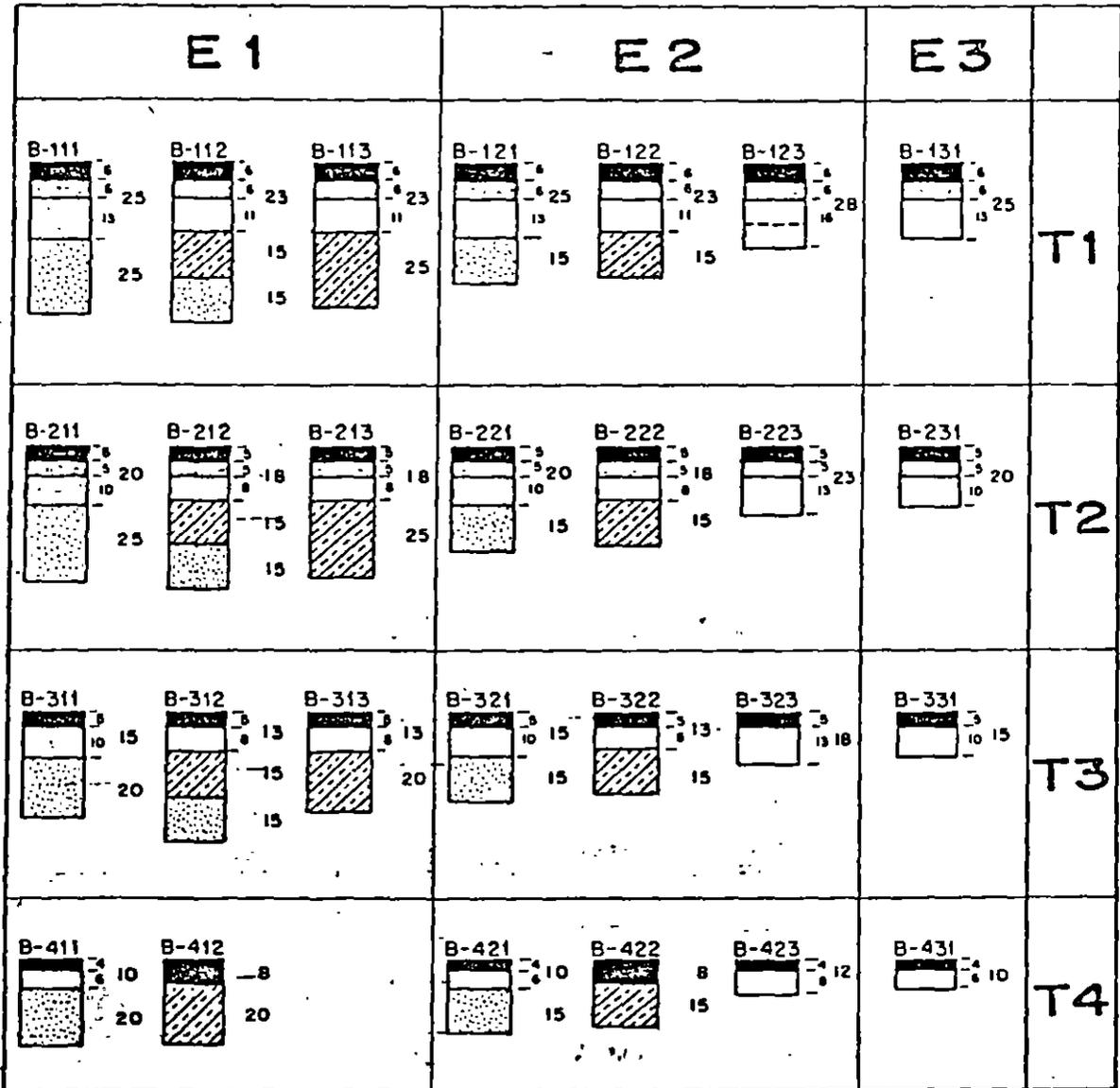
SIMBOLOGIA		MEZCLAS BITUMINOSAS (3.3.2)		DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL (3.3.5)	
	CAPA DE RODADURA				
	CAPA INTERMEDIA		BASE GRANULAR (3.3.9)		SUBBASE GRANULAR (3.3.10)

En las secciones con doble tratamiento superficial (DTS) la base será de macadam.

Fig.4 SECCIONES ESTRUCTURALES DE FIRMES FLEXIBLES

GRUPO B : SECCIONES CON BASE BITUMINOSA

6.1 IC



No están representados los riegos de imprimación, adherencia y curada.

Espesores en centímetros

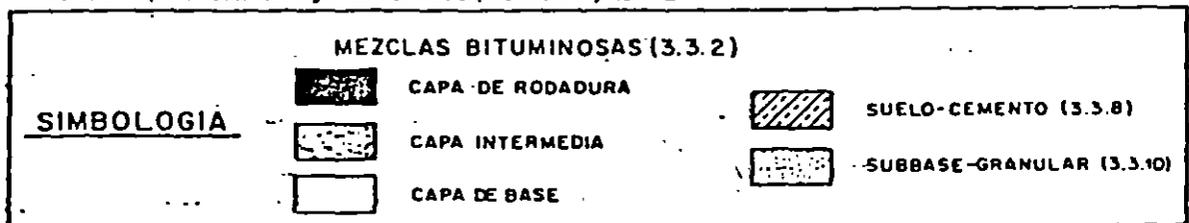


Fig.5 SECCIONES ESTRUCTURALES DE FIRMES FLEXIBLES  
GRUPO C : SECCIONES CON BASE DE GRAVA-CEMENTO

6.1 IC

E 1		E 2		E 3		
<p>C-111</p> <p>C-112</p> <p>C-113</p>	<p>C-121</p> <p>C-122</p>	<p>C-131</p> <p>(*)</p> <p>C-132</p>				T1
<p>C-211</p> <p>C-212</p>	<p>C-221</p> <p>C-222</p>	<p>C-231</p> <p>18(**)</p>				T2
<p>C-311</p> <p>C-312</p>	<p>C-321</p> <p>C-322</p>	<p>C-331</p> <p>18(**)</p>				T3
<p>C-411</p> <p>C-412</p>	<p>C-421</p> <p>C-422</p>	<p>C-431</p> <p>C-432</p>				T4

No están representados los riegos de imprimación, adherencia y curado

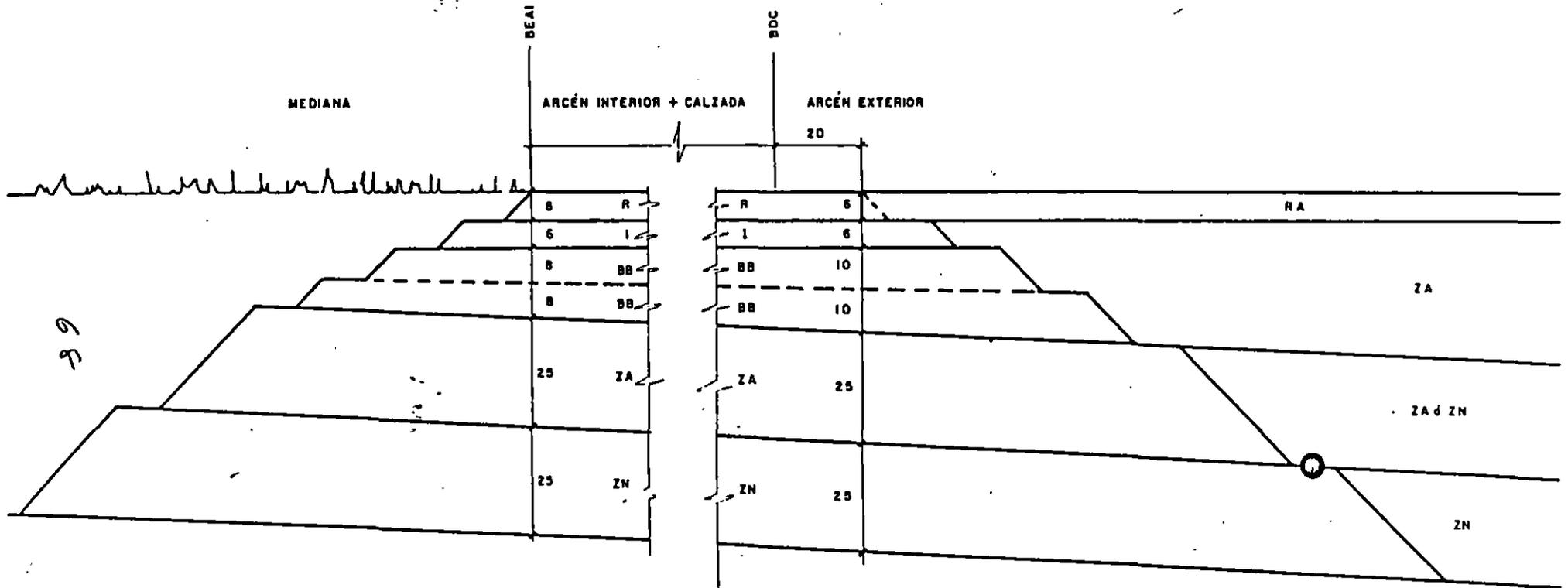
Espesores en centímetros

SIMBOLOGIA		MEZCLAS BITUMINOSAS (3.3.2)			
	CAPA DE RODADURA		GRAVA-CEMENTO (3.3.7)		SUELO-CEMENTO (3.3.8)
	CAPA INTERMEDIA		ZAHORRA ARTIFICIAL (3.3.9)		SUBBASE GRANULAR (3.3.10)

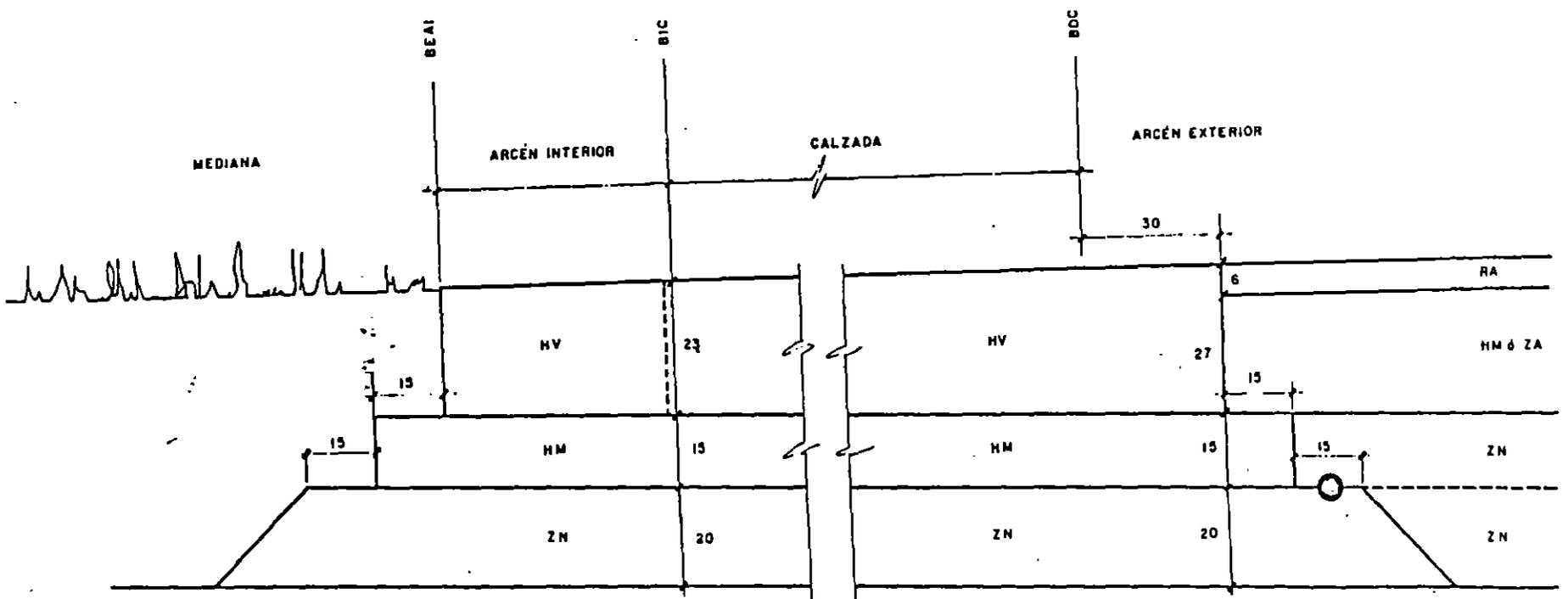
(\*) Si la explanada está estabilizada con cemento en 15cm de profundidad se podrá suprimir la subbase, aumentando en este caso el espesor de la base a 20 cm.

(\*\*) 15cm con explanada estabilizada con cemento.

# SECCIÓN 022



69



## CATALOGO

## TABLA 3

## ESTRUCTURAS DE FIRME

TRAFICO	T 0														T 1												
SECCION N° →	021	022	023	024	025	026	027	031	032	033	034	035	036	037	121	122	123	124	125	126	127	131	132	133	134	135	136
HORMIGON VIBRADO						28	28						28	28							25	25					25
MEZCLAS BITUMINOSAS	35	30	30	15	8			35	30	27	15	8			30	25	25	15	8			30	25	22	15	8	
HORMIGON COMPACTADO					25							25								22							22
HORMIGON MAGRO						15							15								15						15
GRAVACIMIENTO				25			15				22			15					22			15				20	
SUELOCEMENTO			20	20	20					20	20	20						20	20	20					20	20	20
ZAHORRA ARTIFICIAL	20	25								25					20	25								25			
ZAHORRA NATURAL		25				20	20									25					20	20					
EXPLANADA	E2							E3							E2					E3							

## TIPOS DE CARPETAS ASFALTICAS

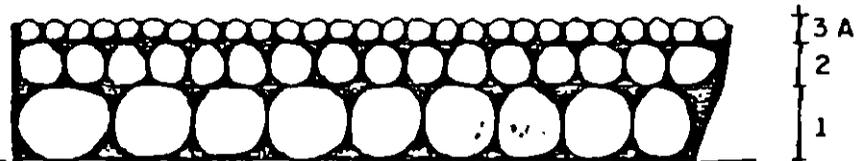
- 1) DE RIEGOS ( UNO O VARIOS )
- 2) MEZCLAS ELABORADAS EN FRIO
  - a) EN EL LUGAR, CON MOTOCONFORMADORA
  - b) EN PLANTA MOVIL
  - c) EN PLANTA ESTACIONARIA
- 3) MEZCLAS EN CALIENTE, ELABORADAS  
EN PLANTA FIJA ( CONCRETOS ASFALTICOS)

## CARPETAS POR RIEGOS

### TIPOS DE AGREGADOS

DENOMINACION	PASA POR	RETENIDO EN
1	1"	1/2"
2	1/2"	1/4"
3A	3/8"	Nº 8
3B	1/4"	Nº 8
3E	3/8"	Nº 4

### CARPETA DE TRES RIEGOS



## CARPETA ASFALTICA

### AGREGADOS

GRANULOMETRIA  
NATURALEZA DE LOS FINOS  
DUREZA Y SANIDAD  
FORMA Y TEXTURA DE PARTICULAS  
ADHERENCIA CON ASFALTO

### PRODUCTO ASFALTICO

CONSISTENCIA  
DUCTILIDAD  
SOLUBILIDAD  
PRUEBA DE LA MANCHA  
PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA  
ETC.

## PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

TAMAÑO Y GRANULOMETRIA

TRITURACION Y CRIBADO

FORMA

TRITURACION

LIMPIEZA Y TEXTURA SUPERFICIAL

LAVADO Y TRITURACION

ADHERENCIA CON EL ASFALTO

LAVADO, TRITURACION Y ADITIV

DUREZA Y SANIDAD

SELECCION

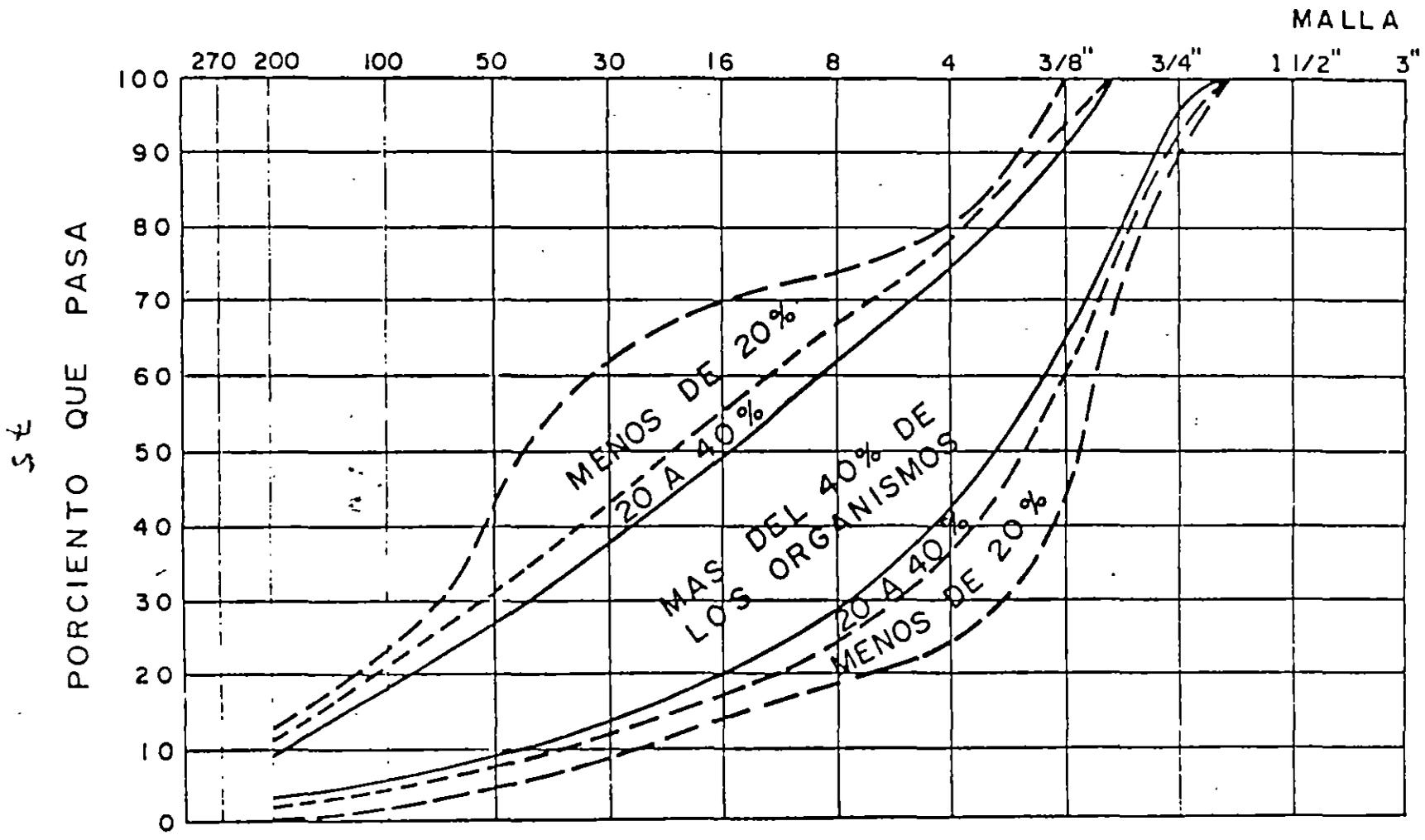
ABSORCION

SELECCION

CONTENIDO DE FINOS PLASTICOS

SELECCION, CRIBADO, LAVADO

# ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO



5.- CLASIFICACI3N DE LOS ASFALTOS.

Asfaltos

S3lidos a temperatura ambiente.

Cementos Asfálticos (C.A.)

- Núm. 3 (Penetraci3n 180-200)
- Núm. 6 (Penetraci3n 80-100)
- Núm. 7 (Penetraci3n 60-70)
- Núm. 8 (Penetraci3n 40-50)

Líquidos a temperatura ambiente.

Asfalto Rebajado (C.A. - Solv.)

Fraguado rápido (Solv. tipo nafta o gasolina).

- FR-0 (50 % Solv. Máx.) (50 % Cemento Asf. Mín.)
- FR-1 (40 % " " ) (60 % " " " )
- FR-2 (33 % " " ) (67 % " " " )
- FR-3 (27 % " " ) (73 % " " " )
- FR-4 (22 % " " ) (78 % " " " )

Fraguado medio (Solv. tipo kerosina o petróleo)

- FM-0 (50 % Solv. Máx.) (50 % Cemento Asf. Mín.)
- FM-1 (40 % " " ) (60 % " " " )
- FM-2 (33 % " " ) (67 % " " " )
- FM-3 (27 % " " ) (73 % " " " )
- FM-4 (22 % " " ) (78 % " " " )

Fraguado lento (Solv. de aceites ligeros)

- FL-0 (60 % Solv. Máx.) (40 % Cemento Asf. Mín.)
- FL-1 (50 % " " ) (50 % " " " )
- FL-2 (40 % " " ) (60 % " " " )
- FL-3 (30 % " " ) (70 % " " " )
- FL-4 (25 % " " ) (75 % " " " )

Emulsiones Asfálticas (C.A. agua)

Aniónicas

- Rompimiento rápido
- Rompimiento medio
- Rompimiento lento

- RR-1 (43 % Agua Máx.) (57 % Cemento Asf. Mín.)
- RR-2 (38 % " " ) (62 % " " " )
- RM-2 (38 % Agua Máx.) (62 % Cemento Asf. Mín.)
- RL-1 (43 % Agua Máx.) (57 % Cemento Asf. Mín.)
- RL-2 (43 % " " ) (57 % " " " )

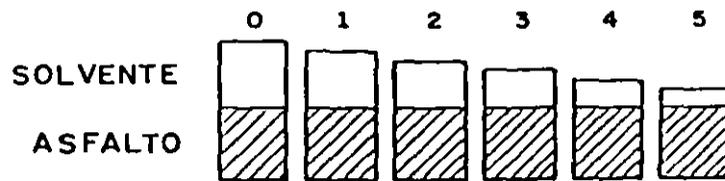
Catiónicas

- Rompimiento rápido
- Rompimiento medio
- Rompimiento lento

- RR-2 K (40 % Agua Máx.) (60 % Cemento Asf. Mín.)
- RR-3 K (35 % " " ) (65 % " " " )
- RM-2 K (40 % Agua Máx.) (60 % Cemento Asf. Mín.)
- RM-3 K (35 % Agua Máx.) (65 % " " " )
- RL-2 K (43 % Agua Máx.) (57 % Cemento Asf. Mín.)
- RL-3 K (43 % Agua Máx.) (57 % " " " )

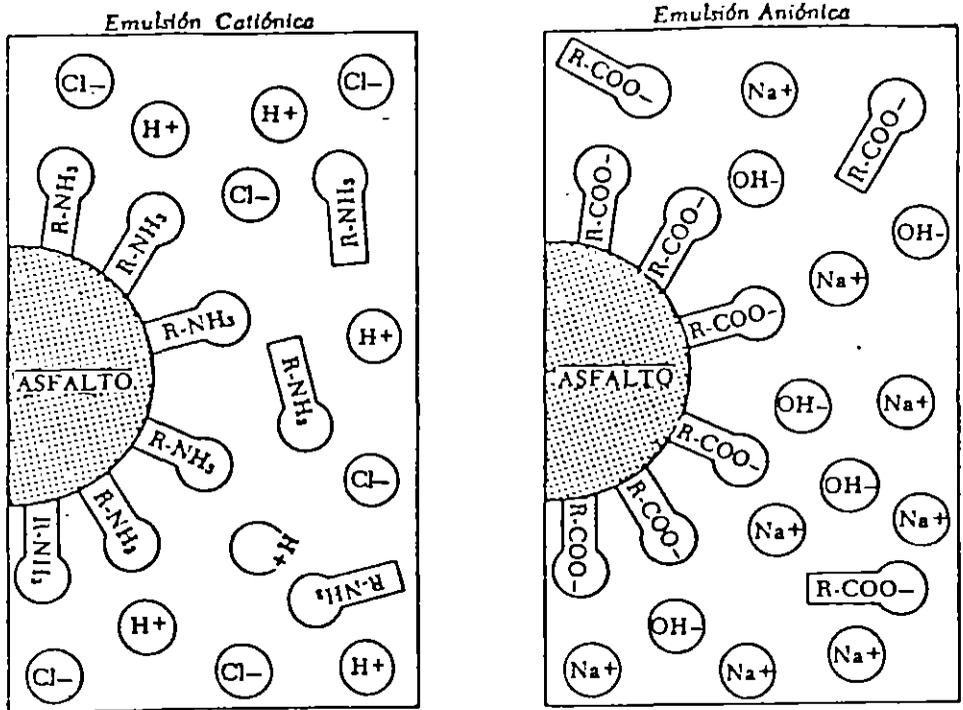
97

ASFALTOS REBAJADOS  
PROPORCION DE SOLVENTES

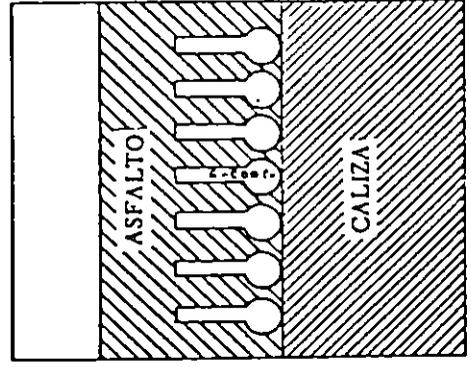
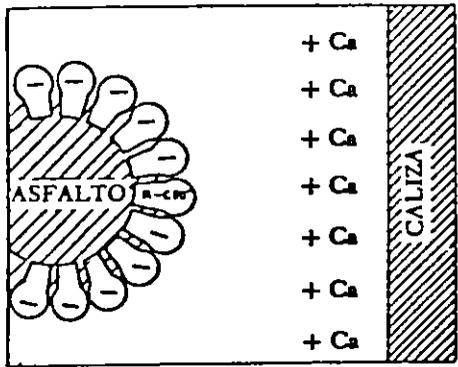


TIPO DE SOLVENTE

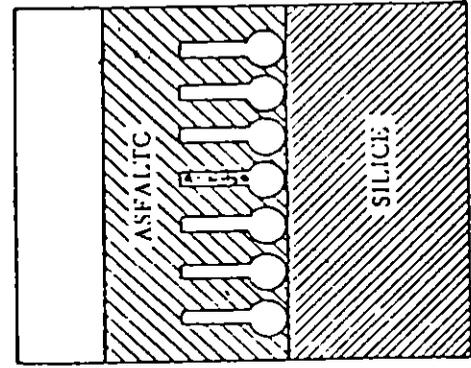
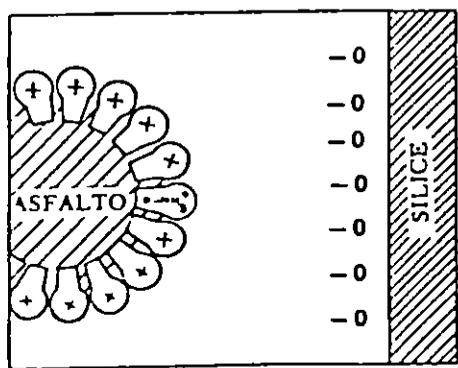
FRAGUADO RAPIDO (FR)	NAFTA
FRAGUADO MEDIO (FM)	KEROSENA
FRAGUADO LENTO (FL)	ACEITE LIGERO



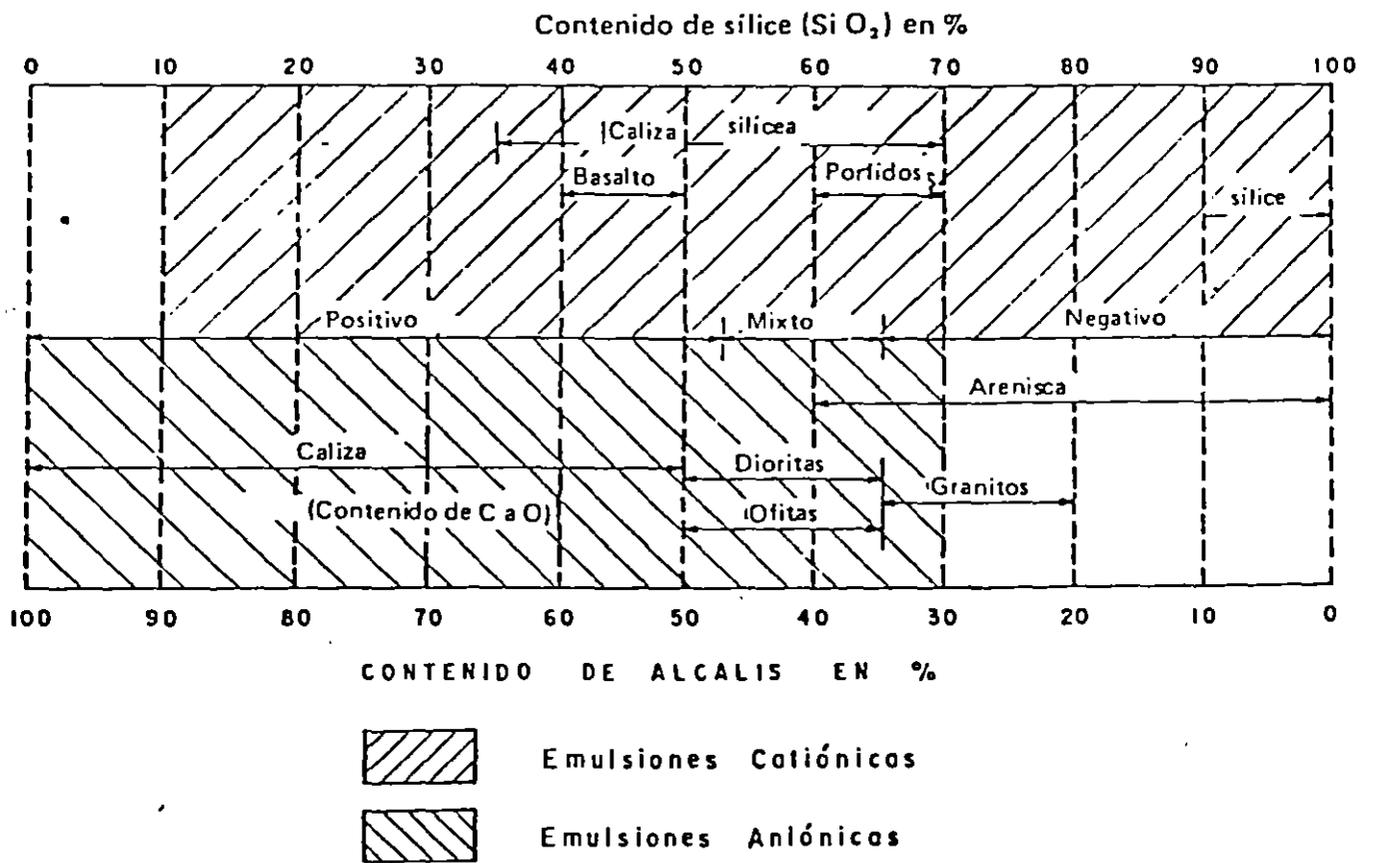
Esquema de un Glóbulo que Forma una Emulsión Aniónica y una Catiónica, Respectivamente.



Acción de una Emulsión Aniónica con un Material Calizo.



Acción de una Emulsión Catiónica con un Material Siliceo.



*Figura IX.6* Clasificación de los agregados. (Fuerza Aérea, E.U.A.).

TEMPERATURA AMBIENTE	TIPO DE CEMENTO ASFALTICO PENETRACION
$t \leq 7^{\circ}\text{C}$	120 - 150, 85 - 100
$7^{\circ}\text{C} < t < 24^{\circ}\text{C}$	85 - 100, 60 - 70
$\geq 24^{\circ}\text{C}$	60 - 70, 40 - 50

( INSTITUTO DEL ASFALTO )

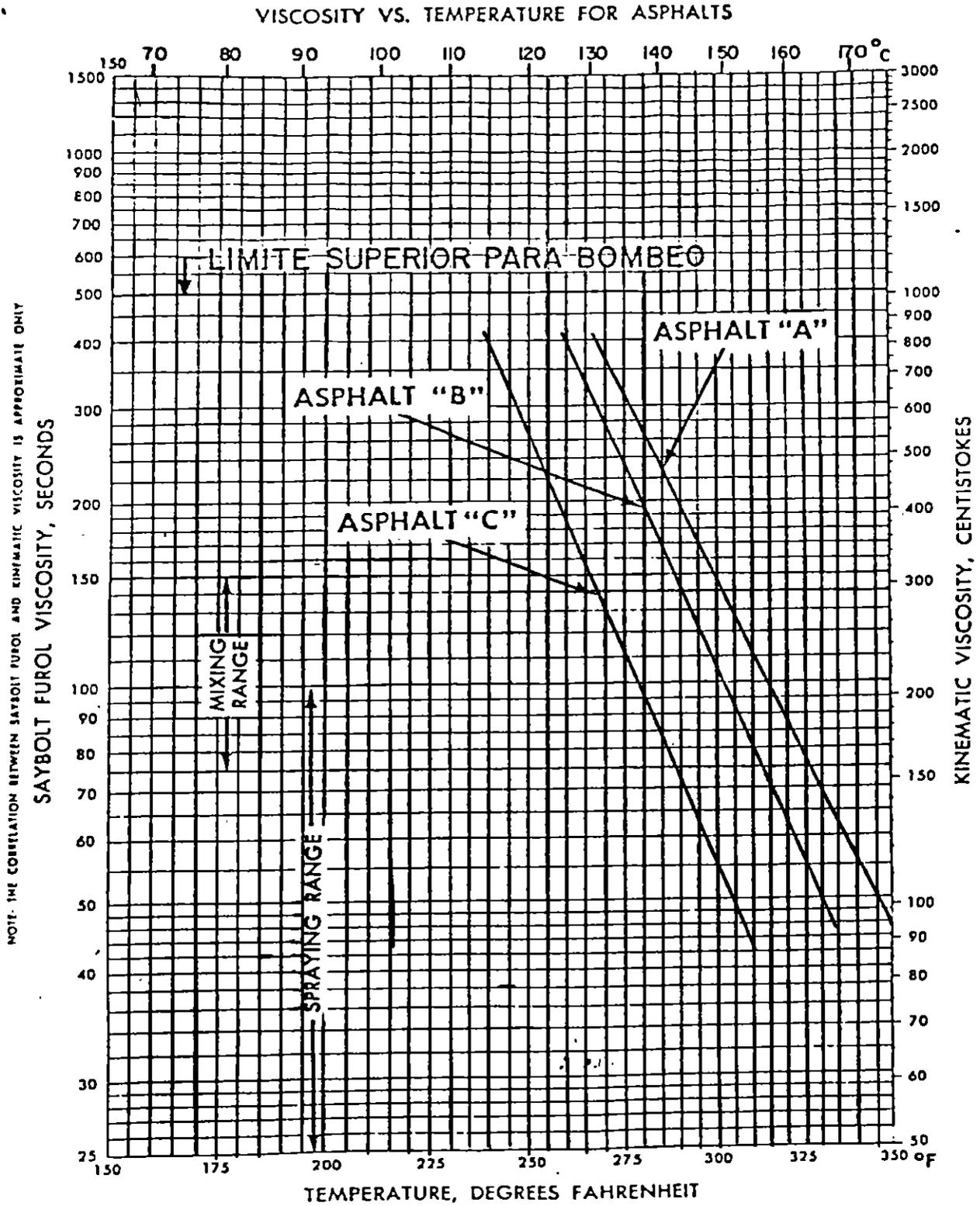


Figure 1. Viscosity vs. temperature for asphalts

TEMPERATURAS

CEMENTO ASFALTICO, LA QUE PROPORCIONE UNA VISCO-  
SIDAD ENTRE 75 Y 150 SEG. SAYBOLT-FUROL.

MATERIAL PETREO 120°C-160°C

MEZCLADO 105°C-175°C

AL SALIR DE LA PLANTA 120°C-150°C

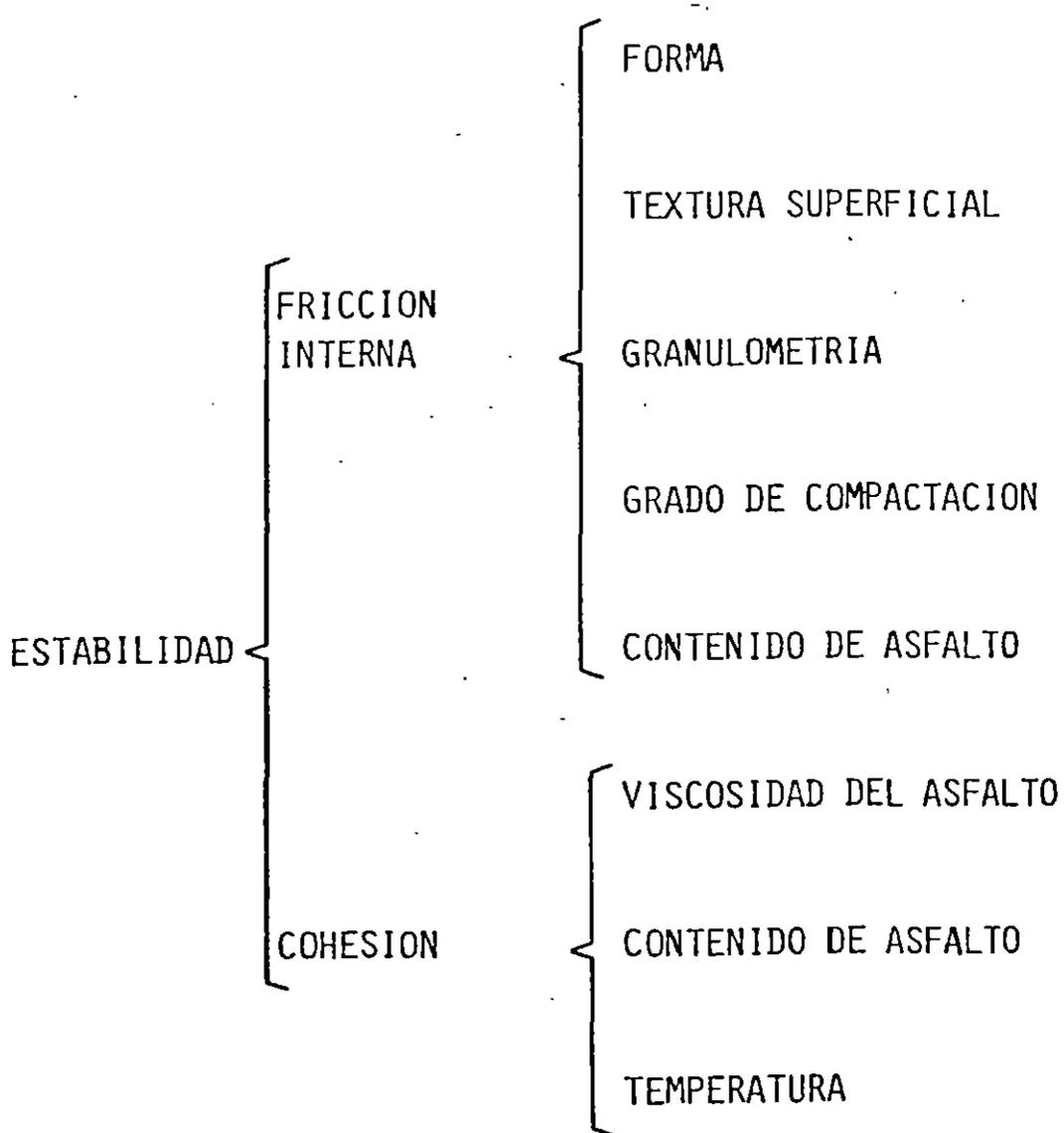
AL TENDERSE 110°C MINIMO

AL INICIAR EL ACOMODO 100°C-110°C

AL TERMINAR LA COMPACTACION 70°C

## PROPIEDADES DESEABLES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

- 1.- ESTABILIDAD
- 2.- DURABILIDAD
- 3.- FLEXIBILIDAD
- 4.- RESISTENCIA A LA FATIGA
- 5.- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- 6.- IMPERMEABILIDAD
- 7.- TRABAJABILIDAD.



DURABILIDAD

CONTENIDO DE ASFALTO

GRANULOMETRIA (MEZCLAS DENSAS)

PESO VOLUMETRICO COMPACTO

IMPERMEABILIDAD

AFINIDAD CON ASFALTO

FATIGA

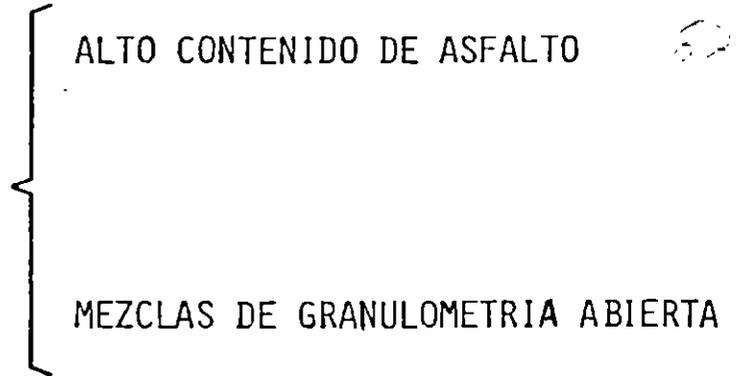
CONTENIDO DE ASFALTO

35

MEZCLAS DENSAS

GRANULOMETRIA BIEN GRADUADA

FLEXIBILIDAD



RIGIDEZ

TEMPERATURA

NIVEL DE ESFUERZOS

FACTORES AMBIENTALES

GRANULOMETRIA

TIPO Y CONTENIDO DE ASFALTO

GRADO DE COMPACTACION

RESISTENCIA  
AL DERRAPAMIENTO

89  
TEXTURA SUPERFICIAL

RESISTENCIA AL PULIMENTO

BAJA ESTABILIDAD

70

C A U S A S

E F E C T O S

EXCESO DE ASFALTO

CORRUGACIONES, RODERAS Y LLORADO DE ASFALTO

EXCESO DE ARENA

POCA RESISTENCIA DURANTE LA COMPACTACION Y DESPUES DE LA CONSTRUCCION, DIFICULTAD PARA COMPACTARSE

AGREGADOS REDONDEADOS Y LISOS, POCO O NINGUN EFECTO DE TRITURACION

RODERAS Y CANALIZACIONES

POCA DURABILIDAD

21

C A U S A S

E F E C T O S

BAJO CONTENIDO DE ASFALTO

RESEQUEDAD Y DESGRANAMIENTO

ALTO CONTENIDO DE VACIOS POR  
DISEÑO O DEFICIENTE COMPACTA  
CION

ENDURECIMIENTO PREMATURO DEL AS  
FALTO SEGUIDO DE AGRIETAMIENTOS  
Y DESGRANAMIENTO

AGREGADOS HIDROFILICOS EN LA  
MEZCLA

DESPRENDIMIENTO DEL ASFALTO EN  
LOS AGREGADOS, DESGRANAMIENTO O  
INESTABILIDAD

BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO 97

C A U S A S

E F E C T O S

EXCESO DE ASFALTO

BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO,  
LORADO DE ASFALTO

DEFICIENCIAS EN LA TEXTURA  
O GRANULOMETRIA DE LOS ---  
ÁGREGADOS

SUPERFICIE DE RODAMIENTO LISA, TEN  
DENCIA AL ACUAPLANEO

AGREGADOS POCO RESISTENTES  
A LA ABRASION

BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

ALTA PERMEABILIDAD

93

C A U S A S

E F E C T O S

BAJO CONTENIDO DE ASFALTO

PELICULA DELGADA DE ASFALTO PUEDE  
PROVOCAR ENVEJECIMIENTO PREMATURO  
Y DESPRENDIMIENTO

ALTO CONTENIDO DE VACIOS

OXIDACION Y DESINTEGRACION

COMPACTACION DEFICIENTE

INFILTRACION DE AGUA Y BAJA RESIS  
TENCIA

BAJA RESISTENCIA A LA FATIGA

74

C A U S A S

E F E C T O S

BAJO CONTENIDO DE ASFALTO

AGRIETAMIENTO POR FATIGA

ALTO CONTENIDO DE VACIOS

ENVEJECIMIENTO PREMATURO SEGUIDO  
DE AGRIETAMIENTO POR FATIGA

COMPACTACION DEFICIENTE

ENVEJECIMIENTO PREMATURO SEGUIDO  
DE AGRIETAMIENTO POR FATIGA.

ESPESOR INSUFICIENTE DEL  
PAVIMENTO

FLEXION EXCESIVA SEGUIDA DEL AGRIE  
TAMIENTO POR FATIGA

# TRABAJABILIDAD DEFICIENTE

95

## C A U S A S

## E F E C T O S

PARTICULAS MUY GRANDES

DIFICULTAD PARA TENDER,  
SUPERFICIE ASPERA

EXCESIVO CONTENIDO DE AGREGADOS  
GRUESOS

DIFICULTAD PARA COMPACTAR

BAJA TEMPERATURA DE LA MEZCLA

DEFICIENTE CUBRIMIENTO DE AGREGADO  
SUPERFICIE ASPERA, DIFICULTAD PARA  
COMPACTAR, VIDA CORTA

EXCESO DE ARENA

LA MEZCLA SE DESPLAZA BAJO EL RODI  
LLO Y NO ADQUIERE RESISTENCIA

CARENCIA DE FINOS (FILLER)

ALTA PERMEABILIDAD, MEZCLA POCO RE  
SISTENTE

EXCESO DE FINOS (FILLER)

MEZCLA RESECA O PEGAJOSA, DIFICIL  
MANEJAR, POCO DURABLE

96

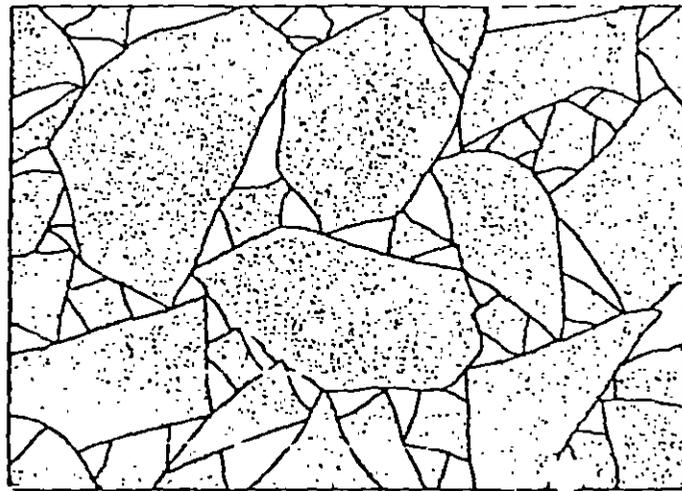


FIG 4-1 —Esquema de la estructura formada por los áridos.

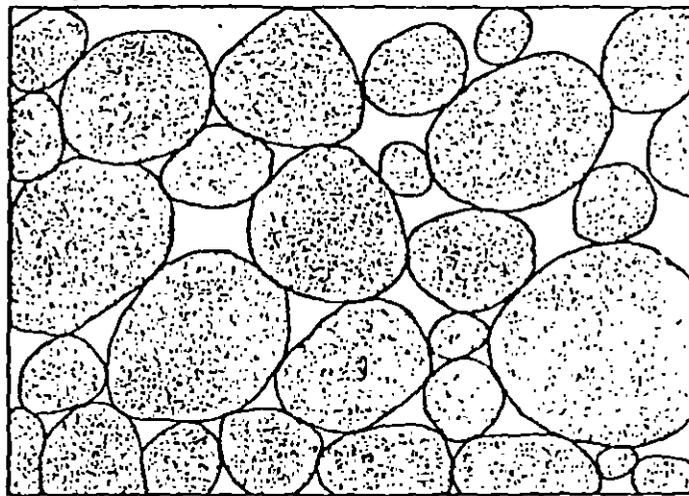


FIG 4-2.—Esquema de la estructura formada por los áridos cuando estos son redondeados.

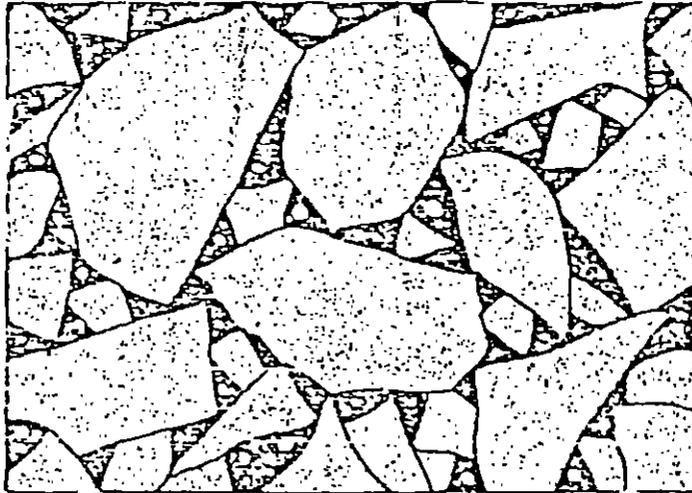


FIG. 4-3 — Esquema de la estructura formada por los áridos y el ligante asfáltico

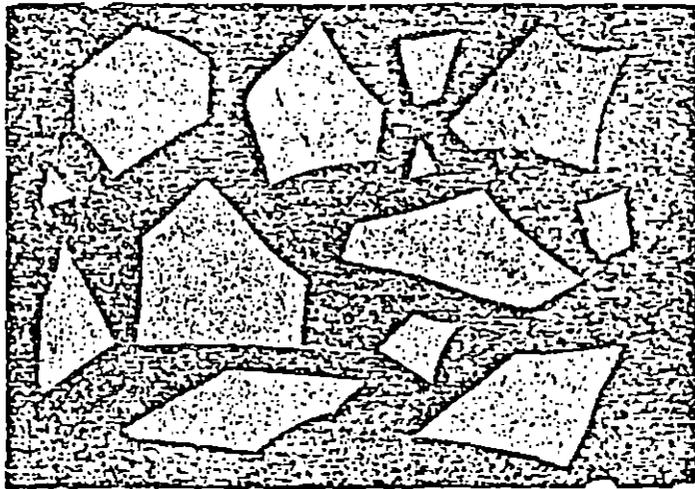
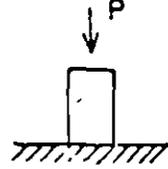
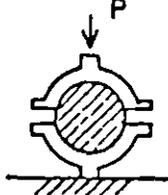
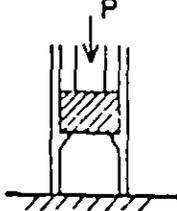
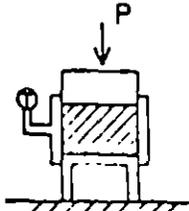
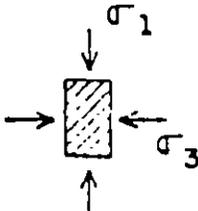


FIG. 4-4.— Esquema de una mezcla con exceso de ligante asfáltico.

# METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

METODO	CAMPO APLICACION ORIGINAL	TIPO DE COMPACTACION	DIMENSION ESPECIMEN		VELOCIDAD APLICACION ESFUERZOS	TEMPERATURA DE PRUEBA	FORMA EN QUE SE APLICAN LOS ESFUERZOS	FACTORES QUE INTERVIENEN PARA LA DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO
			d	h				
COMPRESION SIMPLE	MEZCLAS ASFALTICAS	ESTATICA Y/O DINAMICA	4" 5"	1.25d	LENTA	AMBIENTE		$q_u$ vs cont. asf.
MARSHALL	CONCRETOS ASFALTICOS EN AEROPISTAS	DINAMICA	4"	2.5"	2"/min	60°C		Estabilidad. Fluencia. Vol. vacios mezcla Vol. vacios rellenos con asfalto.
86 HUBBARD FIELD	SHEET ASPHALT CONCRETO ASFALTICO	ESTATICA	2" 6"	1" 3"	2.4"/min	60°C		Estabilidad Volumen de vacios en la mezcla.
HVEEM	MEZCLAS Y CONCRETOS ASFALTICOS	AMASADO	4"	2.5"	0.05"/min	60°C		Estabilidad Cohesión Expansión
SMITH	CONCRETO ASFALTICO INVESTIGACION	ESTATICA	4"	8"	INCREMENTOS <0.001"/min	AMBIENTE		Cohesión ángulo fricción

FORMULAS PARA VALUAR EL CONTENIDO PROBABLE  
DE CEMENTO ASFALTICO, EN FUNCION DE LA SU-  
PERFICIE ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS.

SOP.

$$A = 0.020 a + 0.045 b + cd$$

A = CONTENIDO DE ASFALTO

a = PORCENTAJE DE MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA 10

b = PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA 10 Y SE  
RETIENE EN LA 200

c = PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA 200

d = FACTOR QUE DEPENDE DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS  
AGREGADOS ( 0.15 A 0.35)

DURIEZ

$$100S = 0.17a + 0.33b + 2.30c + 12d + 135 f$$

a = PORCENTAJE DE MATERIAL MAYOR DE 10 MM

b = PORCENTAJE DE MATERIAL ENTRE 5 Y 10 MM

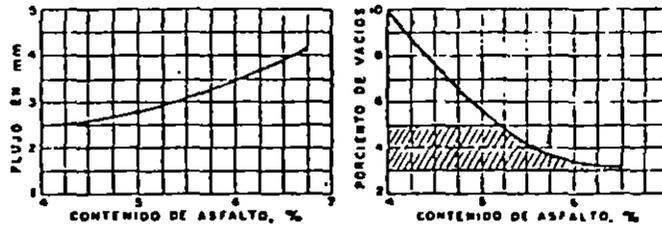
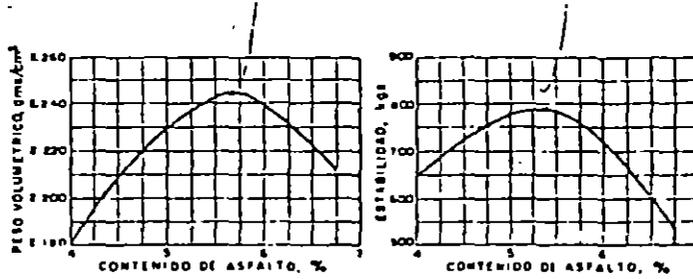
c = PORCENTAJE DE MATERIAL ENTRE 0.3 Y 5 MM

d = PORCENTAJE DE MATERIAL ENTRE 0.08 Y 0.3 MM

f = PORCENTAJE DE FILLER

$$P = 3.75 \sqrt[5]{S}$$

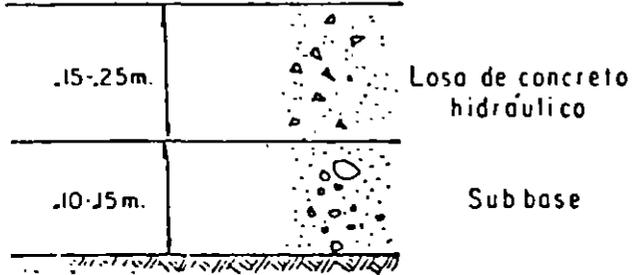
# GRAFICAS OBTENIDAS PRUEBA MARSHALL



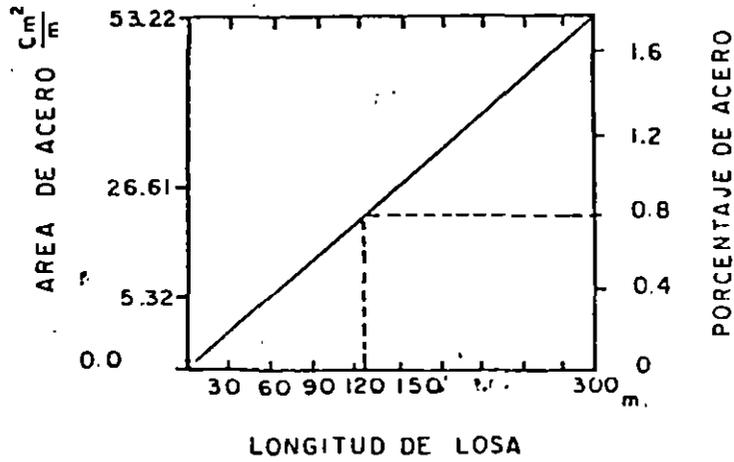
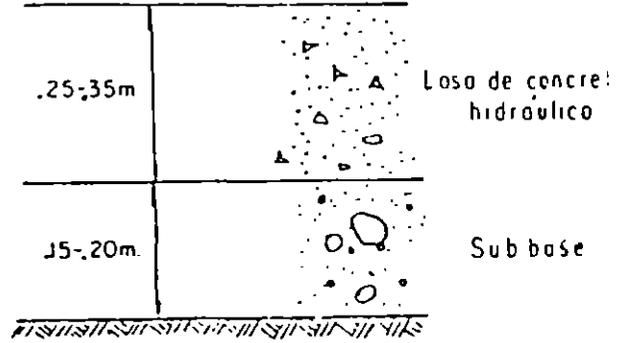
APLICACIONES DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN  
MEXICO

# ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

## CARRETERAS Y CALLES



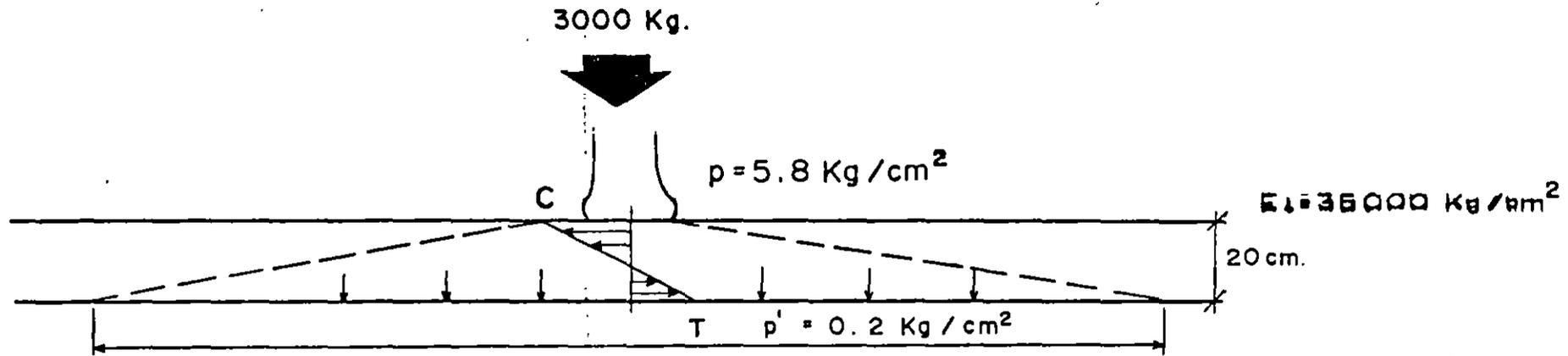
## AEROPUERTOS



## TIPO DE CONCRETO EMPLEADO EN LA CONSTRUCCION DE LOSAS

- 1 - CONCRETO SIMPLE ( CON O SIN PASAJUNTAS )
- 2 - CONCRETO CON REFUERZO LIGERO ( MALLAS DE CALIBRE DELGADO )
- 3 - CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO
- 4 - CONCRETO PRESFORZADO
- 5 - CONCRETO FIBROSO
- 6 - CONCRETO RODILLADO

# DISTRIBUCION DE ESFUERZOS PAVIMENTO RIGIDO



$$E_2 = 500 \text{ Kg/cm}^2$$

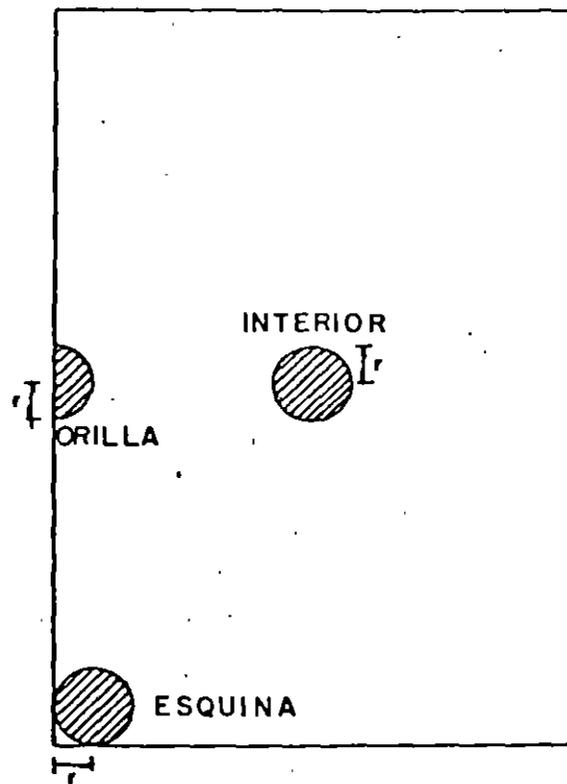
$$300 < \frac{E_1}{E_2} < 1000$$

PRINCIPALES ACCIONES QUE AFECTAN LAS  
LOSAS DE PAVIMENTO

- TRANSITO
- VARIACIONES DE TEMPERATURA
- OTRAS ( VARIACIONES EN EL CONTENIDO DEL AGUA DEL SUELO, CONTRAC  
CION DEL CONCRETO DURANTE EL FRAGUADO, FENOMENO DE ---  
"BOMBEO", HELADAS, ETC.).

## HIPOTESIS DE LA TEORIA DE WESTERGAARD

- 1.- LOSA HOMOGENEA, ELASTICA E ISOTROPA
- 2.- REACCION DEL APOYO VERTICAL Y PROPORCIONAL A LAS DEFLEXIONES,  
(LIQUIDO DENSO).



LAS TRES POSICIONES DE LAS CARGAS  
EN UNA LOSA DE CONCRETO

ECUACIONES DE WESTERGAARD

$$\sigma_i = 0.275(1+\mu) \frac{P}{h^2} \left[ \log \left( \frac{Eh^3}{Kb^4} \right) - 54.54 \left( \frac{L}{c_1} \right)^2 c_2 \right]$$

$$\sigma_i = 0.31625 \frac{P}{h^2} \left[ 4 \log \left( \frac{L}{b} \right) + 1.0693 \right]$$

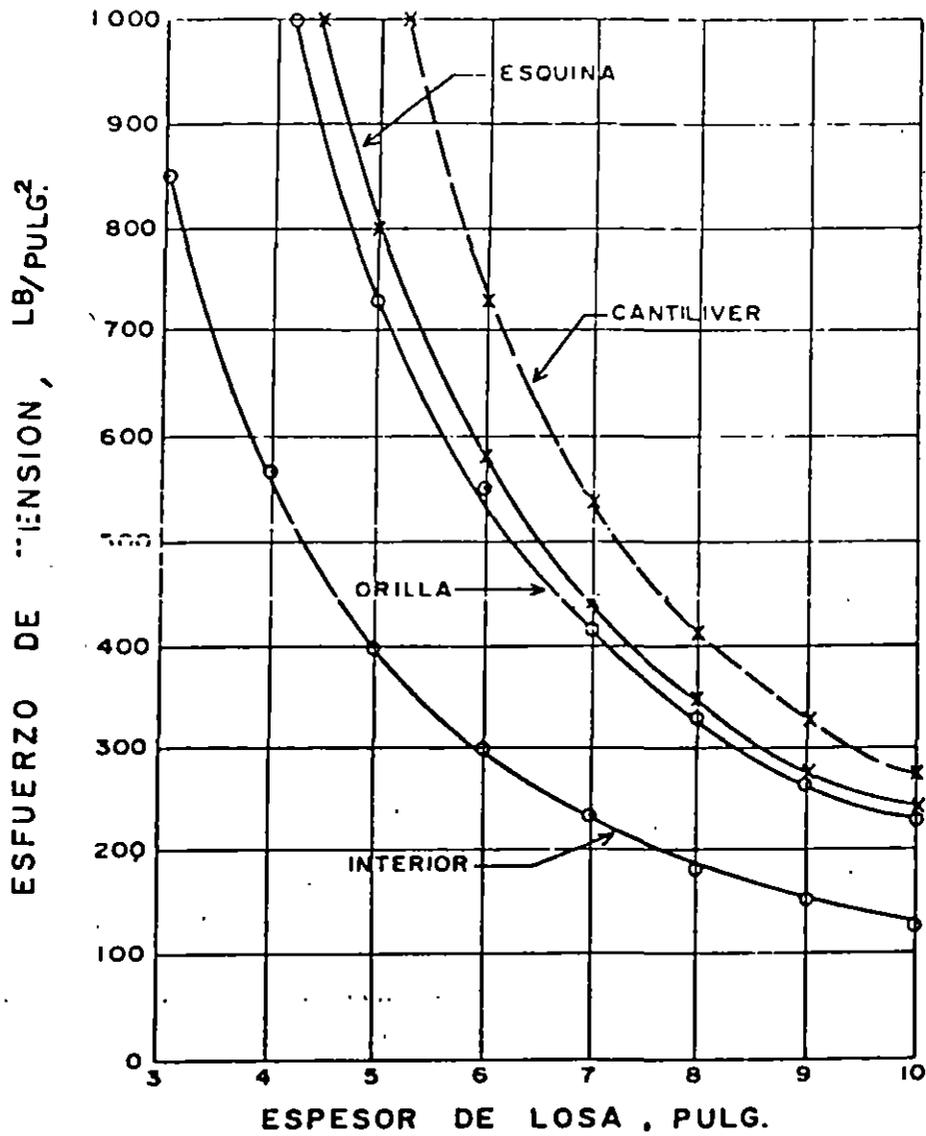
$$\sigma_e = 0.57185 \frac{P}{h^2} \left[ 4 \log \left( \frac{L}{b} \right) + 0.3593 \right]$$

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{L} \right)^{0.6} \right]$$

$$b = \sqrt{1.2 a^2 + h^2} - 0.675 h$$

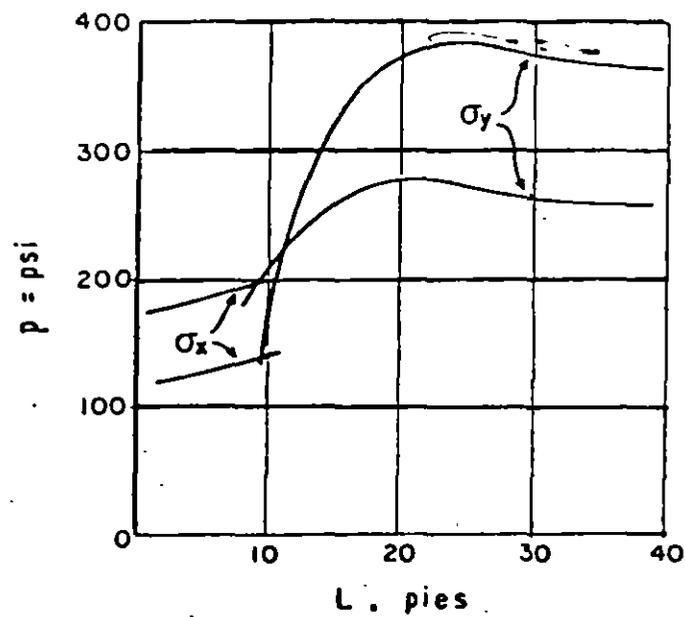
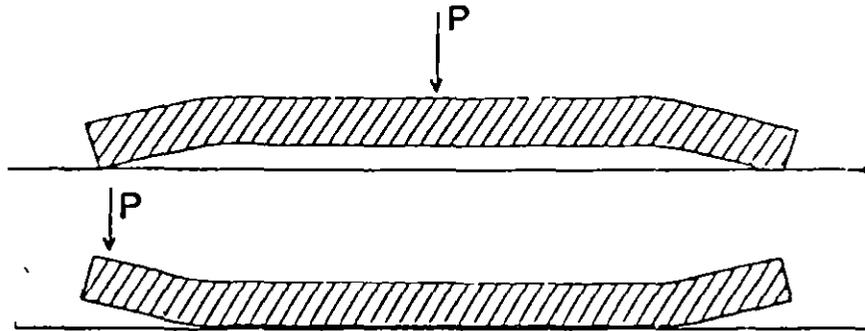
$$L = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1+\mu^2)K}}$$

8  
ESFUERZOS DE TENSION PRODUCIDOS  
POR CARGAS



$P = 8960 \text{ lb.}$   
 $K = 200. \text{ lb/pulg}^3.$   
 $E = 5 \times 10^6 \text{ lb/pulg}^2.$   
 $\mu = 0.24$   
 presión Inflado = 105 lb/pulg<sup>2</sup>.

## ESFUERZOS POR ALABEO



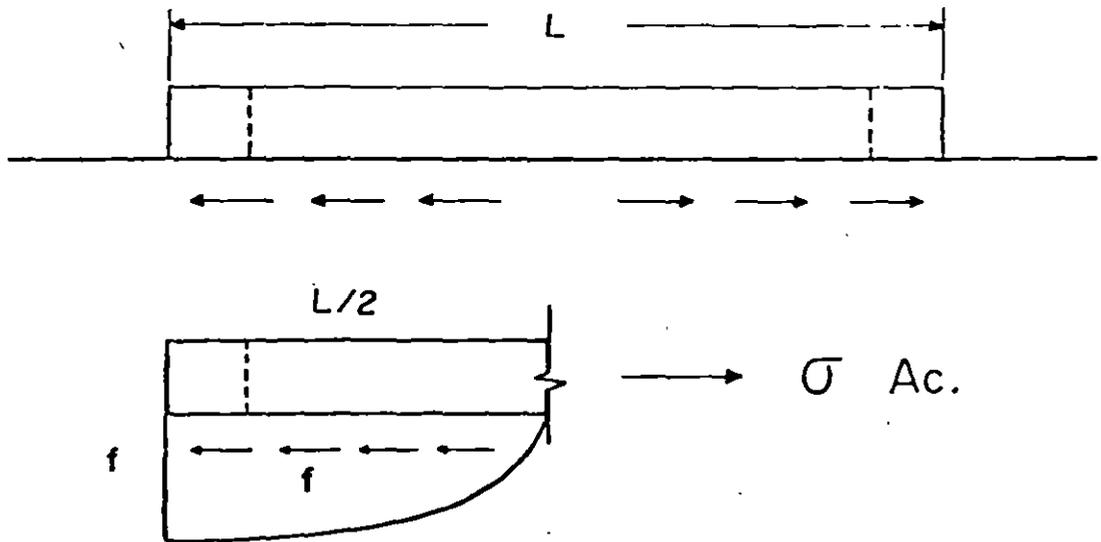
$$\sigma = \frac{E \epsilon_t \Delta t}{2} \left( \frac{C_1 + \mu C_2}{1 - \mu^2} \right)$$

$\epsilon_t$  = Coef. de dilatación.

$\Delta t$  = Diferencia de temperatura

$C_1, C_2 = f(L/2)$

## ESFUERZOS POR RESTRICCIÓN.



$$\sigma_{Ac} = \frac{WLf}{2 \times 12}$$

$$\therefore \sigma = \frac{WLf}{24h}$$

$W$  = Peso de la losa

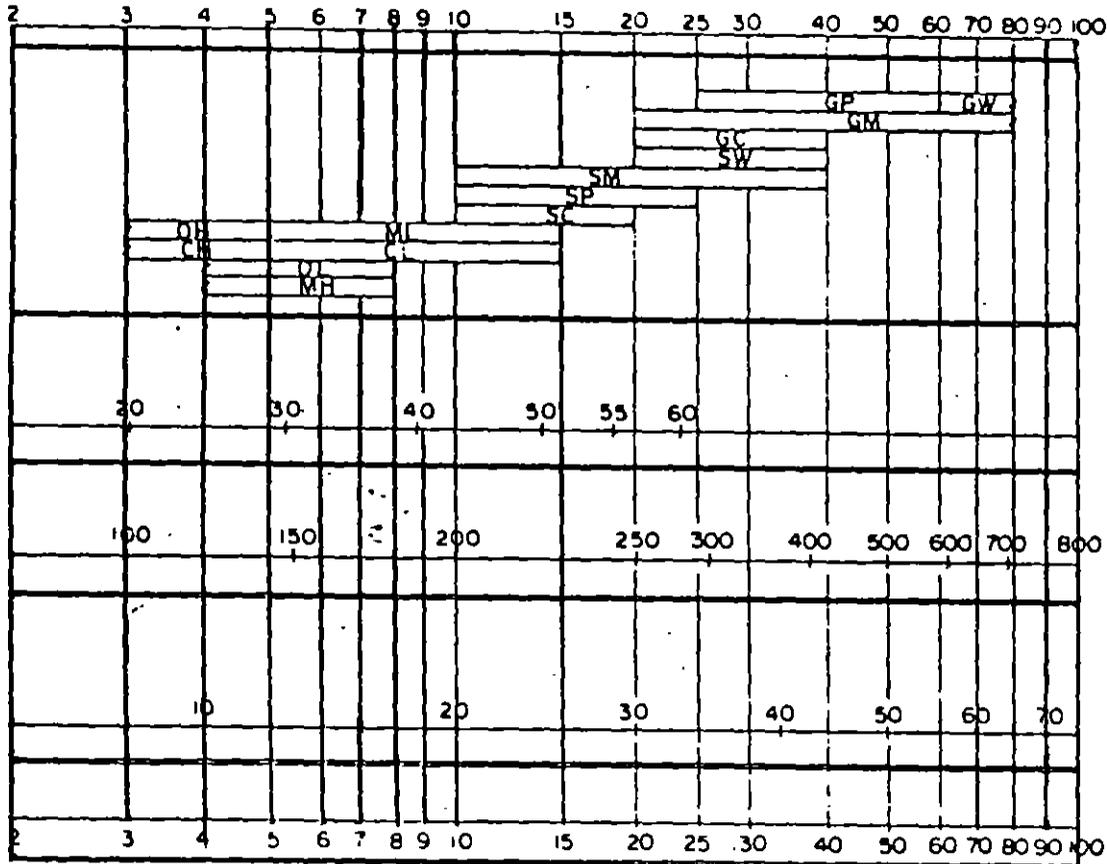
$L$  = Longitud de la losa

$f$  = Coeficiente de fricción

$h$  = Espesor de la losa.

## CATEGORIA DE SUBRASANTE

CATEGORIA	MATERIAL	CBR %	K lb/pulg <sup>3</sup>
MUY BUENA	GW, GP, GM, GC SW, SP, SM, SC.	>10	>200
BUENA	ML, CL, OL	6 A 10	150 A 200
MALA	MH, CH, OH	3 A 6	100 A 150



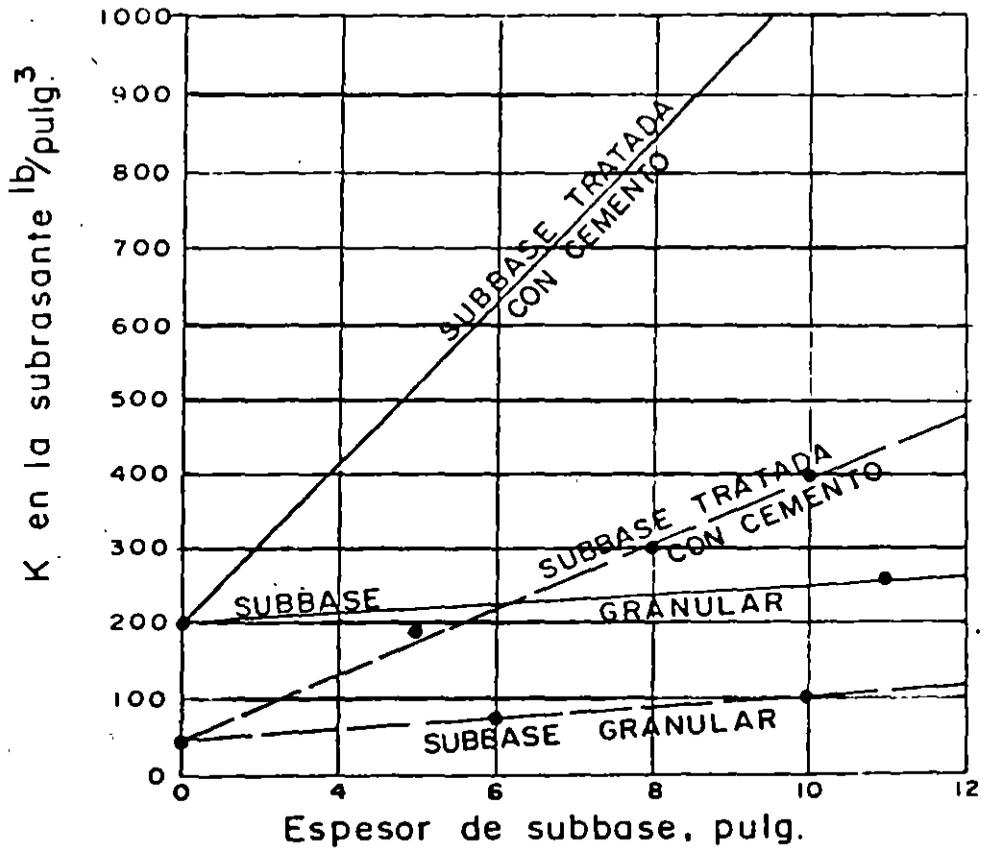
SISTEMA UNIFICADO  
(SUCS)

VALOR DE RESISTENCIA 12  
R

MODULO DE REACCION DE  
LA SUBRASANTE, K, LB/PULG.<sup>3</sup>

VALOR SOPORTE, EN LB/PULG.<sup>2</sup>.  
PLACA DE 30 PULG, DEFLEXION  
0./PULG.

VALOR RELATIVO SOPORTE



INFLUENCIA DEL ESPESOR Y TIPO DE SUBBASE EN EL VALOR DE K.

## ASPECTOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

- 1.- CALIDAD DEL CONCRETO.- SELECCION DE MATERIALES Y SU PROPORCIONAMIENTO, PARA OBTENER RESISTENCIA Y DURABILIDAD ADECUADAS.
- 2.- DISEÑO DE SUBRASANTE Y SUBBASE.- TECNICAS DE PREPARACION Y CONSTRUCCION QUE ASEGUREN UN APOYO UNIFORME Y PERMANENTE -- PARA LAS LOSAS
- 3.- DISEÑO DE ESPESORES.- SE REQUIERE QUE LOS ESFUERZOS FLEXIONANTES PRODUCIDOS POR EL TRANSITO, NO SUPEREN EL LIMITE DE SEGURIDAD.
- 4.- DISEÑO DE JUNTAS.- DEFINICION DE LOS ESPACIAMIENTOS ENTRE - JUNTAS, PARA REDUCIR LA FORMACION DE GRIETAS POR TEMPERATURA Y CONTRACCION

## PREMISAS DE DISEÑO

### 1.- CARACTERIZACION DEL CONCRETO

$$MR_D = MR_{28} \left( 1 - \frac{C \cdot V}{100} \right) M$$

### 2.- CARACTERIZACION DEL APOYO DE LA LOSA

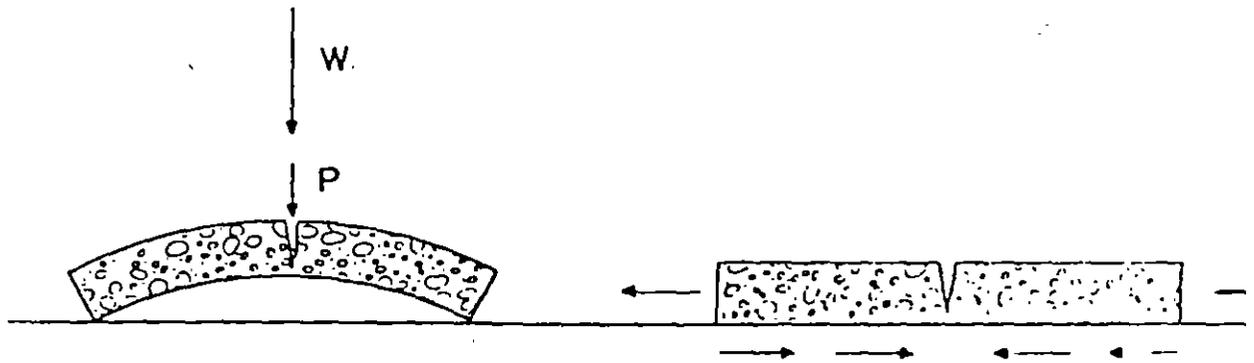
$$K_D$$

### 3.- CARACTERIZACION DEL TRANSITO

- ATENDIENDO A LA CLASIFICACION DE CARGAS
- ATENDIENDO A UNA CARGA DE REFERENCIA (EQUIVALENTE)

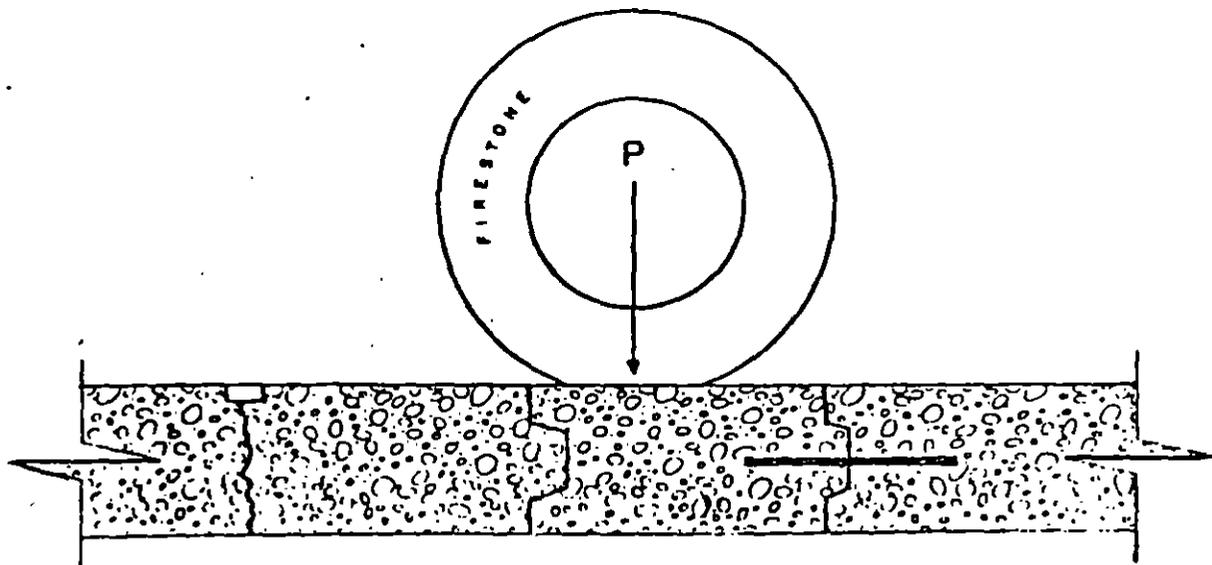
### 4.- CARACTERIZACION DE ASPECTOS AMBIENTALES

## FRACTURAS



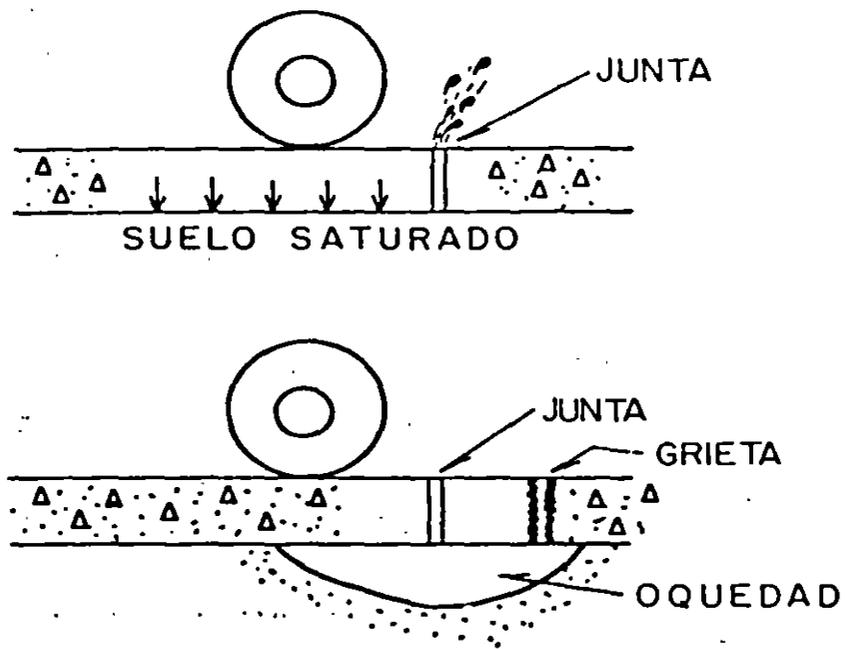
OBJETO DE LAS JUNTAS:

- A) PARA CONTROLAR GRIETAS
- B) POR RAZONES CONSTRUCTIVAS



DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA DE CARGA

# FENOMENO DE BOMBEO



LAS SUBRASANTES SE USAN PARA EVITAR O LIMITAR

EXPANSION O CONTRACCION DEL SUELO

ACCION DE HELADAS

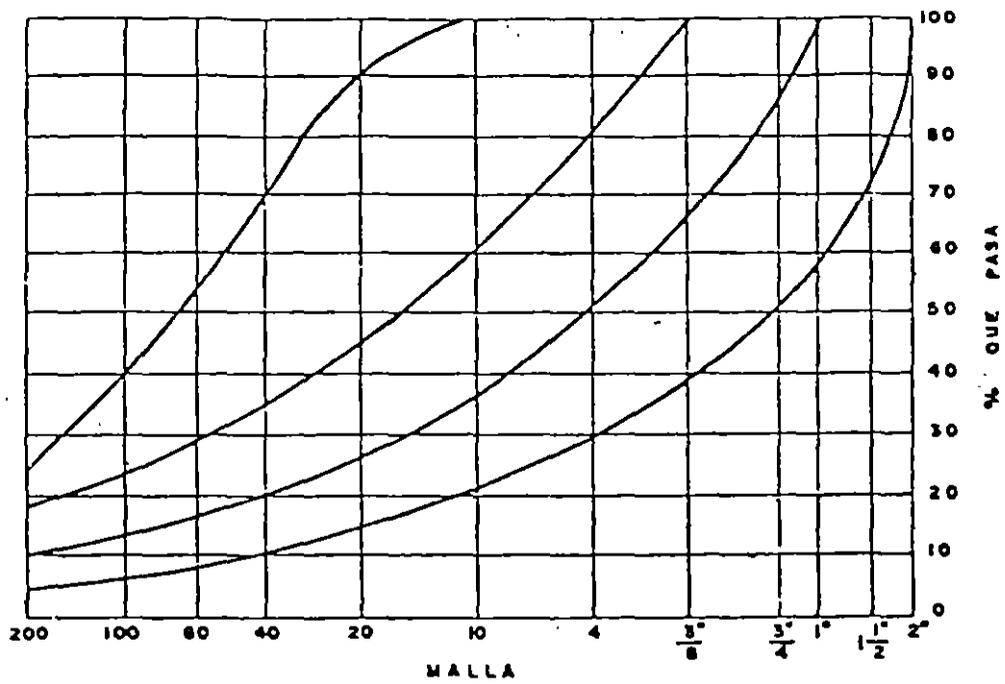
BOMBEO

ASENTAMIENTOS

APOYO NO UNIFORME

LAS SUBBASES SE USAN PARA EVITAR EL  
BOMBEO, PROPORCIONAR APOYO UNIFORME  
Y PERMANENTE.

120



### ESPECIFICACIONES DE SUBBASE

$$TM \leq 1/3 T$$

$$< \text{No. 200} \quad 15\%$$

$$IP \leq 6\%$$

$$LL \leq 25\%$$

ESPESOR NORMAL : 10 A 15 CM

## P R O Y E C T O

- 1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA. TIPO Y UBICACION DE LAS JUNTAS.
- 2.- NORMAS PARA LA CONSTRUCCION PREVIA DEL APOYO AL PAVIMENTO. (Terracerías, capa subrasante, sub-base)
- 3.- ESPECIFICACIONES GENERALES Y NORMAS DE CONSTRUCCION
- 4.- TOLERANCIAS DE CONSTRUCCION Y ACABADO

## CONDICIONES DE DISEÑO

1. MODO DE TRANSFERENCIA DE CARGA
2. USO DE ACOTAMIENTOS DE CONCRETO
3. USO DE SUBBASES RIGIDAS
4. DISEÑO POR FATIGA Y POR EROSION
5. VEHICULOS DE EJES TRIPLES (TRIDEMS)

LOSAS DE CONCRETO	MEDIO DE TRANSFERENCIA DE CARGAS.	ESPACIAMIENTO DE JUNTAS. (M)
SIMPLE	JUNTAS ASERRADAS	4.60
SIMPLE CON PASAJUNTAS	BARRAS LISAS	6.10
REFORZADO	BARRAS LISAS	12.2
REFUERZO CONTINUO	SUPERFICIES DE - GRIETAS FUERTE - MENTE UNIDAS POR EL REFUERZO.	150. O MAYOR (CONSTRUCCIÓN

## Calculation of Pavement Thickness

Project Design 1A, four-lane Interstate, rural

Trial thickness 9.5 in      Doweled joints:    yes  no   
 Subbase-subgrade k 130 pci      Concrete shoulder:    yes  no   
 Modulus of rupture, MR 650 psi      Design period 20 years  
 Load safety factor, LSF 1.2

*4-in. untreated subbase*

Axle load, kips	Multiplied by LSF <u>1.2</u>	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue, percent	Allowable repetitions	Damage percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress 206      10. Erosion factor 2.59  
 9. Stress ratio factor 0.317

### Single Axles

30	36.0	6,310	27,000	23.3	1,500,000	0.4
28	33.6	14,690	77,000	19.1	2,200,000	0.7
26	31.2	30,140	230,000	13.1	3,500,000	0.9
24	28.8	64,410	1,200,000	5.4	5,900,000	1.1
22	26.4	106,900	Unlimited	0	11,000,000	1.0
20	24.0	235,800	"	0	23,000,000	1.0
18	21.6	507,200	"	0	64,000,000	0.5
16	19.2	427,500			Unlimited	0
14	16.8	586,900			"	0
12	14.4	1,837,000			"	0

11. Equivalent stress 192      13. Erosion factor 2.79  
 12. Stress ratio factor 0.295

### Tandem Axles

52	62.4	21,320	1,100,000	1.9	920,000	2.3	
48	57.6	42,870	Unlimited	0	1,500,000	2.9	
44	52.8	124,900	"	0	2,500,000	5.0	
40	48.0	372,900	"	0	4,600,000	8.1	
36	43.2	885,800			9,500,000	9.3	
32	38.4	970,700			24,000,000	3.9	
28	33.6	1,654,000			92,000,000	1.8	
24	28.8	984,900			Unlimited	0	
20	24.0	1,227,000			"	0	
16	19.2	1,356,000					
				Total	<u>62.8</u>	Total	<u>38.9</u>

Fig. 4. Design 1A.

**Table 6a. Equivalent Stress — No Concrete Shoulder  
(Single Axle/Tandem Axle)**

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4.5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5.5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6.5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7.5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8.5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9.5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10.5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11.5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12.5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13.5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

**Table 6b. Equivalent Stress — Concrete Shoulder  
(Single Axle/Tandem Axle)**

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	640/534	559/468	517/439	489/422	452/403	409/388	383/384
4.5	547/461	479/400	444/372	421/356	390/338	355/322	333/316
5	475/404	417/349	387/323	367/308	341/290	311/274	294/267
5.5	418/360	368/309	342/285	324/271	302/254	276/238	261/231
6	372/325	327/277	304/255	289/241	270/225	247/210	234/203
6.5	334/295	294/251	274/230	260/218	243/203	223/188	212/180
7	302/270	266/230	248/210	236/198	220/184	203/170	192/162
7.5	275/250	243/211	226/193	215/182	201/168	185/155	176/148
8	252/232	222/196	207/179	197/168	185/155	170/142	162/135
8.5	232/216	205/182	191/166	182/156	170/144	157/131	150/125
9	215/202	190/171	177/155	169/146	158/134	146/122	139/116
9.5	200/190	176/160	164/146	157/137	147/126	136/114	129/108
10	186/179	164/151	153/137	146/129	137/118	127/107	121/101
10.5	174/170	154/143	144/130	137/121	128/111	119/101	113/95
11	164/161	144/135	135/123	129/115	120/105	112/95	106/90
11.5	154/153	136/128	127/117	121/109	113/100	105/90	100/85
12	145/146	128/122	120/111	114/104	107/95	99/86	95/81
12.5	137/139	121/117	113/106	108/99	101/91	94/82	90/77
13	130/133	115/112	107/101	102/95	96/86	89/78	85/73
13.5	124/127	109/107	102/97	97/91	91/83	85/74	81/70
14	118/122	104/103	97/93	93/87	87/79	81/71	77/67

13.6

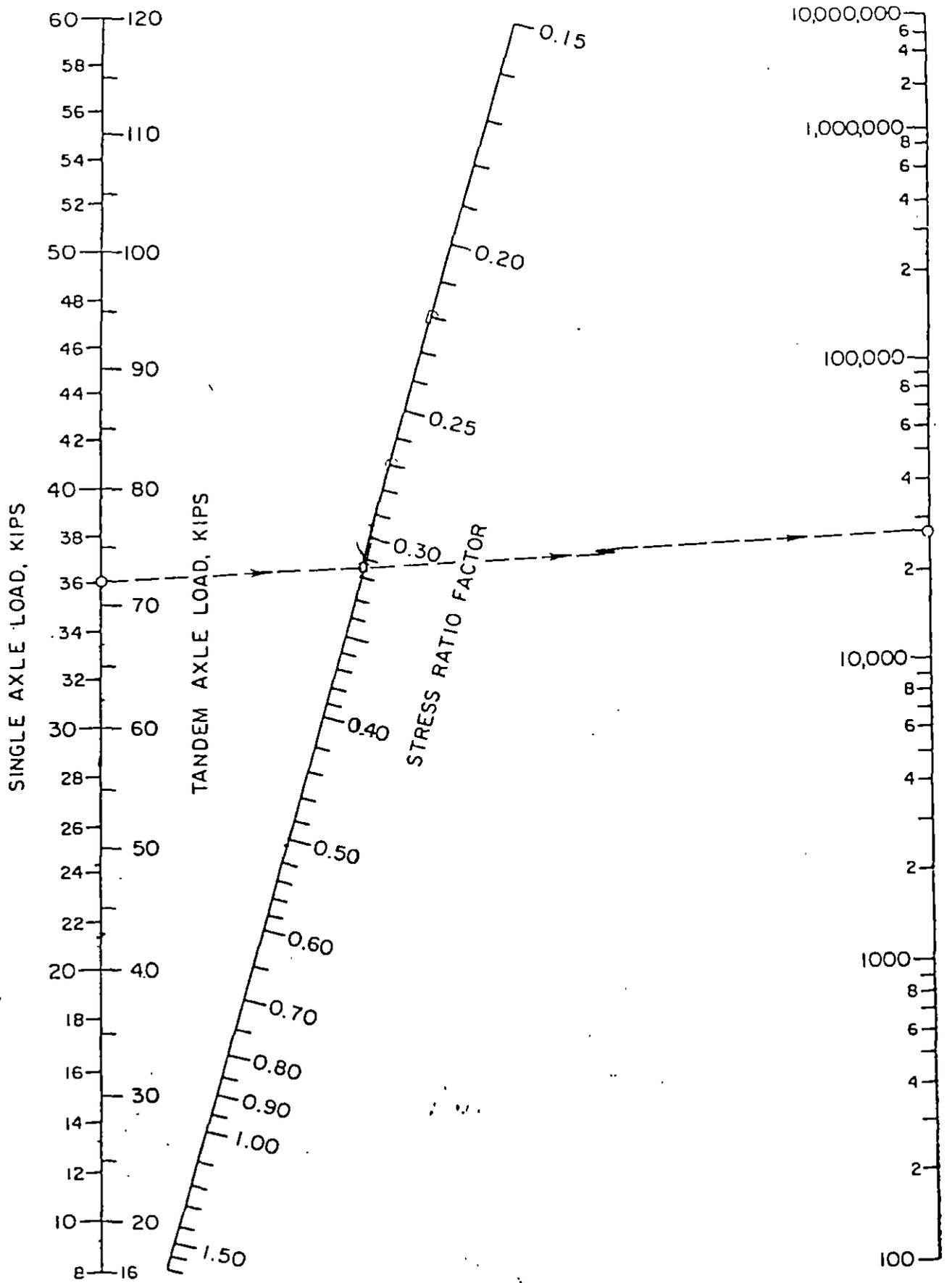


Fig. 5. Fatigue analysis—allowable load repetitions based on stress ratio factor (with and without concrete shoulder).

**Table 7a. Erosion Factors — Doweled Joints, No Concrete Shoulder  
(Single Axle/Tandem Axle)**

Slab thickness, in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74/3.83	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
4.5	3.59/3.70	3.57/3.65	3.56/3.61	3.55/3.58	3.54/3.55	3.52/3.53
5	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
5.5	3.33/3.47	3.31/3.41	3.29/3.36	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
6	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.15/3.20	3.14/3.17
6.5	3.11/3.29	3.09/3.22	3.07/3.16	3.06/3.13	3.05/3.10	3.03/3.07
7	3.02/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
7.5	2.93/3.14	2.91/3.06	2.86/3.00	2.87/2.97	2.86/2.93	2.84/2.90
8	2.85/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
8.5	2.77/3.01	2.74/2.93	2.72/2.86	2.71/2.82	2.69/2.78	2.68/2.75
9	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
9.5	2.63/2.90	2.60/2.81	2.58/2.74	2.56/2.70	2.55/2.65	2.54/2.62
10	2.56/2.85	2.54/2.76	2.51/2.68	2.50/2.64	2.48/2.59	2.47/2.56
10.5	2.50/2.81	2.47/2.71	2.45/2.63	2.44/2.59	2.42/2.54	2.41/2.51
11	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
11.5	2.38/2.72	2.36/2.62	2.33/2.54	2.32/2.49	2.30/2.44	2.29/2.40
12	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.36
12.5	2.28/2.64	2.25/2.54	2.23/2.45	2.21/2.40	2.19/2.35	2.18/2.31
13	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
13.5	2.18/2.57	2.15/2.47	2.13/2.37	2.11/2.32	2.09/2.26	2.08/2.23
14	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.23	2.03/2.19

**Table 7b. Erosion Factors — Aggregate-Interlock Joints,  
No Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle)**

Slab thickness, in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.94/4.03	3.91/3.95	3.88/3.89	3.86/3.86	3.82/3.83	3.77/3.80
4.5	3.79/3.91	3.76/3.82	3.73/3.75	3.71/3.72	3.68/3.68	3.64/3.65
5	3.66/3.81	3.63/3.72	3.60/3.64	3.58/3.60	3.55/3.55	3.52/3.52
5.5	3.54/3.72	3.51/3.62	3.48/3.53	3.46/3.49	3.43/3.44	3.41/3.40
6	3.44/3.64	3.40/3.53	3.37/3.44	3.35/3.40	3.32/3.34	3.30/3.30
6.5	3.34/3.56	3.30/3.46	3.26/3.36	3.25/3.31	3.22/3.25	3.20/3.21
7	3.26/3.49	3.21/3.39	3.17/3.29	3.15/3.24	3.13/3.17	3.11/3.13
7.5	3.18/3.43	3.13/3.32	3.09/3.22	3.07/3.17	3.04/3.10	3.02/3.06
8	3.11/3.37	3.05/3.26	3.01/3.16	2.99/3.10	2.96/3.03	2.94/2.99
8.5	3.04/3.32	2.98/3.21	2.93/3.10	2.91/3.04	2.88/2.97	2.87/2.93
9	2.98/3.27	2.91/3.16	2.86/3.05	2.84/2.99	2.81/2.92	2.79/2.87
9.5	2.92/3.22	2.85/3.11	2.80/3.00	2.77/2.94	2.75/2.85	2.73/2.81
10	2.86/3.18	2.79/3.06	2.74/2.95	2.71/2.89	2.68/2.81	2.66/2.76
10.5	2.81/3.14	2.74/3.02	2.68/2.91	2.65/2.84	2.62/2.76	2.60/2.72
11	2.77/3.10	2.69/2.98	2.63/2.86	2.60/2.80	2.57/2.72	2.54/2.67
11.5	2.72/3.06	2.64/2.94	2.58/2.82	2.55/2.76	2.51/2.68	2.49/2.63
12	2.68/3.03	2.60/2.90	2.53/2.78	2.50/2.72	2.46/2.64	2.44/2.59
12.5	2.64/2.99	2.55/2.87	2.48/2.75	2.45/2.66	2.41/2.60	2.39/2.55
13	2.60/2.96	2.51/2.83	2.44/2.71	2.40/2.65	2.36/2.56	2.34/2.51
13.5	2.56/2.93	2.47/2.80	2.40/2.68	2.36/2.61	2.32/2.53	2.30/2.48
14	2.53/2.90	2.44/2.77	2.36/2.65	2.32/2.58	2.28/2.50	2.25/2.44

128

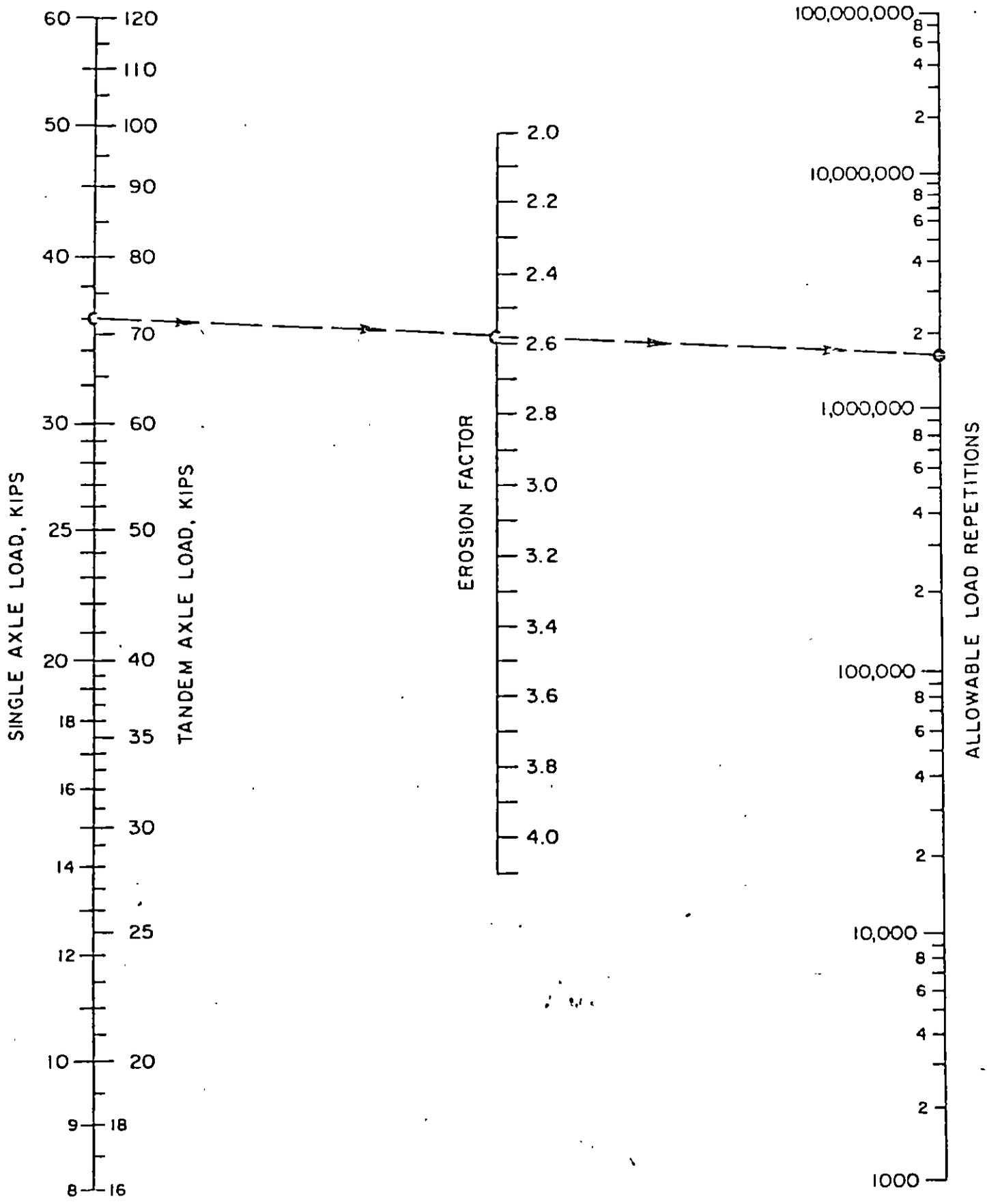


Fig. 6a. Erosion analysis—allowable load repetitions based on erosion factor (without concrete shoulder).

**Table 8a. Erosion Factors — Doweled Joints, Concrete Shoulder  
(Single Axle/Tandem Axle)**

Slab thickness, in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.28/3.30	3.24/3.20	3.21/3.13	3.19/3.10	3.15/3.09	3.12/3.08
4.5	3.13/3.19	3.09/3.08	3.06/3.00	3.04/2.96	3.01/2.93	2.98/2.91
5	3.01/3.09	2.97/2.98	2.93/2.89	2.90/2.84	2.87/2.79	2.85/2.77
5.5	2.90/3.01	2.85/2.89	2.81/2.79	2.79/2.74	2.76/2.68	2.73/2.65
6	2.79/2.93	2.75/2.82	2.70/2.71	2.68/2.65	2.65/2.58	2.62/2.54
6.5	2.70/2.86	2.65/2.75	2.61/2.63	2.58/2.57	2.55/2.50	2.52/2.45
7	2.61/2.79	2.56/2.68	2.52/2.56	2.49/2.50	2.46/2.42	2.43/2.38
7.5	2.53/2.73	2.48/2.62	2.44/2.50	2.41/2.44	2.38/2.36	2.35/2.31
8	2.46/2.68	2.41/2.56	2.36/2.44	2.33/2.38	2.30/2.30	2.27/2.24
8.5	2.39/2.62	2.34/2.51	2.29/2.39	2.26/2.32	2.22/2.24	2.20/2.18
9	2.32/2.57	2.27/2.46	2.22/2.34	2.19/2.27	2.16/2.19	2.13/2.13
9.5	2.26/2.52	2.21/2.41	2.16/2.29	2.13/2.22	2.09/2.14	2.07/2.08
10	2.20/2.47	2.15/2.36	2.10/2.25	2.07/2.18	2.03/2.09	2.01/2.03
10.5	2.15/2.43	2.09/2.32	2.04/2.20	2.01/2.14	1.97/2.05	1.95/1.99
11	2.10/2.39	2.04/2.28	1.99/2.16	1.95/2.09	1.92/2.01	1.89/1.95
11.5	2.05/2.35	1.99/2.24	1.93/2.12	1.90/2.05	1.87/1.97	1.84/1.91
12	2.00/2.31	1.94/2.20	1.88/2.09	1.85/2.02	1.82/1.93	1.79/1.87
12.5	1.95/2.27	1.89/2.16	1.84/2.05	1.81/1.98	1.77/1.89	1.74/1.84
13	1.91/2.23	1.85/2.13	1.79/2.01	1.76/1.95	1.72/1.86	1.70/1.80
13.5	1.86/2.20	1.81/2.09	1.75/1.98	1.72/1.91	1.68/1.83	1.65/1.77
14	1.82/2.17	1.76/2.06	1.71/1.95	1.67/1.88	1.64/1.80	1.61/1.74

**Table 8b. Erosion Factors — Aggregate-Interlock Joints, Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle)**

Slab thickness, in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.46/3.49	3.42/3.39	3.38/3.32	3.36/3.29	3.32/3.26	3.28/3.24
4.5	3.32/3.39	3.28/3.28	3.24/3.19	3.22/3.16	3.19/3.12	3.15/3.09
5	3.20/3.30	3.16/3.18	3.12/3.09	3.10/3.05	3.07/3.00	3.04/2.97
5.5	3.10/3.22	3.05/3.10	3.01/3.00	2.99/2.95	2.96/2.90	2.93/2.86
6	3.00/3.15	2.95/3.02	2.90/2.92	2.88/2.87	2.86/2.81	2.83/2.77
6.5	2.91/3.08	2.86/2.96	2.81/2.85	2.79/2.79	2.76/2.73	2.74/2.68
7	2.83/3.02	2.77/2.90	2.73/2.78	2.70/2.72	2.68/2.66	2.65/2.61
7.5	2.76/2.97	2.70/2.84	2.65/2.72	2.62/2.66	2.60/2.59	2.57/2.54
8	2.69/2.92	2.63/2.79	2.57/2.67	2.55/2.61	2.52/2.53	2.50/2.48
8.5	2.63/2.88	2.56/2.74	2.51/2.62	2.48/2.55	2.45/2.48	2.43/2.43
9	2.57/2.83	2.50/2.70	2.44/2.57	2.42/2.51	2.39/2.43	2.36/2.38
9.5	2.51/2.79	2.44/2.65	2.38/2.53	2.36/2.46	2.33/2.38	2.30/2.33
10	2.46/2.75	2.39/2.61	2.33/2.49	2.30/2.42	2.27/2.34	2.24/2.28
10.5	2.41/2.72	2.33/2.58	2.27/2.45	2.24/2.38	2.21/2.30	2.19/2.24
11	2.36/2.68	2.28/2.54	2.22/2.41	2.19/2.34	2.16/2.26	2.14/2.20
11.5	2.32/2.65	2.24/2.51	2.17/2.38	2.14/2.31	2.11/2.22	2.09/2.16
12	2.28/2.62	2.19/2.48	2.13/2.34	2.10/2.27	2.06/2.19	2.04/2.13
12.5	2.24/2.59	2.15/2.45	2.09/2.31	2.05/2.24	2.02/2.15	1.99/2.10
13	2.20/2.56	2.11/2.42	2.04/2.28	2.01/2.21	1.98/2.12	1.95/2.06
13.5	2.16/2.53	2.08/2.39	2.00/2.25	1.97/2.18	1.93/2.09	1.91/2.03
14	2.13/2.51	2.04/2.36	1.97/2.23	1.93/2.15	1.89/2.06	1.87/2.00

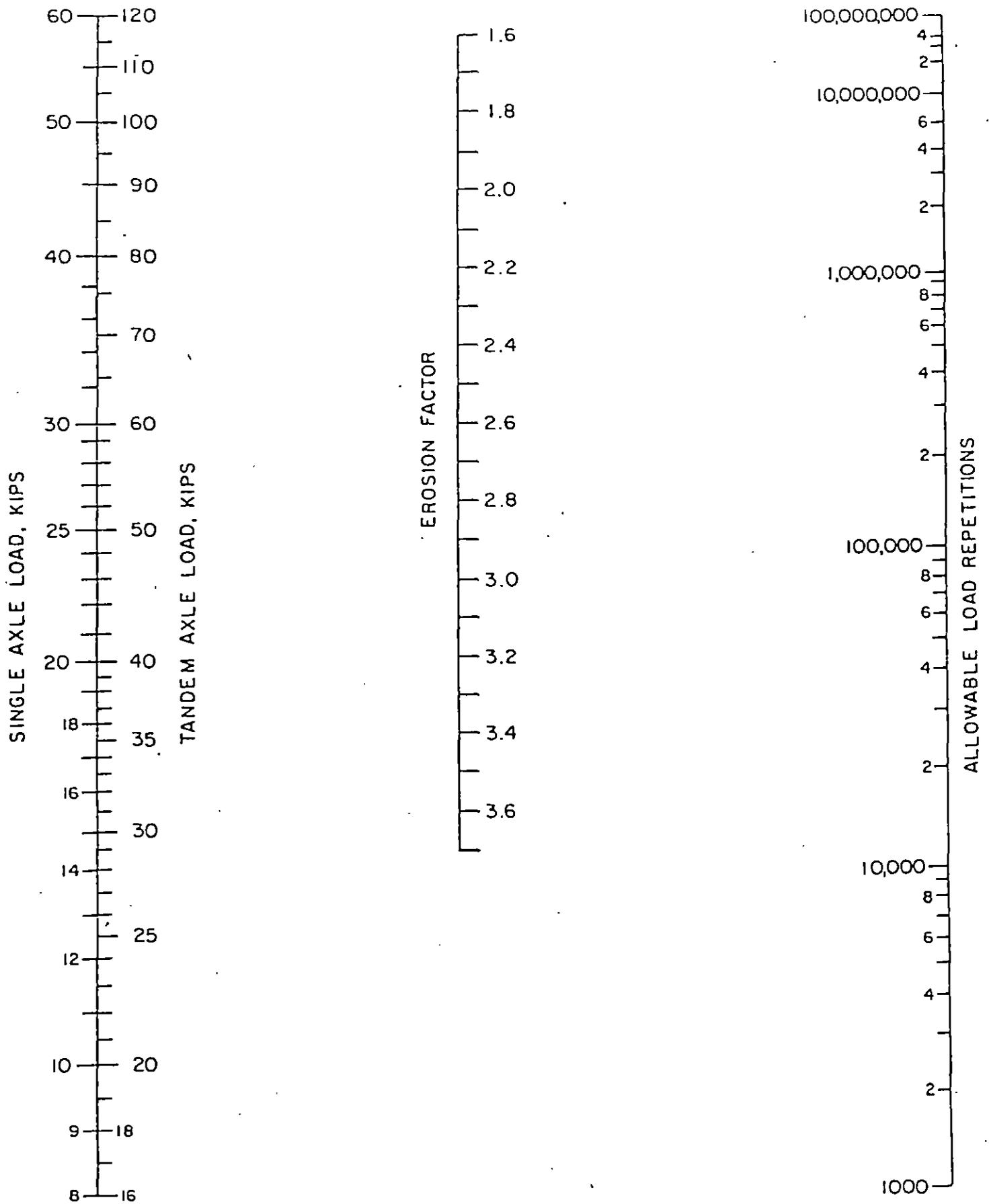


Fig. 6b. Erosion analysis—allowable load repetitions based on erosion factor (with concrete shoulder).

## Calculation of Pavement Thickness

Project Design 10, Four-lane Interstate, rural  
 Trial thickness 10.0 in Doweled joints: yes  no   
 Subbase-subgrade k 280 pci Concrete shoulder: yes  no   
 Modulus of rupture, MR 650 psi Design period 20 years  
 Load safety factor, LSF 1.2

*4-in. cement-treated subbase*

Axle load kips	Multiplied by LSF 1.2	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue percent	Allowable repetitions	Damage percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress 167

10. Erosion factor 2.72

9. Stress ratio factor 0.257

**Single Axles**

30	36.0	6,310	1,100,000	0.6	630,000	1.0
28	33.6	14,690	Unlimited	0	920,000	1.6
26	31.2	32,140	"	0	1,500,000	2.0
24	28.8	64,410	"	0	2,300,000	2.8
22	26.4	106,900			4,000,000	2.7
20	24.0	235,800			7,500,000	3.1
18	21.6	307,200			17,000,000	1.8
16	19.2	427,500			50,000,000	0.8
14	16.8	586,900			Unlimited	0
12	14.4	1,837,000			"	0

11. Equivalent stress 147

13. Erosion factor 2.90

12. Stress ratio factor 0.226

**Tandem Axles**

52	62.4	21,320	Unlimited	0	440,000	4.8	
48	57.6	42,870	"	0	690,000	6.2	
44	52.8	124,900	"	0	1,100,000	11.3	
40	48.0	372,900			2,000,000	18.6	
36	43.2	885,800			3,900,000	22.7	
32	38.4	920,700			8,600,000	10.8	
28	33.6	1,654,000			24,000,000	6.9	
24	28.8	984,900			Unlimited	0	
20	24.0	1,227,000			"	0	
16	19.2	1,356,000			"	0	
				Total	0.6	Total	97.1

Fig. 7. Design 10.

### Calculation of Pavement Thickness

Project Tridem Axles Supplement to Design 1A  
 Trial thickness 9.5 in Duveled joints yes  no   
 Subbase-subgrade k 130 pci Concrete shoulder yes  no   
 Modulus of rupture, MR 450 psi Design period 20 years  
 Load safety factor, LSF 1.2

Axle load, kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue percent	Allowable repetitions	Damage percent
1	2	3	4	5	6	7

Tridem Tandem Axles  $\frac{54,000 \times 1.2}{3}$

11. Equivalent stress 148      13. Erosion factor 2.95  
 12. Stress ratio factor 0.228

<u>54,000</u>	<u>21,600</u>	<u>350,000</u>	<u>Unlimited</u>	<u>0</u>	<u>2,700,000</u>	<u>93</u>
Total				<u>0</u>	Total <u>93</u>	

*to be added to totals shown in Fig 4*

Fig. C1. Analysis of tridems.

Table C1. Equivalent Stress—Tridems  
(Without Concrete Shoulder/With Concrete Shoulder)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	510/431	456/392	437/377	428/369	419/362	414/360	412/359
4.5	439/365	380/328	359/313	349/305	339/297	331/292	328/291
5	387/317	328/281	305/266	293/258	282/250	272/244	269/242
5.5	347/279	290/246	266/231	253/223	240/214	230/208	226/206
6	315/249	261/218	237/204	223/196	209/187	198/180	193/178
6.5	289/225	238/196	214/183	201/175	186/166	173/159	168/156
7	267/204	219/178	196/165	183/158	167/149	154/142	148/138
7.5	247/187	203/162	181/151	168/143	153/135	139/127	132/124
8	230/172	189/149	168/138	156/131	141/123	126/116	120/112
8.5	215/159	177/138	158/128	145/121	131/113	116/106	109/102
9	200/147	166/128	148/119	136/112	122/105	108/98	101/94
9.5	187/137	157/120	140/111	129/105	115/98	101/91	93/87
10	174/127	148/112	132/104	122/98	108/91	95/84	87/81
10.5	163/119	140/105	125/97	115/92	103/86	89/79	82/76
11	153/111	132/99	119/92	110/87	98/81	85/74	78/71
11.5	142/104	125/93	113/86	104/82	93/76	80/70	74/67
12	133/97	119/88	108/82	100/76	89/72	77/66	70/63
12.5	123/91	113/83	103/78	95/74	85/68	73/63	67/60
13	114/85	107/79	98/74	91/70	81/65	70/60	64/57
13.5	105/80	101/75	93/70	87/67	78/62	67/57	61/54
14	97/75	95/71	89/67	83/63	75/59	65/54	59/51

**Table C2. Erosion Factors—Tridems—Doweled Joints  
(Without Concrete Shoulder/With Concrete Shoulder)**

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.89/3.33	3.82/3.20	3.75/3.13	3.70/3.10	3.61/3.05	3.53/3.00
4.5	3.78/3.24	3.69/3.10	3.62/2.99	3.57/2.95	3.50/2.91	3.44/2.87
5	3.68/3.16	3.58/3.01	3.50/2.89	3.46/2.83	3.40/2.79	3.34/2.75
5.5	3.59/3.09	3.49/2.94	3.40/2.80	3.36/2.74	3.30/2.67	3.25/2.64
6	3.51/3.03	3.40/2.87	3.31/2.73	3.26/2.66	3.21/2.58	3.16/2.54
6.5	3.44/2.97	3.33/2.82	3.23/2.67	3.18/2.59	3.12/2.50	3.08/2.45
7	3.37/2.92	3.26/2.76	3.16/2.61	3.10/2.53	3.04/2.43	3.00/2.37
7.5	3.31/2.87	3.20/2.72	3.09/2.56	3.03/2.47	2.97/2.37	2.93/2.31
8	3.26/2.83	3.14/2.67	3.03/2.51	2.97/2.42	2.90/2.32	2.86/2.25
8.5	3.20/2.79	3.09/2.63	2.97/2.47	2.91/2.38	2.84/2.27	2.79/2.20
9	3.15/2.75	3.04/2.59	2.92/2.43	2.86/2.34	2.78/2.23	2.73/2.15
9.5	3.11/2.71	2.99/2.55	2.87/2.39	2.81/2.30	2.73/2.18	2.68/2.11
10	3.06/2.67	2.94/2.51	2.83/2.35	2.76/2.26	2.68/2.15	2.63/2.07
10.5	3.02/2.64	2.90/2.48	2.78/2.32	2.72/2.23	2.64/2.11	2.58/2.04
11	2.98/2.60	2.86/2.45	2.74/2.29	2.68/2.20	2.59/2.08	2.54/2.00
11.5	2.94/2.57	2.82/2.42	2.70/2.26	2.64/2.16	2.55/2.05	2.50/1.97
12	2.91/2.54	2.79/2.39	2.67/2.23	2.60/2.13	2.51/2.02	2.46/1.94
12.5	2.87/2.51	2.75/2.36	2.63/2.20	2.56/2.11	2.48/1.99	2.42/1.91
13	2.84/2.48	2.72/2.33	2.60/2.17	2.53/2.08	2.44/1.96	2.39/1.88
13.5	2.81/2.46	2.68/2.30	2.56/2.14	2.49/2.05	2.41/1.93	2.35/1.86
14	2.78/2.43	2.65/2.28	2.53/2.12	2.46/2.03	2.38/1.91	2.32/1.83

**Table C3. Erosion Factors—Tridems—Aggregate-Interlock Joints  
(Without Concrete Shoulder/With Concrete Shoulder)**

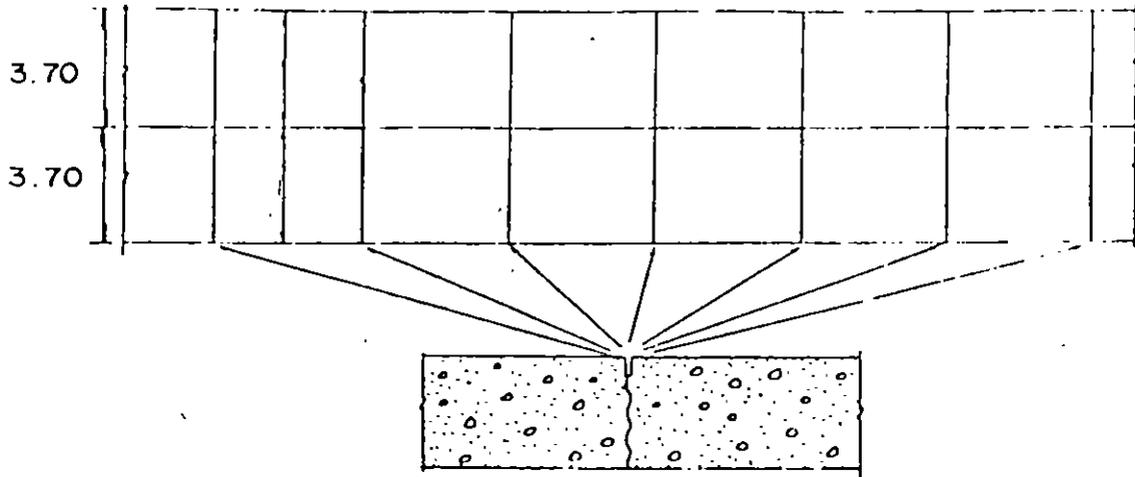
Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	4.06/3.50	3.97/3.38	3.88/3.30	3.82/3.25	3.74/3.21	3.67/3.16
4.5	3.95/3.40	3.85/3.28	3.76/3.18	3.70/3.13	3.63/3.08	3.56/3.04
5	3.85/3.32	3.75/3.19	3.66/3.08	3.60/3.03	3.52/2.97	3.46/2.93
5.5	3.76/3.26	3.66/3.11	3.56/3.00	3.51/2.94	3.43/2.87	3.37/2.83
6	3.68/3.20	3.58/3.05	3.48/2.92	3.42/2.86	3.35/2.79	3.29/2.74
6.5	3.61/3.14	3.50/2.99	3.40/2.86	3.34/2.79	3.27/2.72	3.21/2.67
7	3.54/3.09	3.43/2.94	3.33/2.80	3.27/2.73	3.20/2.65	3.14/2.60
7.5	3.48/3.05	3.37/2.89	3.26/2.75	3.20/2.67	3.13/2.59	3.08/2.54
8	3.42/3.01	3.31/2.84	3.20/2.70	3.14/2.62	3.07/2.54	3.01/2.48
8.5	3.37/2.97	3.25/2.80	3.15/2.65	3.09/2.58	3.01/2.49	2.96/2.43
9	3.32/2.94	3.20/2.77	3.09/2.61	3.03/2.53	2.95/2.44	2.90/2.38
9.5	3.27/2.91	3.15/2.73	3.04/2.58	2.98/2.49	2.90/2.40	2.85/2.34
10	3.22/2.88	3.11/2.70	3.00/2.54	2.93/2.46	2.85/2.36	2.80/2.29
10.5	3.18/2.85	3.06/2.67	2.95/2.51	2.89/2.42	2.81/2.32	2.76/2.26
11	3.14/2.83	3.02/2.65	2.91/2.48	2.84/2.39	2.77/2.29	2.71/2.22
11.5	3.10/2.80	2.98/2.62	2.87/2.45	2.80/2.36	2.72/2.26	2.67/2.19
12	3.07/2.78	2.95/2.59	2.83/2.43	2.76/2.33	2.68/2.23	2.63/2.16
12.5	3.03/2.76	2.91/2.57	2.79/2.40	2.73/2.31	2.65/2.20	2.59/2.13
13	3.00/2.74	2.88/2.55	2.76/2.38	2.69/2.26	2.61/2.17	2.56/2.10
13.5	2.97/2.72	2.84/2.53	2.73/2.35	2.65/2.26	2.58/2.15	2.52/2.07
14	2.94/2.70	2.81/2.51	2.69/2.33	2.63/2.24	2.54/2.12	2.49/2.05

ESPACIAMIENTO DE JUNTAS DE CONTRACCION PARA  
PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE, NO REFORZADO.

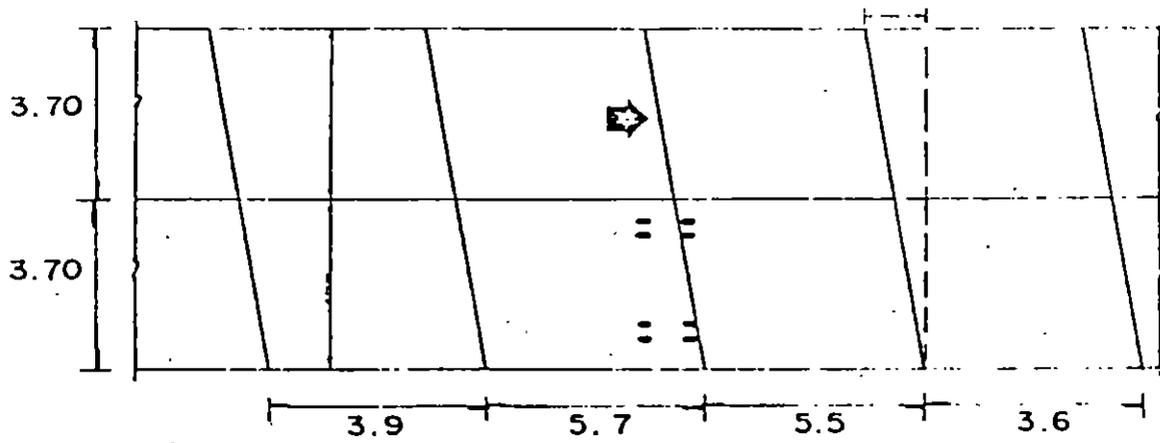
21

TIPO DE AGREGADO	ESPACIAMIENTO (M)
GRANITO TRITURADO	7.5 - 9
CALIZA TRITURADA	6 - 9
CALIZA CON PEDERNAL TRITURADA	6 - 7.5
GRAVA SILICOSA	4.5 - 6
GRAVA MENOR QUE 3/4	4.5 - 6
REZAGA	4.5 - 6

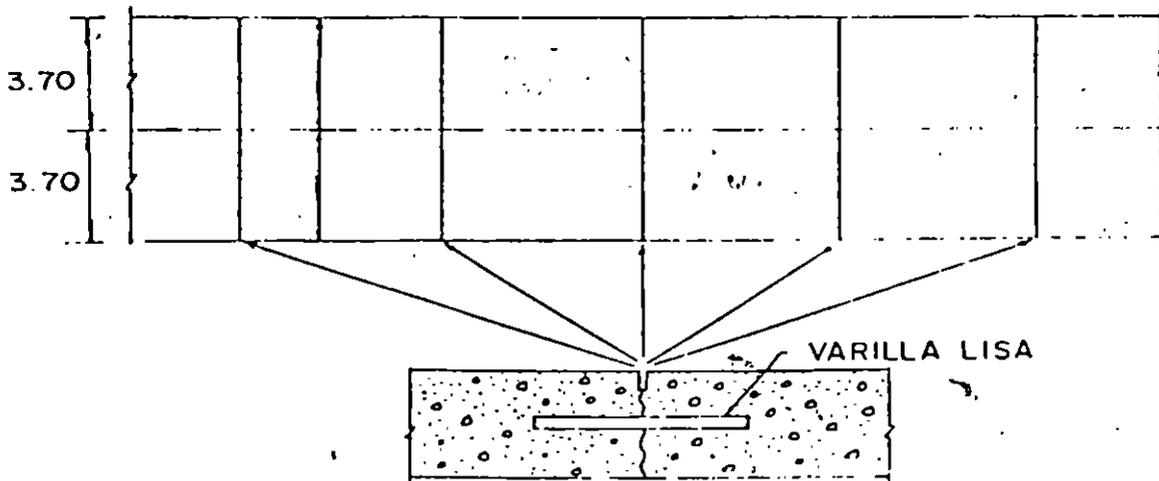
### JUNTAS DE CONTRACCION



### JUNTAS ESVAJADAS



### JUNTAS CON PASAJUNTA LISO



¿ ES NECESARIO EL REFUERZO ?

NO, CUANDO HAY SOPORTE UNIFORME Y ESPACIAMIENTOS  
CORTOS ENTRE JUNTAS.

SI, CUANDO SE REQUIEREN ESPACIAMIENTOS GRANDES  
ENTRE JUNTAS, O CUANDO ESTAS SON INACEPTABLES  
FUNCIONALMENTE.

12.- Tolerancias.

12.1.- Losas de concreto.-

Pendiente transversal con respecto a la de proyecto

$\pm 0.1\%$

12.2.- Profundidad máxima de las depresiones observadas, determinadas colocando una regla metálica de 5 m. en dirección paralela y con espaciamentos en el sentido transversal no mayores de 2.00 m.

5 mm.

12.3.- Espesores.

En el 80% como mínimo del número total de espesores determinados

$e_r \geq e$

En el 20% como máximo del número total de espesores determinados

$e_r \geq e - 5 \text{ mm.}$

El espesor de las losas se obtendrá por medición directa en la losa, cuando sea posible, o por medio de corazones.

12.4.- Resistencia.

El 80% como mínimo de los valores determinados en las pruebas de módulo de resistencia a la tensión por flexión a los 28 días.

$M.R. \geq 45 \text{ kg/cm}^2$

El 20% restante no podrá tener

$M.R. < 41 \text{ kg/cm}^2$

Asimismo el promedio de las resistencias obtenidas en cuatro ensayos consecutivos deberá ser

$\geq 45 \text{ kg/cm}^2$

12.5.- Coefficiente de fricción.

$\geq 0.35$

12.6.- Indice de Perfil

$< 20 \text{ pulg/m}$   
1

12.7.- Desviación máxima medida en perfilograma

0.3 pulgada

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

RESISTENCIA A LA TENSION

RESISTENCIA A LA COMPRESION

MODULO DE ELASTICIDAD

MODULO DE POISSON

DEFORMABILIDAD POR CAMBIOS DE TEMPERATURA

CONTRACCION

DURABILIDAD.

130

TENDENCIAS ACTUALES

PAVIMENTOS MAS GRUESOS

SUBRASANTES ESTABILIZADAS

USO DE ELEMENTOS DE TRANSFERENCIA

SUB-BASES MAS RESISTENTES  
(CONCRETO POBRE)

140

TABLA I. COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

Concepto	Rígido	Flexible
1.- Calidad de Rodamiento	Mayores problemas en el acabado superficial. Las juntas entre losas suelen ser fuente permanente de problemas. Este inconveniente se atenua notoriamente en losas con acero de refuerzo, al aumentarse sensiblemente el espaciamiento entre juntas.	Mayor facilidad para lograr una mejor superficie de rodamiento.
2.- Funcionalidad	Bajo altos niveles de tránsito este pavimento llega a ser más ventajoso. La falla más común se manifiesta por agrietamientos, los cuales no suelen afectar la funcionalidad.	Cuando el tránsito es intenso suele ser común la formación de baches y roderas, que afectan seriamente la funcionalidad del pavimento
3.- Agrietamiento	Es más probable que en este caso se presenten grietas no controladas. Sin embargo, estas suelen ser de poca trascendencia.	El agrietamiento suele influir mayormente en el comportamiento del pavimento.
4.- Resistencia al derrapamiento.	En ambos tipos de pavimento se requiere adoptar medidas especiales para disponer de una superficie antiderrapante. Sin embargo, la textura superficial del pavimento rígido suele ser más estable que la del flexible.	

TABLA I. COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES  
(Continuación)

Concepto	Rígido	Flexible
5.- Facilidad de - reparación	Requiere alta especialización	Es relativamente sencilla, sin embargo, en caminos de alto tránsito la operación del mismo se ve seriamente afectada.
6.- Visibilidad	En general la visibilidad es mejor - que en el pavimento flexible	
7.- Durabilidad	Substancialmente mayor que la del pa- vimento flexible.	
8.- Construcción - por etapas	No aplicable a este tipo de pavimen- to, a menos que se recurra a capas - bituminosas	Muy favorable
9.- Costos	Los costos de construcción inicial - son mayores, siendo en cambio meno- res los de conservación. La suma de ambos es motivo de análisis en cada caso.	Posibilidad de diferir in- versiones al construir por etapas.
10.- Confiabilidad	En condiciones críticas ó particular- mente difíciles, ofrece mayores ga- rantías que el flexible.	

## MODELOS BASICOS DE RESPUESTA ESTRUCTURAL

LA FUNCION PRIMARIA DEL PAVIMENTO ES LA DE SERVIR AL USUARIO EN FORMA SEGURA, COMODA Y ECONOMICA. PARA SATISFACER ESTO EL PAVIMENTO EN GRAN MEDIDA DEBE TENER ADECUADA CAPACIDAD ESTRUCTURAL PARA SOPORTAR LAS CARGAS Y LOS FACTORES AMBIENTALES. EL ANALISIS DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL BAJO TALES INFLUENCIAS DE SUERTE QUE PUEDA ESTIMARSE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL, ES CLAVE EN LOS ASPECTOS DE DISEÑO. PARA ELLO EXISTEN VARIOS MODELOS SI BIEN LA MAYORIA NO SON DEL TODO PRECISOS SI PROPORCIONAN BASES PARA ESTIMAR O PREDECIR LA OCURRENCIA DE DETERIOROS TALES COMO LOS AGRIETAMIENTOS POR FATIGA.

### VARIABLES DEL TRANSITO

COMPRENDE A UNA DE LAS MAS DIFICILES QUE CONFRONTA EL DISEÑADOR.

- 1 - CARGA POR RUEDA, POR EJE Y CARGA TOTAL
- 2 - NUMERO Y SECUENCIA DE APLICACIONES DE CARGA
- 3 - VELOCIDAD DEL VEHICULO
- 4 - DISTRIBUCION DE CARGAS (LATERAL Y POR CARRIL)
- 5 - PRESION DE LLANTAS
- 6 - CONFIGURACION DE EJES Y RUEDAS.

## PRINCIPALES OBJETIVOS DE DISEÑO

- SELECCIONAR LA ESTRATEGIA DE MAXIMA O "RAZONABLE" ECONOMIA, SEGURIDAD Y SERVICIABILIDAD.
- CONSIDERAR TODAS LAS ESTRATEGIAS POSIBLES
- DISPONER DE MODELOS DE MAYOR PRECISION POSIBLE PARA PREDECIR LA SERVICIABILIDAD, SEGURIDAD Y DETERIOROS DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS
- DISPONER DE METODOS PRECISOS PARA ESTIMAR LOS COSTOS Y BENEFICIOS
- ESTABLECER ADECUADA TRANSFERENCIA E INTERCAMBIO DE INFORMACION ENTRE EL PERSONAL DE CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO
- USO EXTENSIVO DE MATERIALES LOCALES Y DE MANO DE OBRA

## RESTRICCION DE DISEÑO

- 1 - DISPONIBILIDAD DE TIEMPO Y FONDOS (PARA CONDUCIR LA CONSTRUCCION Y EL DISEÑO MISMO)
- 2 - MINIMO NIVEL DE SERVICIO PERMITIDO ANTES DE LA REHABILITACION
- 3 - DISPONIBILIDAD DE MATERIALES
- 4 - MINIMO O MAXIMO ESPESOR DE CAPA
- 5 - TIEMPO MINIMO ENTRE SOBRECARPETAS Y/O RIEGOS DE SELLO
- 6 - CAPACIDAD DE LOS PROCESOS DE CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO
- 7 - CAPACIDAD DE EFECTUAR LOS ENSAYES
- 8 - CAPACIDAD DE LOS MODELOS ECONOMICOS Y ESTRUCTURALES DISPONIBLES.
- 9 - CALIDAD Y EXTENSION DE LA INFORMACION DISPONIBLE PARA EL DISEÑO

LA IMPORTANCIA DE LAS ANTERIORES RESTRICCIONES VARIA CON LAS CONDICIONES DE DISEÑO Y DEL ORGANISMO INVOLUCRADO.

## ALTERNATIVAS DE MATERIALES

- CONCRETO ASFALTICO
- MEZCLA ASFALTICA
- BASE TRATADA CON ASFALTO
- BASE TRATADA CON CAL
- BASE TRATADA CON CEMENTO
- BASE GRANULAR
- SUB-BASE GRANULAR, ETC.

ALGUNOS PUEDEN SER MUTUAMENTE EXCLUYENTES

UNA VARIEDAD DE MATERIALES PUEDEN SER POSIBLES O DISPONIBLES PARA UNA O MAS DE ESTAS CAPAS

RESUMEN: LA ESTRATEGIA DE DISEÑO DEBE INCLUIR NO SOLO EL ESPESOR DE LAS CAPAS SINO TAMBIEN TIPO DE MATERIALES Y POLITICAS DE CONSTRUCCION, MANTENIMIENTO Y EVALUACION. CUANDO TODAS LAS ALTERNATIVAS PARA ESTAS ESTRATEGIAS DE DISEÑO HAN SIDO GENERADAS ELLAS PUEDEN SER ANALIZADAS Y EVALUADAS ECONOMICAMENTE PARA SELECCIONAR LA MEJOR.

EN GENERAL NO ES POSIBLE GENERA TODAS LAS ALTERNATIVAS MANUALMENTE, SE REQUIERE EL USO DE LAS COMPUTADORAS EN DONDE EL DISEÑADOR SIMPLEMENTE INCLUYA LO SIGUIENTE:

- 1.- CAPAS DE MATERIALES QUE DEBEN SER CONSIDERADOS
- 2.- MINIMO Y MAXIMO ESPESOR DE CAPA PARA CADA TIPO DE MATERIAL Y CAMBIOS EN LOS INCREMENTOS DE ESPESOR QUE VAN A USARSE
- 3.- TIEMPO MINIMO PARA LA COLOCACION DE LA PRIMER SOBRECARPETA Y LAPSO ENTRE SOBRECARPETAS.

SE DEBE SEGURAR QUE TODAS LAS ALTERNATIVAS POSIBLES HAN SIDO GENERADAS.

## ACTIVIDADES EN LA FASE DE DISEÑO

- INFORMACION REQUERIDA
- GENERACION DE ALTERNATIVAS DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO
- EVALUACION ECONOMICA
- OPTIMIZACION (DE LAS ESTRATEGIAS)

## PRINCIPALES OBJETIVOS QUE DEBE SATISFACER UN PAVIMENTO

- MAXIMA O "RAZONABLE" ECONOMIA (EN TERMINOS TANTO DEL ORGANISMO COMO DEL USUARIO)
- MAXIMA O ADECUADA SEGURIDAD
- MAXIMA O RAZONABLE SERVICIABILIDAD EN EL PERIODO DE DISEÑO.

## CARACTERIZACION DE LOS INSUMOS (INPUTS) FISICOS DE DISEÑO

- 1 - CARACTERIZACION DEL TRANSITO; USUALMENTE EXPRESADA EN TERMINOS DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON (18000 LBS)
- 2 - CARACTERIZACION AMBIENTAL: DE MUY DIFICIL VALUACION QUE USUALMENTE SE SIMPLIFICA CON CRITERIOS EMPIRICOS COMO EL FACTOR REGIONAL "R" O EN TERMINOS DE SERVICIABILIDAD CON EL TIEMPO.
- 3 - CARACTERIZACION DE MATERIALES  
PROPIEDADES INDICE

### PROPIEDADES FUNDAMENTALES:

- 1 - MODULOS PARA CADA UNA DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO Y LA CAPA SUBRASANTE
- 2 - RELACION DE POISSON INDIVIDUAL PARA CADA CAPA
- 3 - CARACTERISTICAS ESFUERZO-DEFORMACION-TIEMPO (ANALISIS VISCOCLASTICOS)
- 4 - VALORES LIMITE DE RESISTENCIA O DEFORMACION

PARA DETERMINAR ESTAS PROPIEDADES EXISTEN DIVERSOS METODOS DE ENSAYE

113

- CARGA
  - Magnitud de las cargas
  - Configuración de las llantas y espaciamientos entre ellas
  - Número de ejes
  - Presión de inflado
  - Presión de contacto
  - Superficie del área de contacto
  - Número de repetición de cargas , cambios anuales y estacional
  - Tasa de crecimiento
  - Distribución de tránsito en la sección transversal
  - Vida de proyecto del pavimento antes de que requiera una reconstrucción
  - Criterio de falla
  - Tipo de impacto.
  
- REGIONALES
  - Temperatura
  - Régimen de precipitación
  - Precipitación media anual
  - Nivel freático
  - Geología
  - Topografía.
  
- ESTRUCTURALES
  - Características de las capas que constituyen el pavimento
  - Espesores
  - Resistencias
  - Deformabilidad
  - Disponibilidad de materiales
  - Costo
  - Respuesta bajo condiciones regionales
  
- COMPORTAMIENTO
  - Seguridad
  - Serviciabilidad
  - Durabilidad
  - Depende de la interacción entre características estructurales, solicitaciones de tránsito, clima, regionales y tipo de conservación.
  
- CONSERVACION
  - Tipo de conservación requerido
  - Frecuencia
  
- CRITERIOS DE DECISION
  - Disponibilidad de fondos
  - Costos de construcción, conservación, operación
  - Confiabilidad
  - Seguridad, calidad de operación y tipo de conservación
  - Impacto ambiental.
  
- CONSTRUCCION
  - Control de calidad
  - Disponibilidad de equipo y personal
  - Nivel tecnológico
  - Recursos industriales.

PARAMETRO DE:

TRANSITO Y CARGAS  
AMBIENTALES  
DE CONSTRUCCION  
DE DISEÑO ESTRUCTURAL  
DE MANTENIMIENTO  
OPERACIONALES  
RESTRICTIVOS.

## PARAMETROS DE TRANSITO Y CARGAS

- TIPOS DE VEHICULOS
- CARGAS POR EJES
- NUMERO DE APLICACIONES
- DISTRIBUCION DEL TRANSITO DURANTE EL AÑO
- CANALIZACION DEL TRANSITO

## PARAMETROS AMBIENTALES

- TIPO DE SUELO
- TOPOGRAFIA
- REGIMEN PLUVIOMETRICO
- DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBDRENAJE
- TEMPERATURA AMBIENTE.

## PARAMETROS DE CONSTRUCCION

- CONTROL DE CALIDAD
- EXPERIENCIA DEL PERSONAL
- DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO

## PARAMETROS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

- CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE
- TIPO Y CALIDAD DE LOS MATERIALES DISPONIBLES
- ESTABILIZACION DE SUELOS
- DISPONIBILIDAD DE EQUIPO DE PRUEBAS.

## PARAMETROS OPERACIONALES

- CONTROL DE TRANSITO DURANTE LA CONSTRUCCION
- CONTROL DE TRANSITO DURANTE MANTENIMIENTO
- CONTROL DE TRANSITO DURANTE LA RECONSTRUCCION
- COMODIDAD PARA EL USUARIO

## PARAMETROS RESTRICTIVOS

- MAXIMOS COSTOS ADMISIBLES, A NIVELES INICIAL MANTENIMIENTO O OPERACIONAL.
- VIDA DE DISEÑO
- LAPSO PARA LA PRIMERA RECONSTRUCCION IMPORTANTE
- LAPSO ENTRE RECONSTRUCCIONES IMPORTANTES.
- IMPACTO EN EL AMBIENTE.

## PARAMETROS DE DISEÑO

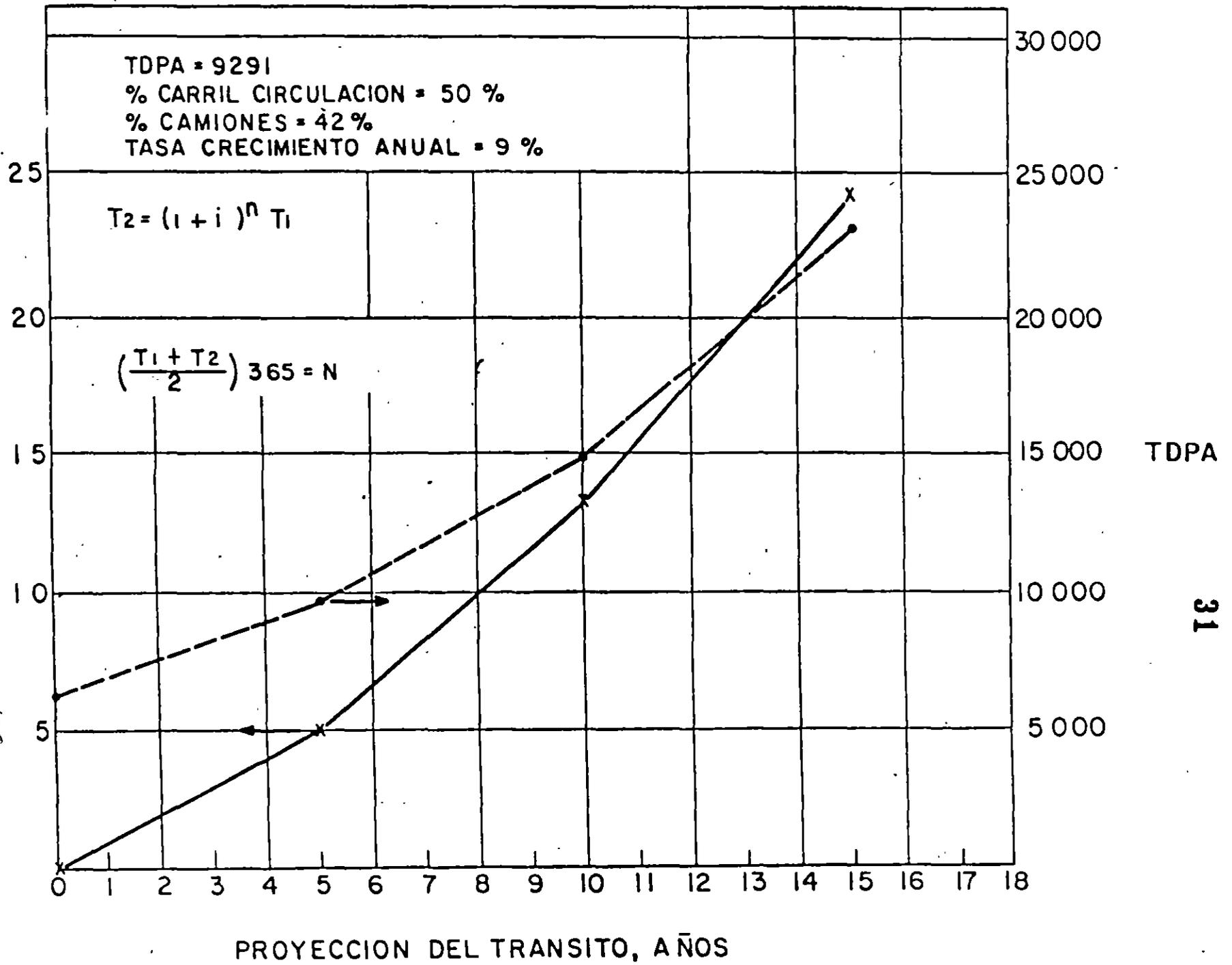
A) CARACTERIZACION DEL TRANSITO

B) CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

(TERRENO DE CIMENTACION Y MATERIALES DE PAVIMENTACION)

NUMERO ACUMULADO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 KN  
(MILLONES)

351



# ANALISIS DE TRANSITO

TIPO DE VEHICULO	NUM,DE VEHICULOS	%	PESO POR EJE, TON.		
			EJE 1	EJE 2	EJE 3
A <sub>2</sub>	4182	45	1.0	1.0	
A' <sub>2</sub>	1208	13	1.7	3.8	
B <sub>2</sub>	371	4	5.5	10.0	
B <sub>3</sub>	46	0.5	5.5	14.0	
B <sub>4</sub>	46	0.5	7.0	14.0	
C <sub>2</sub>	1858	20	5.5	10.0	
C <sub>3</sub>	743	8	5.5	18.0	
T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	93	1	5.5	10.0	18.0
T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	465	5	5.5	18.0	18.0
T <sub>3</sub> -S <sub>3</sub>	279	3	5.5	18.0	22.5
	9291	100			

MATERIALES PARA TERRACERIAS

40-2

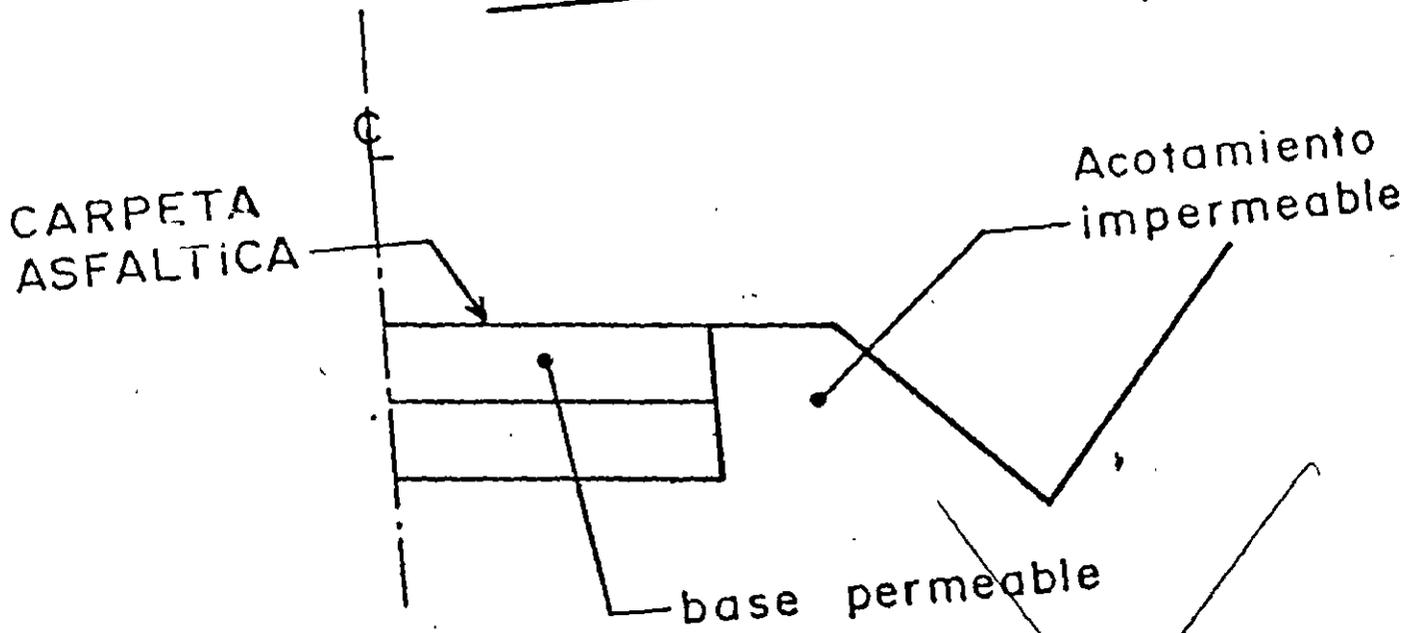
TIPO	ACOMODO	CUERPO DE TERRAPLEN	CAPA SUBRASANTE
FRAGMENTOS GRANDES MEDIANOS CHICOS	CON TRACTOR Y/O EQUIPO CONSTRUCCION	PUEDEN USARSE ACÓMODADOS POR CAPAS, DEL ESPESOR MINI MO COMPATIBLE CON EL TAMA ÑO MAXIMO.	NO DEBEN USARSE
SUELOS GRAVAS ARENAS ML CL OL MH <sub>1</sub> CH <sub>1</sub> FINOS OH <sub>1</sub> MH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH <sub>2</sub> pt	COMPACTADOS CON EL EQUIPO ESPECIFICO	GRADO DE COMPACTACION 90% AASHTO - T - 99 AASHTO - T - 180 NO DEBEN USARSE	GRÁDO DE COMPAC TACION 95% NO DEBEN USARSE CUANDO CBR 5% Y EXPANSION 5% NO DEBEN USARSE EN AEROPISTAS. NO DEBEN USARSE

CATEGORIA DE SUBRASANTE

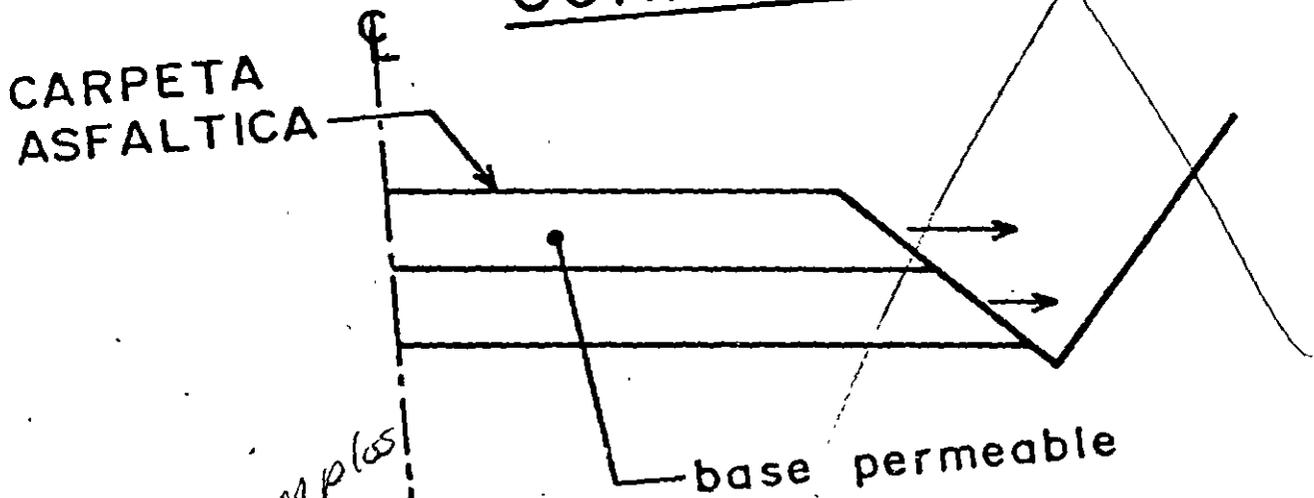
CATEGORIA	MATERIAL	CBR %	K lb/pulg <sup>3</sup>
MUY BUENA	GW, GP, GM, GC SW, SP, SM, SC.	>10	>200
BUENA	ML, CL, OL	6 A 10	150 A 200
MALA	MH, CH, OH	3 A 6	100 A 150

*ojo*

INCORRECTO



CORRECTO

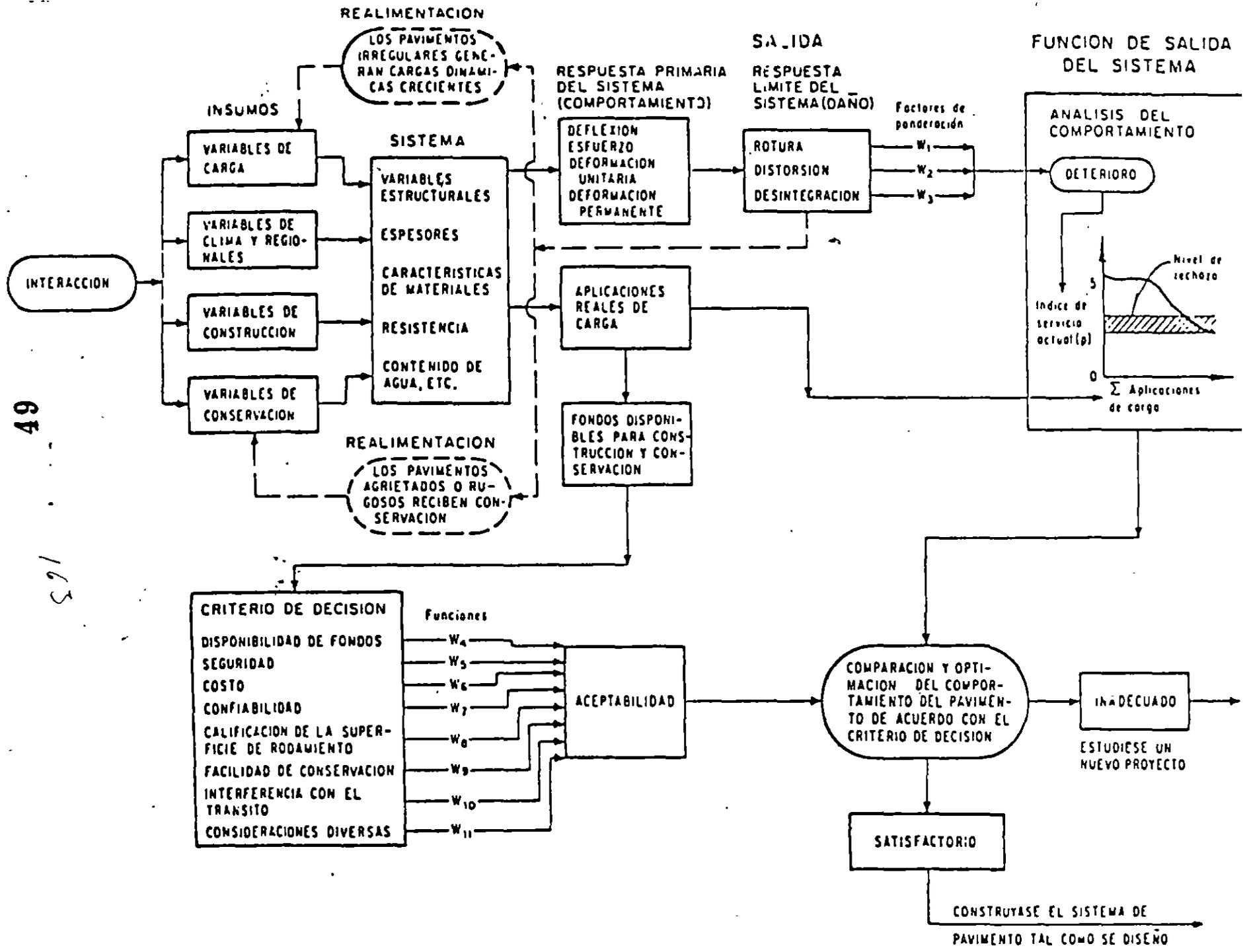


*Incluir ejemplos de AASHTO*

1672

49

165



ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTRATEGIA DE DISEÑO  
PREDICCIÓN DE DETERIOROS

47

PRINCIPALES TIPOS DE DETERIOROS

- 1 - AGRIETAMIENTOS ASOCIADOS CON CARGAS
- 2 - DEFORMACION PERMANENTE ASOCIADA CON CARGAS (RUTTING)
- 3 - GRIETAS DE CONTRACCION ASOCIADAS A BAJAS TEMPERATURAS
- 4 - DISTORSIONES NO ASOCIADAS CON CARGAS (USUALMENTE RELACIONADAS CON ASENTAMIENTOS O MOVIMIENTOS EN LA CIMENTACION, --- ACCION DE LEVANTAMIENTO POR CONGELAMIENTO)
- 5 - AGRIETAMIENTOS NO ASOCIADOS A CARGAS (MOVIMIENTO EN TERRENO DE CIMENTACION, LEVANTAMIENTOS DIFERENCIALES POR ACCION HELADAS)
- 6 - DESINTEGRACION
- 7 - INTERACCION DE TODOS LOS ANTERIORES
- 8 - BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

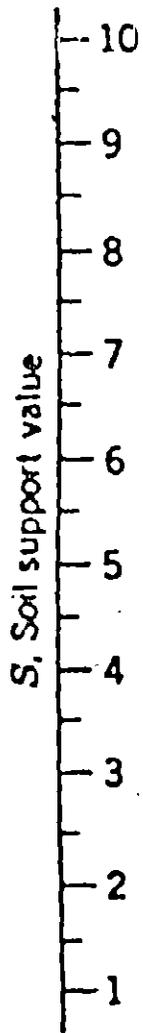
*Incluir  
mecanismos  
de deterioro*

LOS TRES PRIMEROS PUEDEN SER PREVISIBLES Y EN CIERTO GRADO PREVENIRSE.

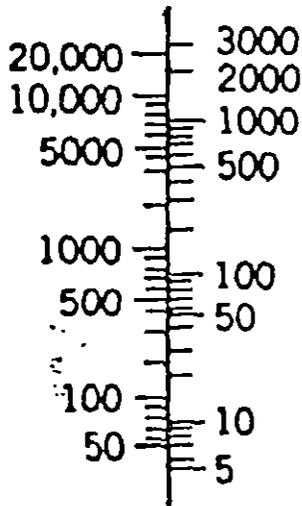
LOS TRES SIGUIENTES NO SON USUALMENTE TRATADOS COMO PROBLEMAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO EN SI. MAS BIEN SE CONSIDERA QUE UN DISEÑO ADECUADO DE LA SUBRASANTE Y CONSTRUCCION APROPIADA, CORRECTO SUBDRENAJE, MATERIALES SELECTOS, ETC, PUEDEN CONTROLARLOS.

LA INTERACCION DE TODOS ELLOS NO ES POSIBLE PREDECIRLA CONFIABLEMENTE.

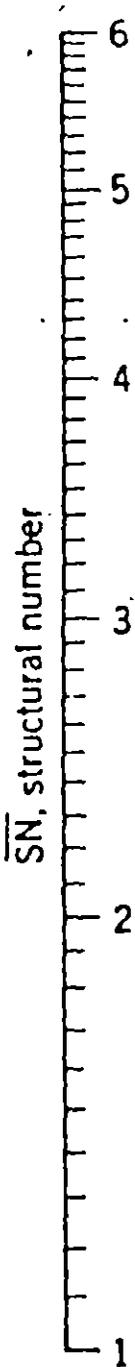
591



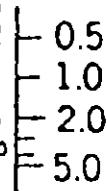
Total equivalent 18-kip single-axle load applications, thousands



Daily equivalent 18-kip single-axle load applications (20 year analysis period)



R, Regional factor



SN, weighted structural number



Design chart for flexible pavements,  $P_t = 2.5$

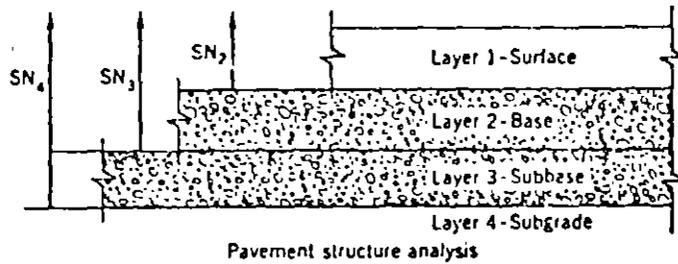


Figure 15.4. Alternate procedure for determining flexible-pavement layer thicknesses. (From AASHTO Interim Guide, 1972.)

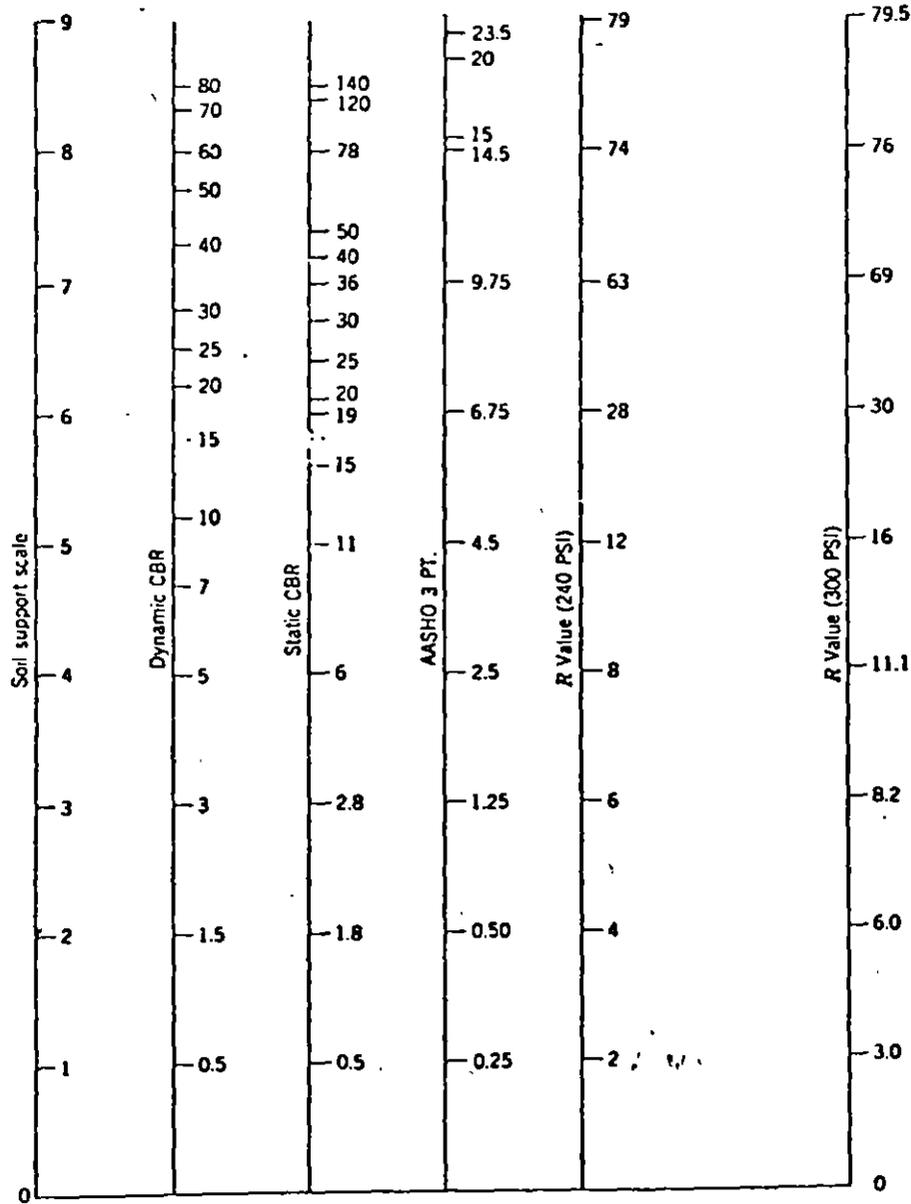
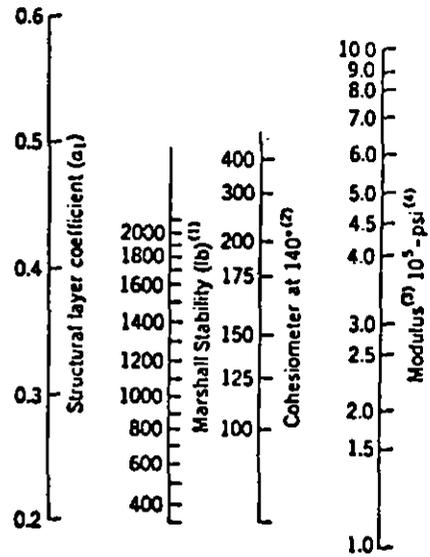


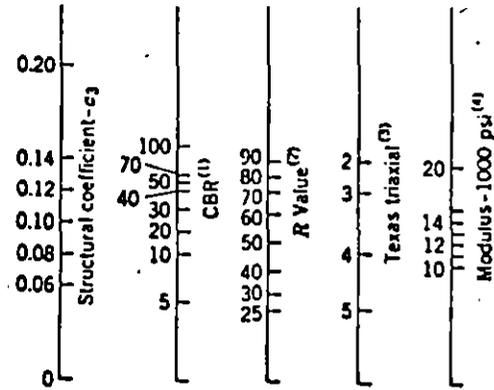
Figure 15.5. Soil support value correlations. (a) After Utah State Highway Department and (b) from Van Til et al., NCHRP 128.

53



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from the Asphalt Institute, Illinois, Louisiana, New Mexico, and Wyoming.  
 (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California and Texas.  
 (3) Scale derived on this project.  
 (4) Modulus at 68°F

(a)



- (1) Scale derived from correlations from Illinois.  
 (2) Scale derived from correlations obtained from the Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.  
 (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.  
 (4) Scale derived on this project.

(b)

EJEMPLO METODO AASHTO

55

DATOS

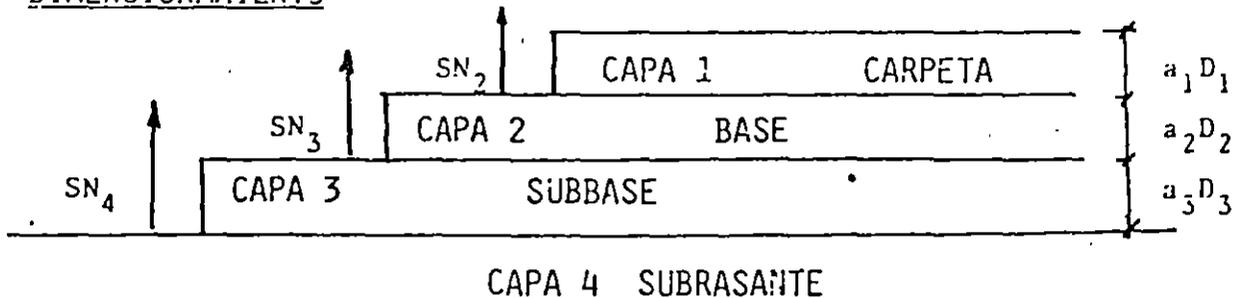
VALORES SOPORTE S

SUELO SUBRASANTE	3.0	(VRS = 3%)
SUBBASE GRANULAR	6.0	(VRS = 20%)
BASE GRANULAR	9.0	(VRS = 100%)
MUERO DE EJES EQUIVALENTES PARA UN PERIODO DE 20 AÑOS	$5.8 \times 10^6$	

COEFICIENTES ESTRUCTURALES (a)

CONCRETO ASFALTICO, $a_1$	0.44
BASE, $a_2$	0.14
SUBBASE, $a_3$	0.11
FACTOR REGIONAL, R	1.5
NIVEL DE RECHAZO	2.5

DIMENSIONAMIENTO



$SN_4 = 5.4$   
 $SN_3 = 3.7$   
 $SN_2 = 2.5$

$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$

ESPESORES MINIMOS

$D_1^* \geq \frac{SN_2}{a_1} \geq \frac{2.5}{0.44} \geq 5.6 \text{ pulg} \rightarrow 6 \text{ pulg.}$

$SN_2 = a_1 D_1^* = 0.44 \times 6 = 2.64 > 2.5$

$D_2^* \geq \frac{SN_3 - SN_2}{a_2} \geq \frac{3.7 - 2.64}{0.14} \geq 7.7 \text{ pulg} \rightarrow 8 \text{ pulg}$

$SN_3 = 2.64 + 0.14 \times 8 = 2.64 + 1.12 = 3.76 > 3.7$

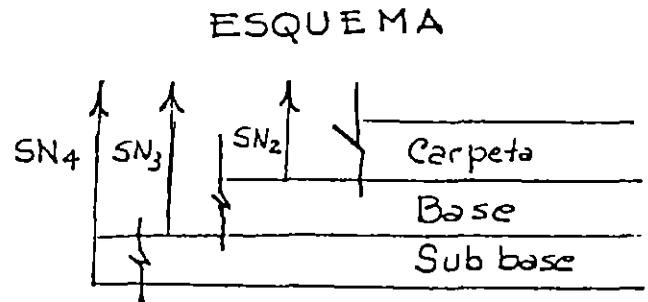
$D_3^* \geq \frac{SN_4 - SN_3}{a_3} \geq \frac{5.4 - 3.76}{0.11} \geq 14.9 \rightarrow 15 \text{ pulg}$

# EJEMPLOS DE APLICACION DEL 55-1 METODO AASHO

Caso 1. Determinar el espesor requerido de la estructura del pavimento para una vida de servicio inicial dada.

Datos:

Valor de soporte, S	
- Subrasante	3.0
- Sub base	6.0
- Base	9.0
EWL <sub>18</sub> para 20 años	$5.8 \times 10^6$
Diario	800
Coefficientes, a	1
- Concreto asfáltico, a <sub>1</sub>	0.44
- Base, a <sub>2</sub>	0.14
- Sub base, a <sub>3</sub>	0.11
- Factor regional R	1.50
- Índice de servicio final: 2.5	2.50



SOLUCION: Usando nomograma se obtienen los valores de 5.40, 3.72 y 2.46 para  $SN_4$ ,  $SN_3$ , y  $SN_2$  sobre subrasante, sub base y base respectivamente

Los espesores mínimos requeridos para la carpeta ( $D_1$ ), base ( $D_2$ ) y sub base ( $D_3$ ) a partir del esquema mostrado

$$D_1 \geq \frac{SN_2}{a_1} \geq \frac{2.46}{0.44} \geq 5.6'' \text{ (redondea a } 6''); SN_2 = a_1 D_1 = 0.44 \times 6 = 2.64$$

$$D_2 \geq \frac{SN_3 - SN_2}{a_2} \geq \frac{3.72 - 2.64}{0.14} \geq 7.7 (8''); SN_2 + SN_3 = 2.64 + 0.14 \times 8.0 = 3.76 \approx 3.7$$

$$D_3 \geq \frac{SN_4 - (SN_2 + SN_3)}{a_3} \geq \frac{5.40 - 3.76}{0.11} \geq 14.9 (15'')$$

DISEÑO FINAL DEL EJEMPLO:

Carpeta asfáltica	: 6"
Base granular	: 8"
Sub base granular	: 15"
<b>169 TOTAL :</b>	<b>29"</b>

Caso 2. Espesores alternativos de las capas

Carpeta 7, 5"

Base 7, 6"

Sub base 7, 12"

Dentro de las múltiples alternativas considerar las dos siguientes.

	Alternativa (1)	Alternativa (2)
Carpeta	5	5
Base	6	6
Sub base	12	18

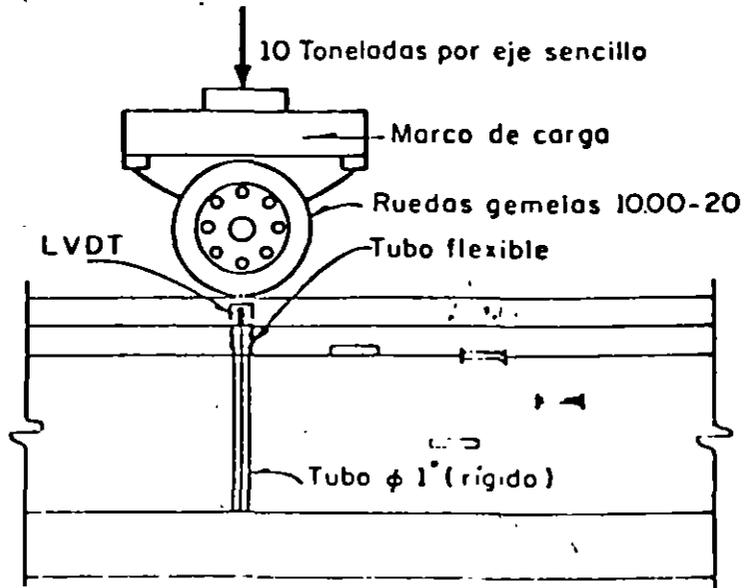
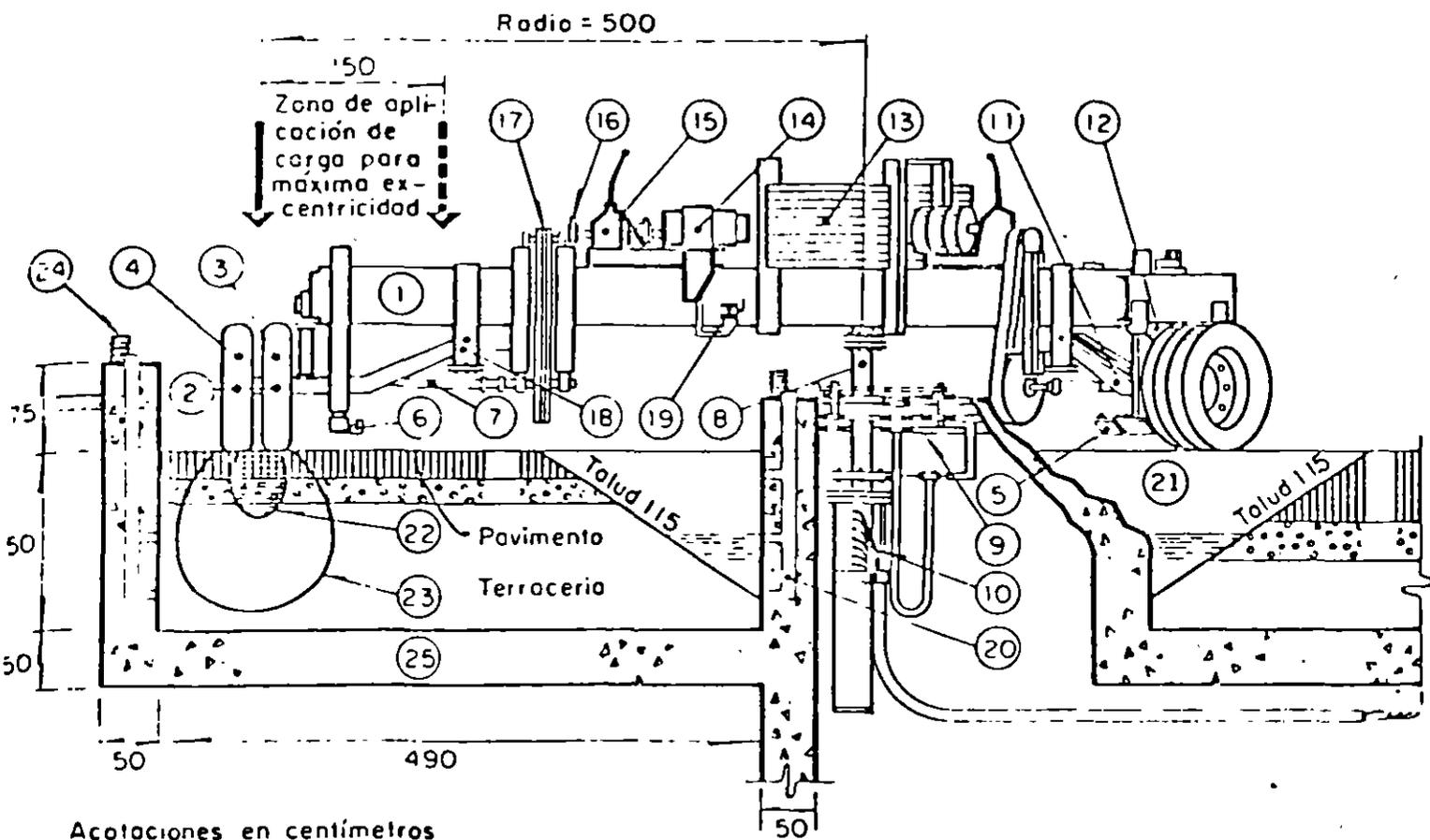
Utilizando el nomograma con los mismos datos del ejemplo anterior resulta

	Alternativa 1	Alternativa 2
SN <sub>2</sub>	2.20	2.20
SN <sub>3</sub>	3.04	3.04
SN <sub>4</sub>	4.36	5.02
Ejes equivalentes totales	$1.20 \times 10^6$	$3.0 \times 10^6$
Vida de servicio (a 800 ejes, diarias)	4.1 años	10.3 años

Comentario: Si la vida de servicio inicial hubiese sido establecida digamos 8 años, la alternativa 1 debe rechazarse y la alternativa 2 como muchas otras, no calculadas, se considerarían como alternativas factibles y podrían figurar en la evaluación económica para elegir la mejor.

# CARACTERISTICAS DEL METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA

- 1.-SECCION ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA RELATIVA UNIFORME.
- 2.-COMPORTAMIENTO A FATIGA DE LAS DIFERENTES CAPAS.
- 3.-CRITERIO DE FALLA FUNCIONAL, EN TERMINOS DE DEFORMACIONES PERMANENTES ACUMULADAS.
- 4.-COEFICIENTES DE DAÑO EN TERMINOS DE ESFUERZOS A DIFERENTES PROFUNDIDADES.
- 5.-TRATAMIENTO PROBABILISTICO PARA ESTABLECER NIVELES DE CONFIANZA RESPECTO A LA FALLA.



▬ Celdas SR-4  
 □ Celdas de presión

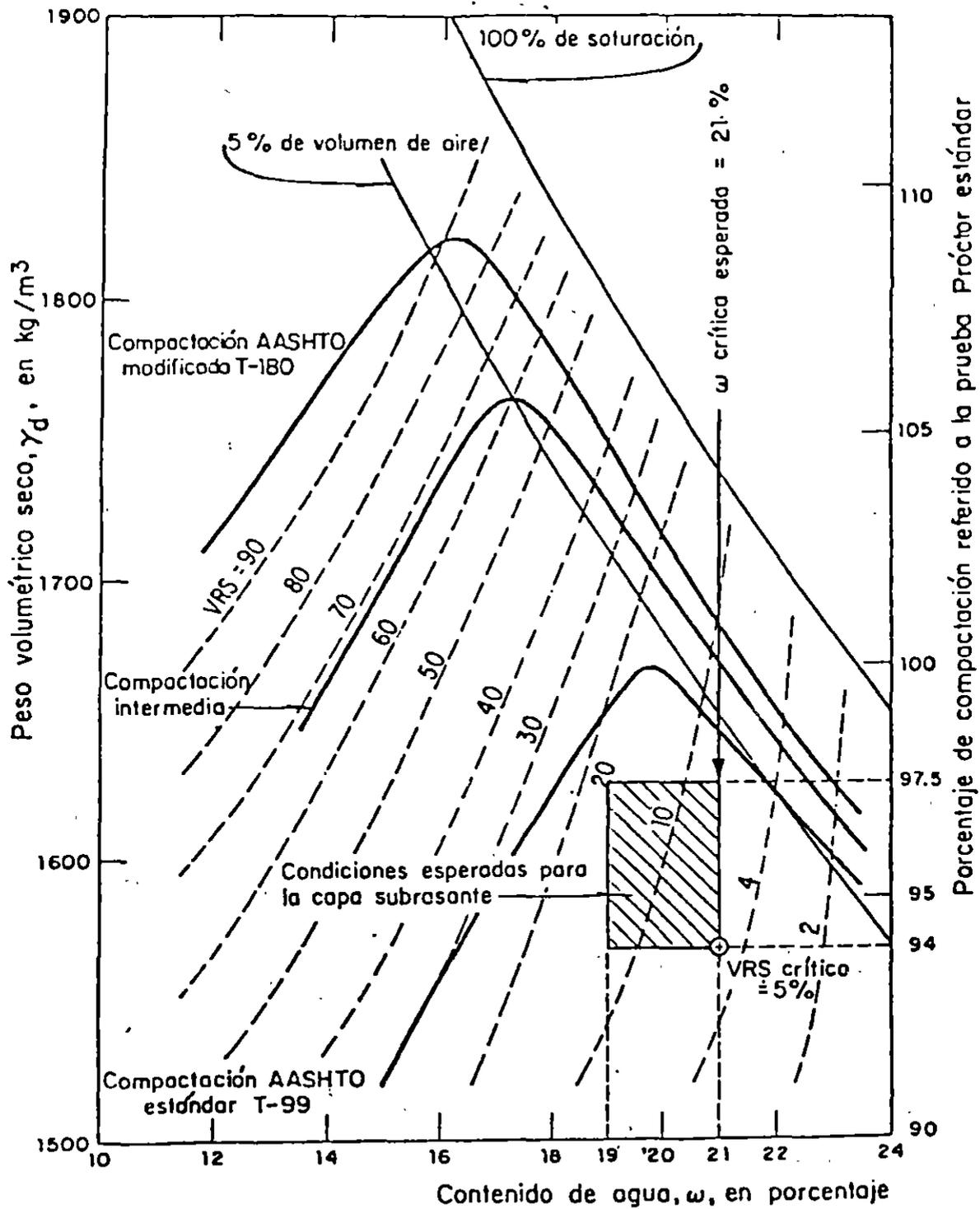
## VARIABLES DE DISEÑO

- VALOR RELATIVO SOPORTE CRITICO ESPERADO EN EL LUGAR DURANTE LA VIDA DE SERVICIO.

$$(\widehat{VRS}_z)$$

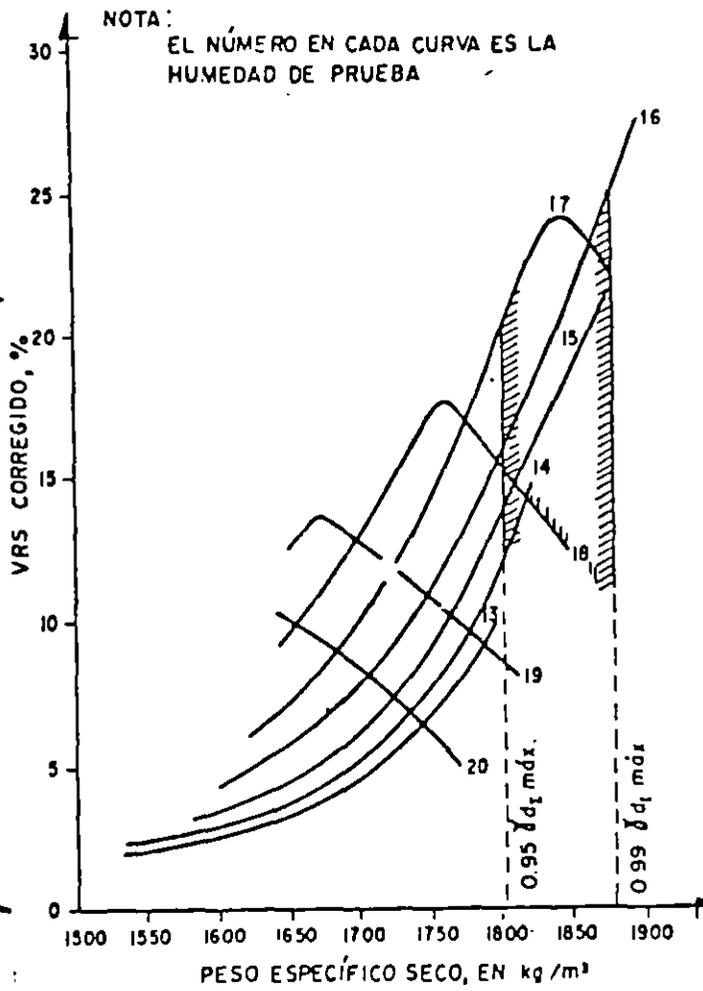
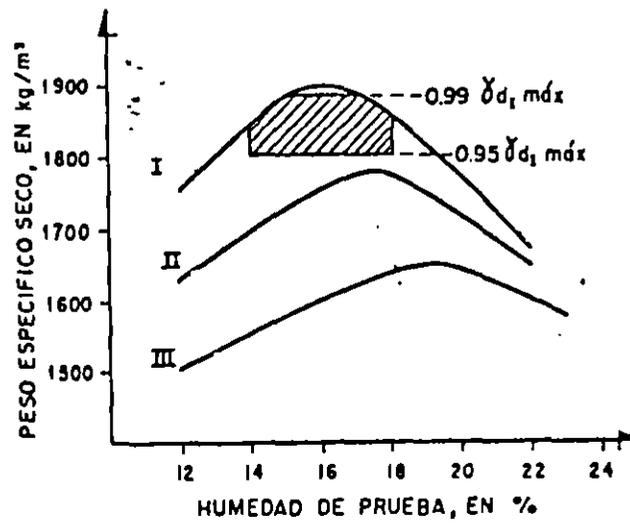
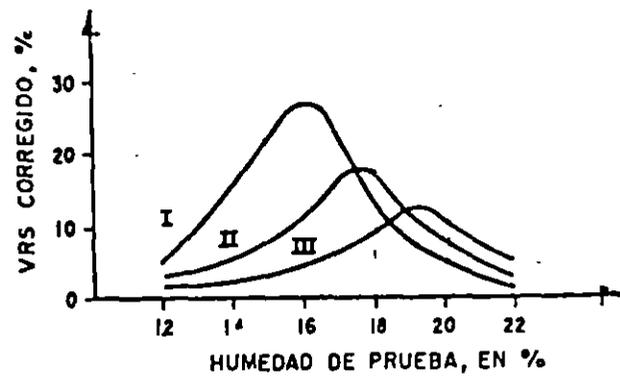
- NUMERO DE APLICACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO ( $\Sigma L$ ).

- NIVEL DE CONFIANZA ( $Q_u$ ).



Suelo arcilloso (CL)

Fig 4. Ejemplo: relaciones peso volumétrico seco - contenido de agua - VRS, para un suelo arcilloso (ref 8)



METODO CUERPO DE INGENIEROS

175

136

95/

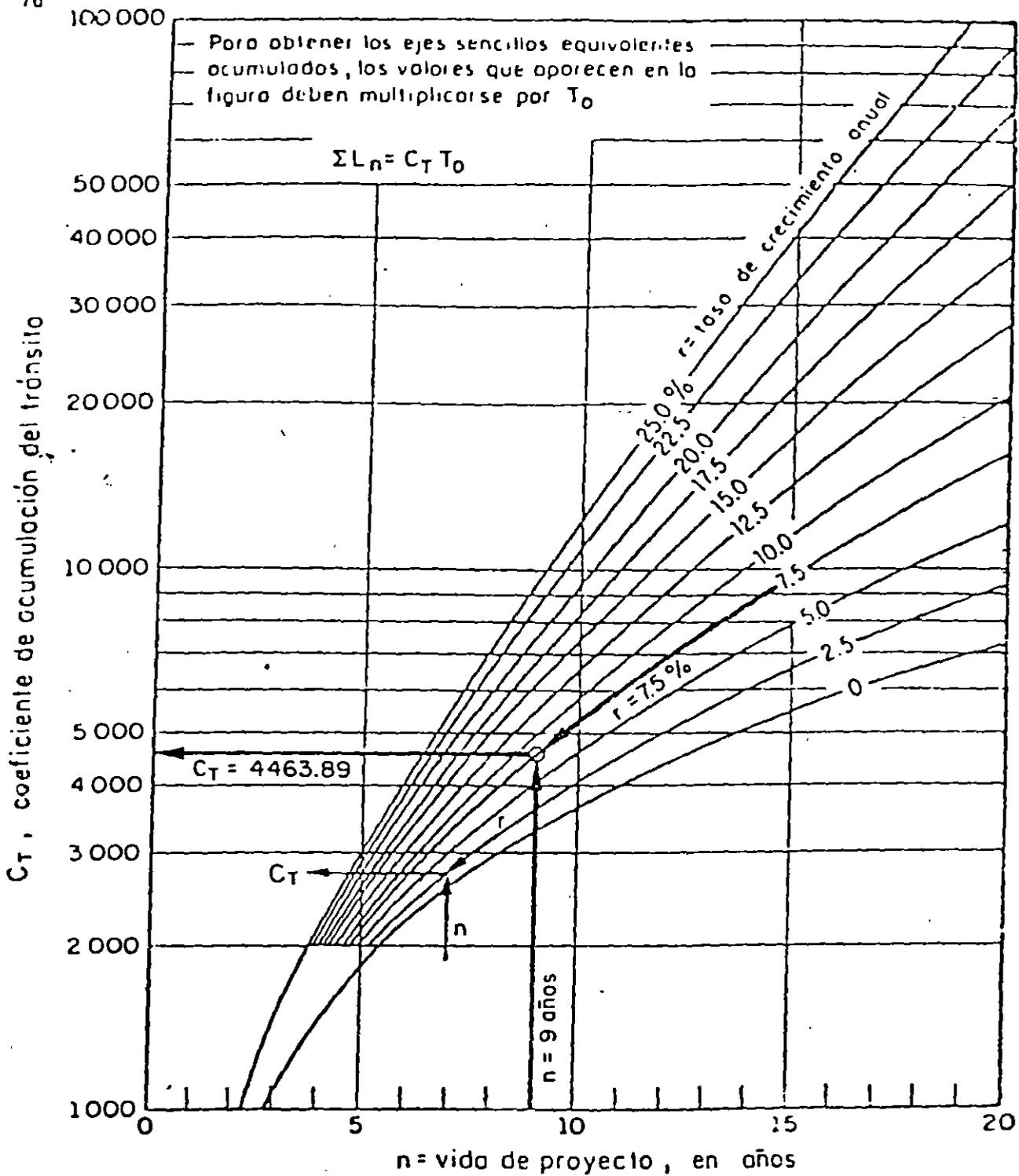
TABLA 1. VALOR RELATIVO DE SOPORTE CRITICO ESTIMADO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS, SOBRE SUBRASANTES COMPACTADAS A 95 POR CIENTO DEL PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO PROCTOR ESTANDAR\*

Profundidad del nivel freático con relación al nivel de la capa considerada**, en m	$\widehat{VRS}_Z$ , en porcentaje, mínimo probable***					
	Arena no plástica	Arcilla arenosa IP = 10	Arcilla arenosa IP = 20	Arcilla limosa IP = 30	Arcilla activa IP $\geq$ 40	Limo
0.6	8-10	5-6	4-5	3-4	2-3	1
1.0	25	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3
1.5	25	8-10	6-8	5-6	3-4	
2.0	25	8-10	7-9	5-6	3-4	
2.5	25	8-10	8-10	6-8	4-5	
3.0	25	25	8-10	7-9	4-5	
3.5	25	25	8-10	8-10	4-5	
5.0	25	25	8-10	8-10	5-6	
7.0	25	25	8-10	8-10	7-9	

\* Adaptación de la tabla 2 de "Road Note 31", tercera edición, Transport and Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1977 (ref 8).

\*\* De acuerdo con la variación estacional debe elegirse el nivel freático más alto

\*\*\* Esta tabla se incluye únicamente con carácter cualitativo, y se refiere a  $\widehat{VRS}_Z$  mínimos. En todos los casos se deben realizar pruebas de campo y ensayos de laboratorio para estimar el valor de diseño. El mínimo probable corresponde al caso de subrasantes colocadas bajo pavimentos impermeables.



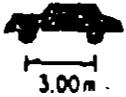
$$C_T = 365 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

$C_T$ , coeficiente de acumulación del tránsito, para  $n$  años de servicio y una tasa de crecimiento anual  $r$

$T_0$ , tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto, durante el primer año de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

$\Sigma L_n$ , tránsito acumulado al cabo de  $n$  años de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

Fig 6. Ejemplo: gráfica para estimar el coeficiente de acumulación del tránsito



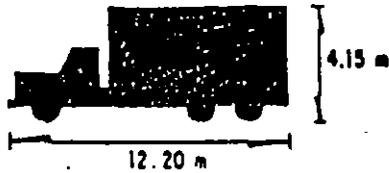
## A2 Automóvil

Conjunto	Peso, en ton		$p, \text{kg/cm}^2$	$+d_m = \text{Coeficiente daño bajo carga máxima}$				$d_v = \text{Coeficiente de daño vacío}$				
	+Carga máxima	Vacío		$z = 0$	$z = 15$	$z = 30$	$z = 60$	$z = 0$	$z = 15$	$z = 30$	$z = 60$	
Camino A, B, C	1*	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
	2*	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
	$\Sigma$	2.0	1.6		0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000

321 + Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE-TRIPLE

Fig E.1

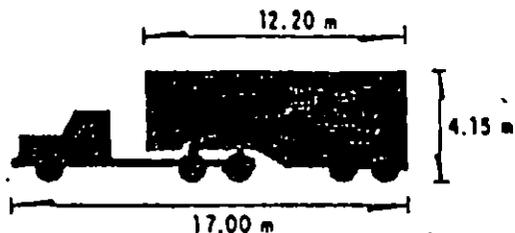


### C3 Camión de tres ejes

	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máximo	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
Camino A	1 <sup>*</sup>	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2 <sup>**</sup>	18.0	4.5	5.0	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.028	0.003	0.002
	Σ	23.5	8.5		3.000	2.817	2.457	2.940	3.000	0.154	0.039	0.023
Camino B	1 <sup>*</sup>	5.0	3.8	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.106	0.028	0.015
	2 <sup>**</sup>	15.0	4.2	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.021	0.002	0.001
	Σ	20.0	8.0		3.000	1.876	1.178	1.160	3.000	0.127	0.030	0.017
Camino C	1 <sup>*</sup>	4.0	3.5	5.4	0.666	0.107	0.034	0.021	0.666	0.068	0.018	0.010
	2 <sup>**</sup>	14.0	4.0	5.4	1.333	1.083	0.722	0.735	1.333	0.015	0.002	0.001
	Σ	18.0	7.5		1.999	1.190	0.756	0.756	1.999	0.083	0.020	0.011

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE



**T3-S2**

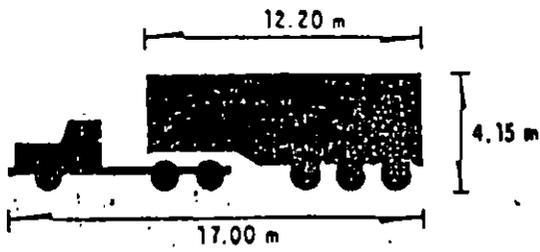
Tractor de tres ejes con  
semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	$+d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	
Camino A	1 <sup>*</sup>	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2 <sup>**</sup>	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	3 <sup>***</sup>	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	$\Sigma$	41.50	12.0		5.000	5.285	4.747	5.761	5.000	0.150	0.040	0.023
Camino B	1 <sup>*</sup>	5.0	3.5	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.019	0.010
	2 <sup>**</sup>	15.0	4.0	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	3 <sup>**</sup>	15.0	4.0	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	$\Sigma$	35.0	11.5		5.000	3.491	2.250	2.249	5.000	0.113	0.023	0.012

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE

Fig E.11



**T3-S3**

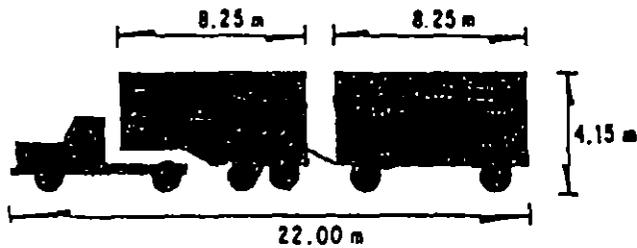
Tractor de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
	1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	3***	22.5	5.0	5.8	3.000	2.422	2.289	2.818	3.000	0.011	0.002	0.001
		46.0	13.0		6.000	5.239	4.746	5.758	6.000	0.154	0.040	0.023

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE

Fig E.12



T2-S2-R2

Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	+ $d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	
Camino A	1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2*	10.0	4.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.126	0.036	0.021
	3**	18.0	3.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.009	0.001	0.000
	4*	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001
	5*	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001
	Σ	53-5	16.0		6.000	7.440	9.327	11.400	6.000	0.289	0.077	0.044

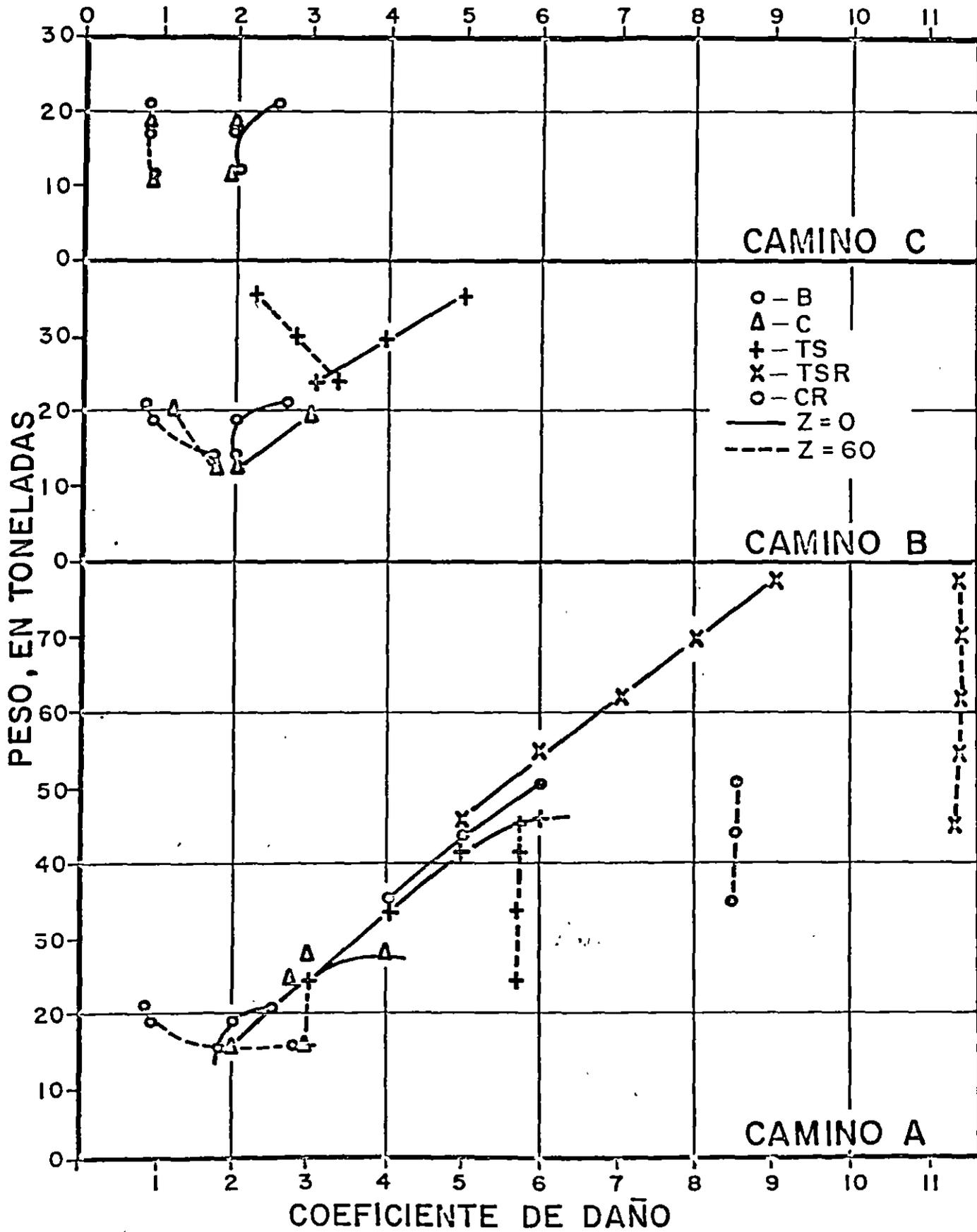
+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE

Fig E.17

FIG 1.- COEFICIENTES DE DAÑO DE LOS VEHICULOS PERMITIDOS EN LOS CAMINOS A, B y C.

68



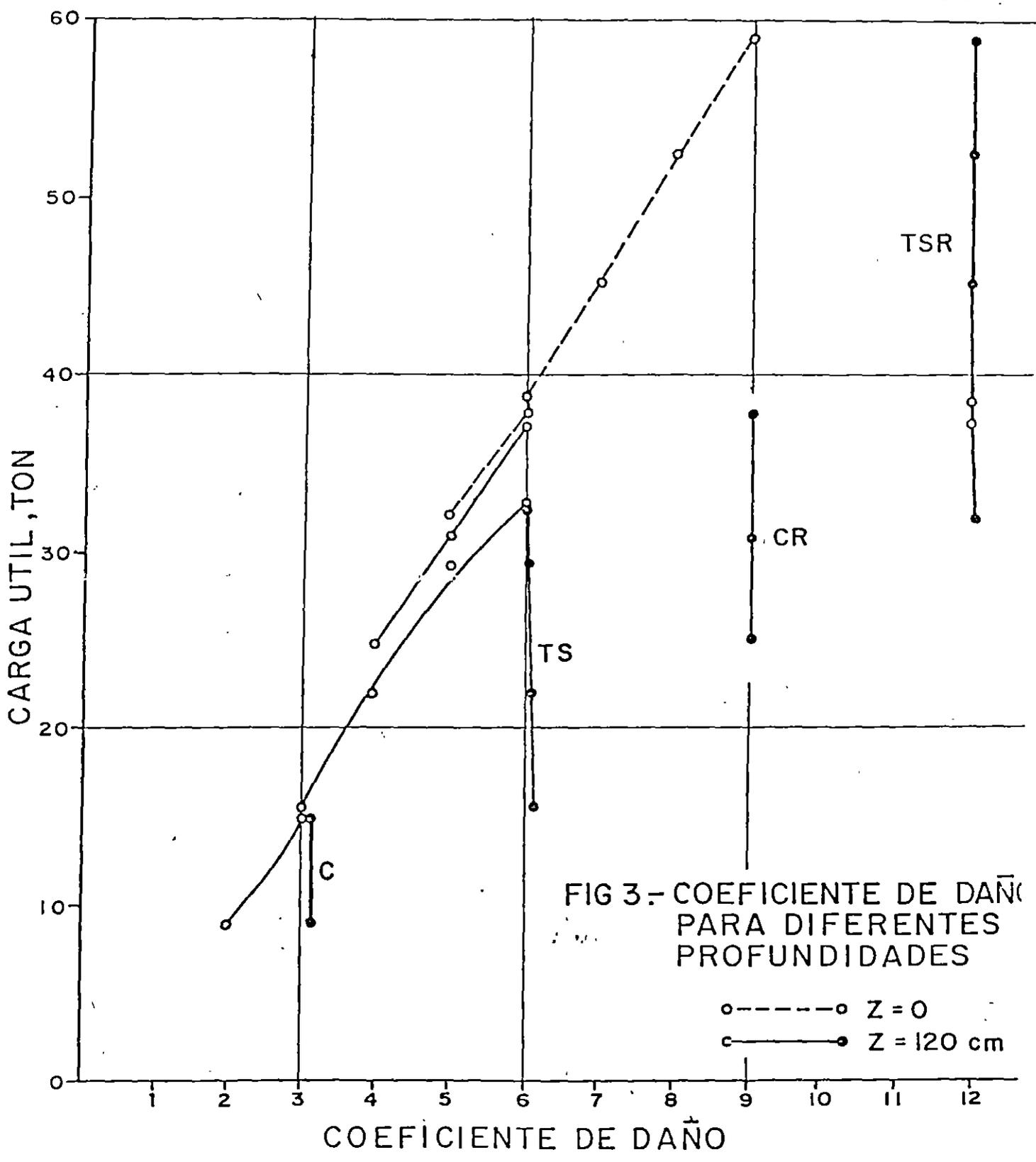


FIG 3.- COEFICIENTE DE DAÑO PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES

o-----o Z = 0  
c-----o Z = 120 cm

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO ①	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS ②		COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS ③ = ① × ②	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 ton	
		CARGADOS	VACIOS		CARPETA Y BASE Z' 0 ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z' 30 ⑤	CARPETA Y BASE ⑥ = ③ × ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS ⑦ = ③ × ⑤
A2	0.339	CARGADOS	1.0	0.339	0.004	0.000	0.001	0.000
		VACIOS	0.0	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
A'2	0.144	CARGADOS	0.6	0.086	0.536	0.023	0.046	0.002
		VACIOS	0.4	0.058	0.536	0.000	0.031	0.000
B2	0.097	CARGADOS	0.8	0.078	2.000	1.589	0.156	0.124
		VACIOS	0.2	0.019	2.000	0.360	0.038	0.007
C2	0.274	CARGADOS	0.7	0.192	2.000	1.589	0.384	0.305
		VACIOS	0.3	0.082	2.000	0.018	0.164	0.001
C3	0.072	CARGADOS	0.9	0.065	3.000	1.178	0.195	0.077
		VACIOS	0.1	0.007	3.000	0.030	0.021	0.000
T2-S1	0.025	CARGADOS	0.7	0.018	3.000	3.072	0.054	0.055
		VACIOS	0.3	0.007	3.000	0.027	0.021	0.000
T2-S2	0.049	CARGADOS	0.9	0.044	4.000	2.661	0.176	0.117
		VACIOS	0.1	0.005	4.000	0.033	0.020	0.000
SUMAS	1.000	—	7.0	1.000	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO ⑧	1.307	0.688	
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$					TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO ⑨	250	250	
n = AÑOS DE SERVICIO = 9					$C_T$ ⑩	4463.89	4463.89	
T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = 7.5 %								
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 500		CD CARRIL PROYECTO = 0.5		$\Sigma L$ ⑪ = ⑧ × ⑨ × ⑩		1458 578	767 790	

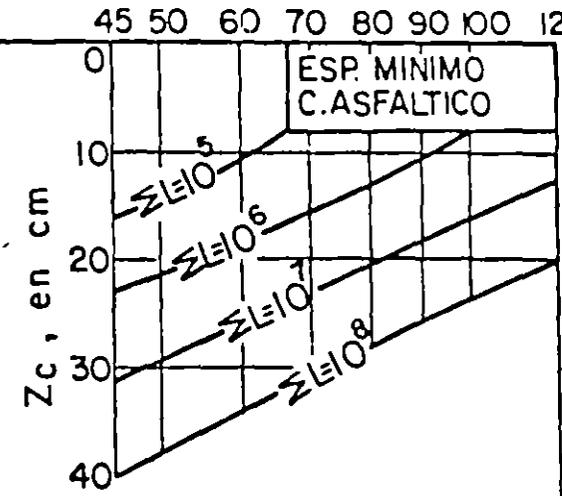
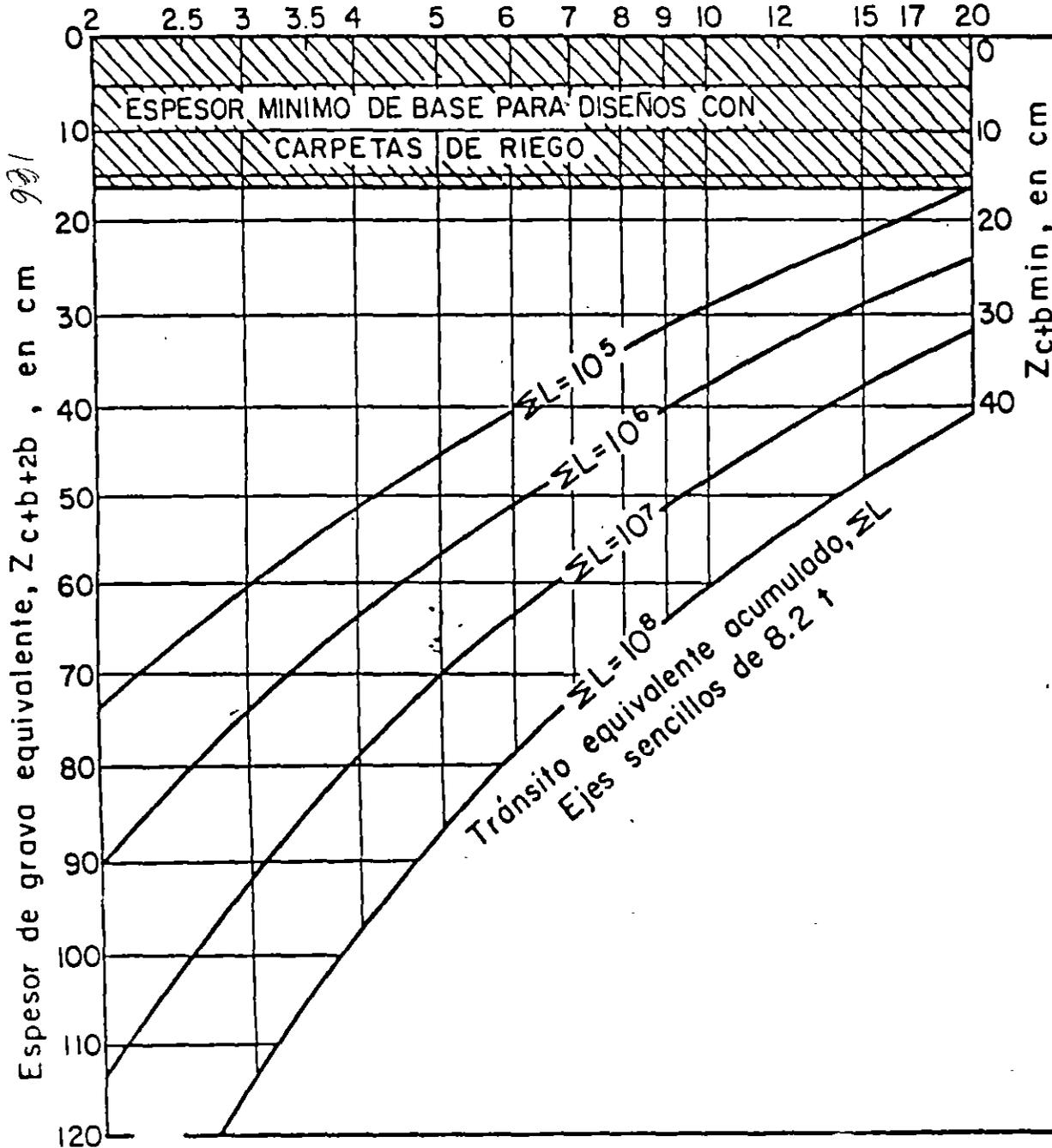
Fig 5. Ejemplo: cálculo del tránsito equivalente acumulado ( $\Sigma L$ )

76

# VALOR RELATIVO DE SOPORTE DISEÑO, $\widehat{VRS}$ , EN PORCIENTO

a nivel de sub-base y/o capas inferiores

$\widehat{VRS}$  crítico de la base



NIVEL DE RECHAZO	NIVEL DE CONFIANZA
2.5	$Q_U = 0.9$

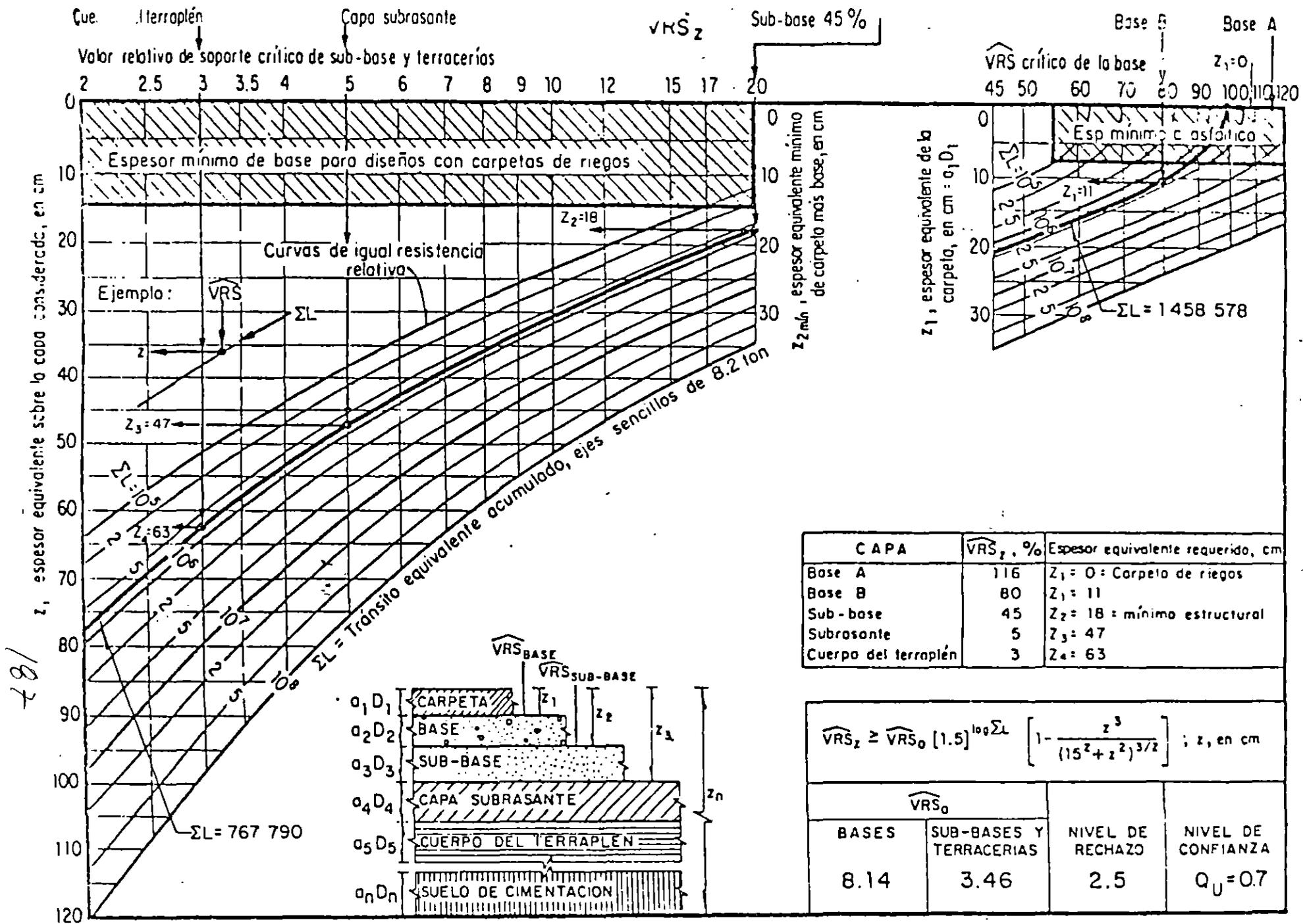
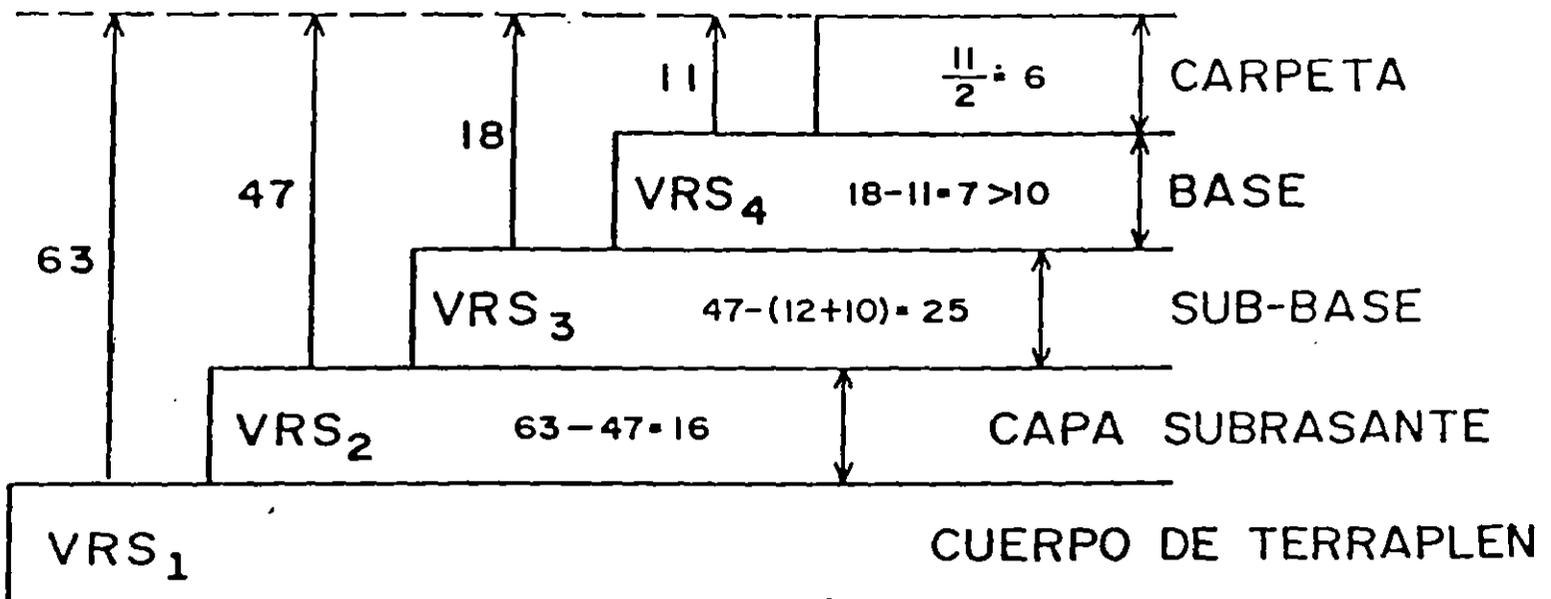


Fig 7. Ejemplo: gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

ESPESOR MINIMO EQUIVALENTE, ES  
ES EL QUE RESULTE MAYOR DE:

- 8 Cm. EN CARPETA O 10 Cm. EN CUALQUIER  
CAPA .
- 15 Cm. EN BASE SI LA CARPETA ES DE RIEGOS.
- EL ESPESOR PARA  $VRS=20$ , PARA ESPESOR  
COMBINADO DE BASE Y CARPETA.
- EL QUE FIJE EL ANALISTA A SU JUICIO.

# ESQUEMA DE APLICACION DEL METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA



# EJEMPLO METODO INSTITUTO DE INGENIERIA

76

## DATOS

CARRETERA SECUNDARIA, BUEN CONTROL, CONSERVACION

NIVEL DE CONFIANZA = 0.70

TRANSITO  $\Sigma L = 1.5 \times 10^6, Z = 0$

$\Sigma L = 0.8 \times 10^6, Z = 30$

MATERIALES	$\overline{VRS}_Z$	V	$\widehat{VRS}_Z$
GRAVA NATURAL	100	0.25	80
ARENA ARCILLOSA	60	0.30	45
ARCILLA SUBRASANTE	--	--	5
ARCILLA TERRAPLEN	--	--	3

$$\widehat{VRS}_Z = \overline{VRS}_Z (1 - 0.84V)$$

## DIMENSIONAMIENTO

CAPA	ESPESOR EQUIV. SOBRE CAPA(cm)	ESPEORES REALES (cm)
CARPETA		$11/2 = 5.5 \text{ ----} > 6$
GRAVA NATURAL (BASE)	11	$18 - 11 = 7 \text{ ----} > 10$
ARENA ARCILLOSA (SUBBASE)	18	$47 - (12 - 10) \text{ ----} > 25$
ARCILLA SUBRASANTE	47	$63 - 47 \text{ ----} > 16$
ARCILLA TERRAPLEN	63	

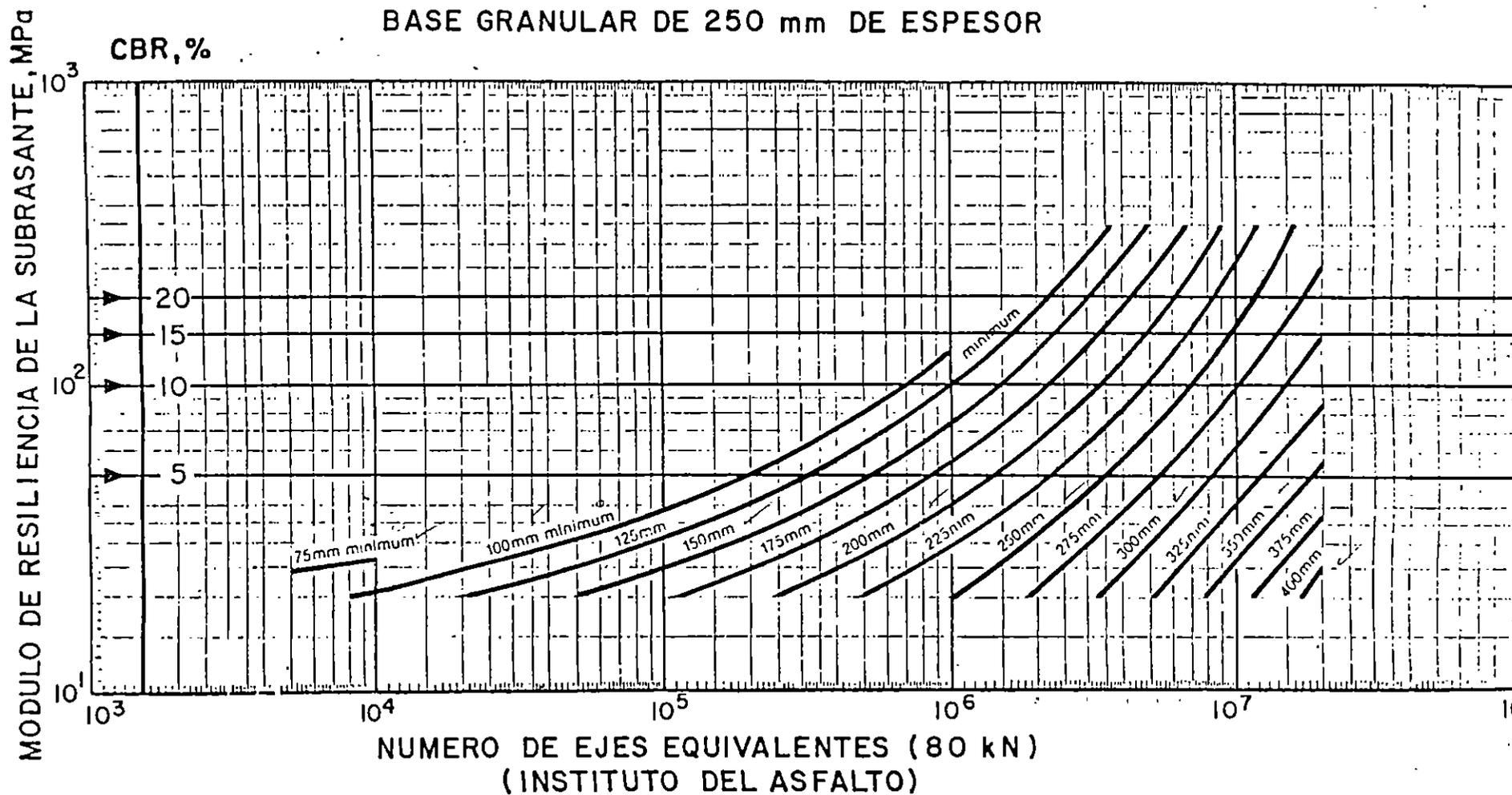


FIG. 8.- GRAFICA DE DISEÑO PARA CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES GRANULARES

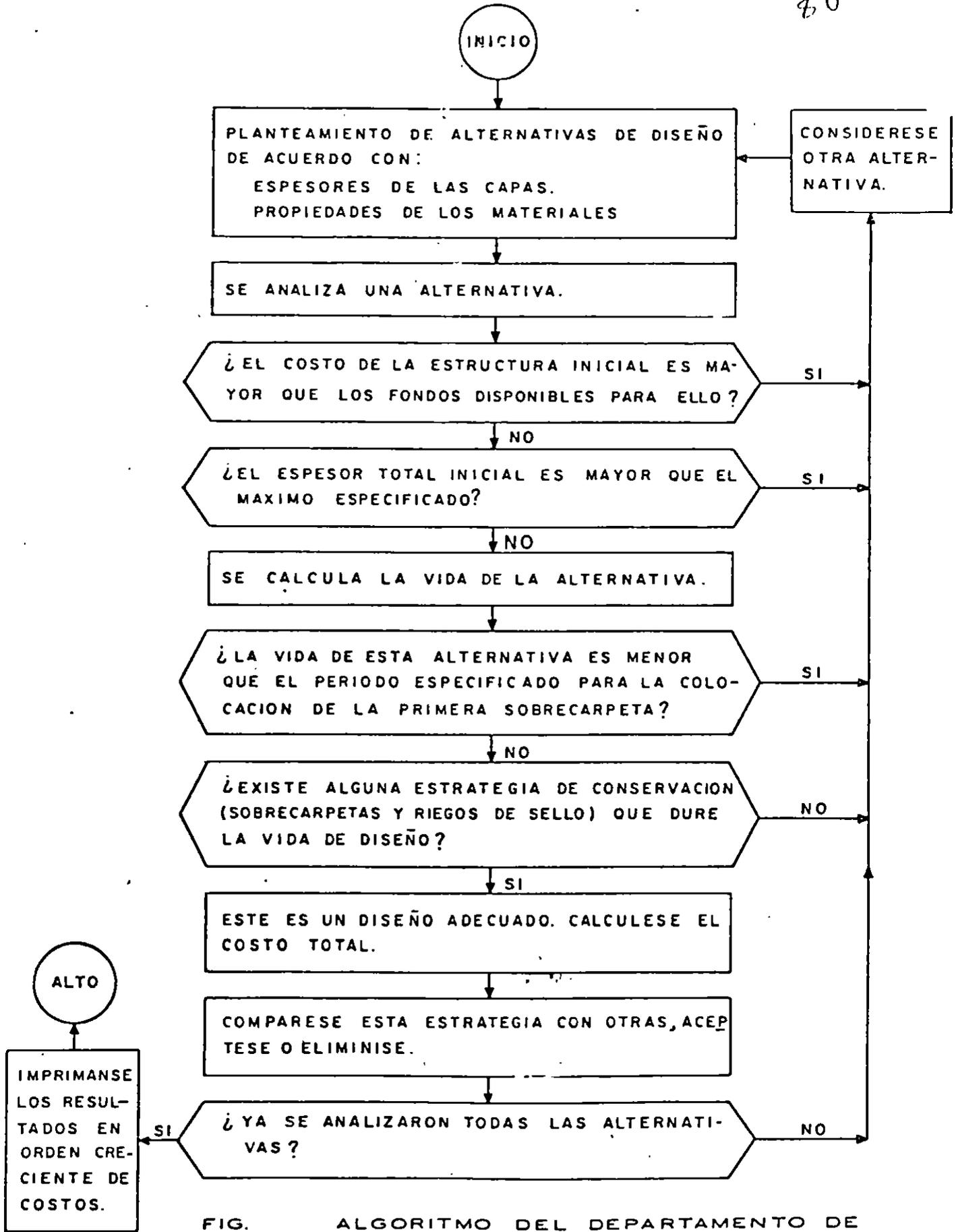


FIG. ALGORITMO DEL DEPARTAMENTO DE CARRETERAS DE TEXAS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

ALGUNOS FACTORES QUE DEBEN SER CONSIDERADOS PARA  
LA ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS.

- PERFIL DE TRANSITO
- NIVEL DE MANTENIMIENTO
- COSTO DE OPERACION
- CONFIABILIDAD
- CALIDA DE RODAMIENTO
- NIVEL DE CONSISTENCIA
- DISPONIBILIDAD DE MATERIALES
- DISPONIBILIDAD DE FONDOS
- PROCEDIMIENTOS Y CONTROL DE LA CONSTRUCCION
- PROBLEMAS ESPECIFICOS

ELEMENTO	ESPEORES, cm (ESPAÑA)						MEXICO
CONCRETO HIDRAU- LICO						28	
CAPAS ASFALTICAS	30	27	15	8	35		10
BASE DE AGREGA - DOS GRANULARES	25						20
SUELO CEMENTO		20	20	20			
BASE TRATADA CON CEMENTO			22			15	
CONCRETO RODI - LLADO				25			

TRANSITO : MAS DE 200 VEHICULOS PESADOS POR DIA  
 CBR SUBRASANTE : 20 %

TABLA 3.- ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS PROPUESTAS  
 PARA AUTOVIAS

194

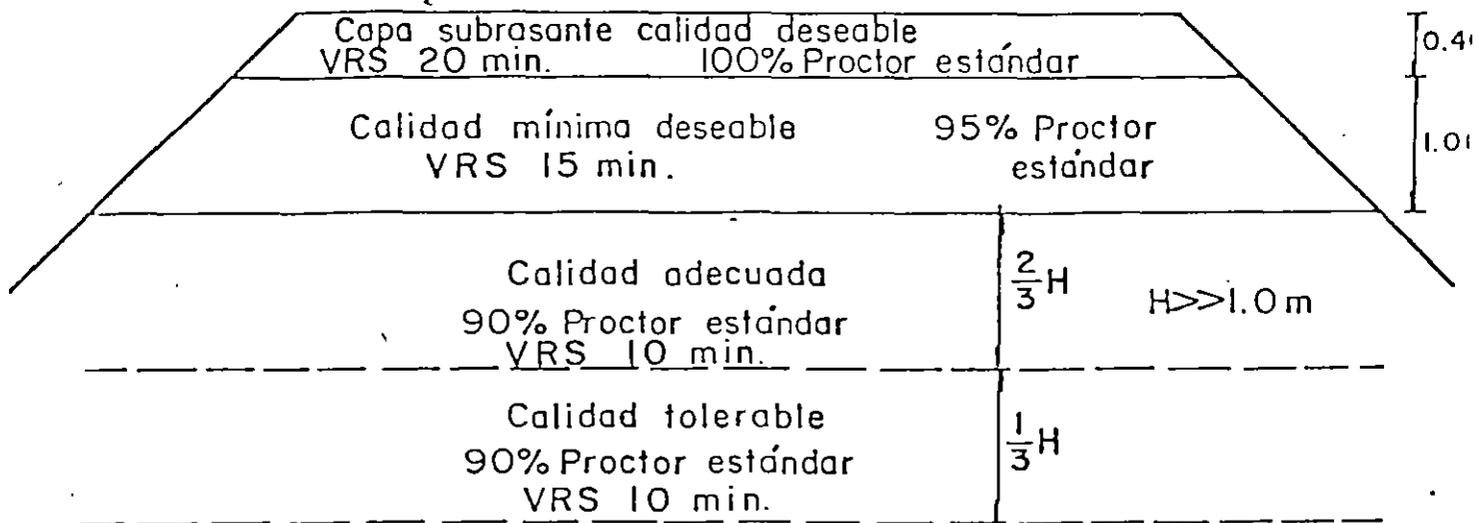
OBRA VIAL TIPO	C A R A C T E R I S T I C A
I	DEBEN TENER CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO O HIDRAULICO
II	CON EL TIEMPO REQUERIRAN CARPETA DE CON-- CRETO ASFALTICO O HIDRAULICO
III	REQUIEREN SOLAMENTE UN TRATAMIENTO ASFAL- TICO SUPERFICIAL
IV	REQUIEREN DE UN REVESTIMIENTO SUPERFICIAL

## ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS

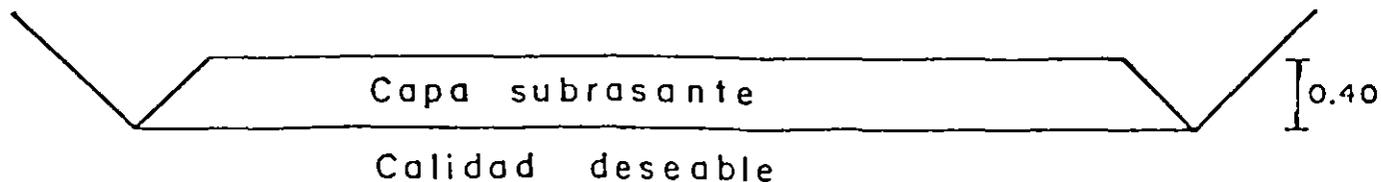
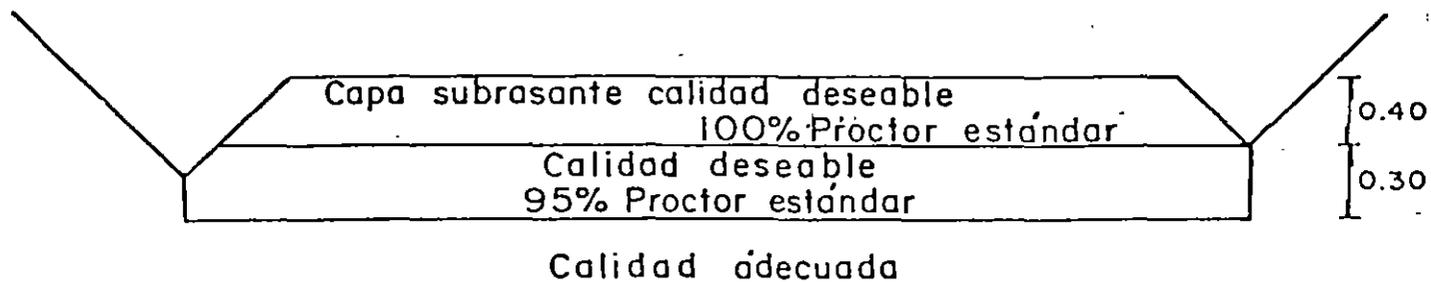
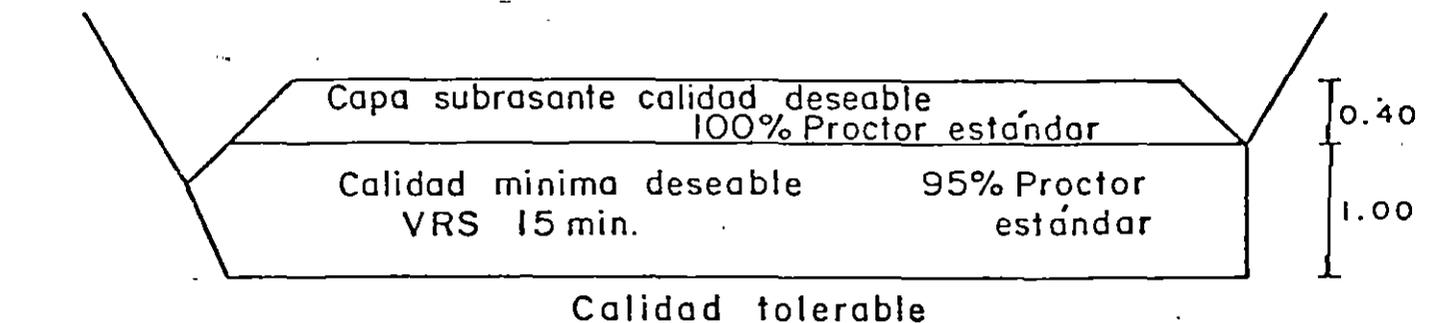
C A P A	ESPESOR MINIMO Y CALIDAD SEGUN TIPO DE VIALIDAD, CM			
	I	II	III	IV
CARPETA	7 - 10 DESEABLE	5 ADECUADA	RIEGOS ADECUADA	--
BASE	15 DESEABLE	15 DESEABLE	15 ADECUADA	--
SURBASE	15 DESEABLE	15 DESEABLE	15 ADECUADA	15 ADECUADA
REVESTIMIENTO	--	--	--	15 ADECUADA
CAPA SUBRASANTE	40 DESEABLE	40 ADECUADA	40 TOLERABLE	30 TOLERABLE

# VIALIDAD TIPO 1

## TERRAPLEN

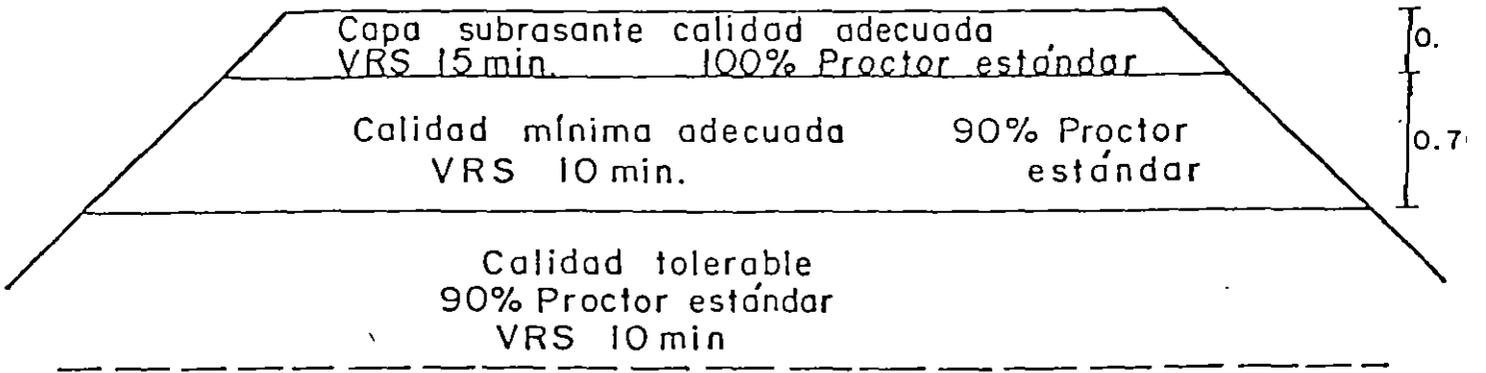


## CORTE

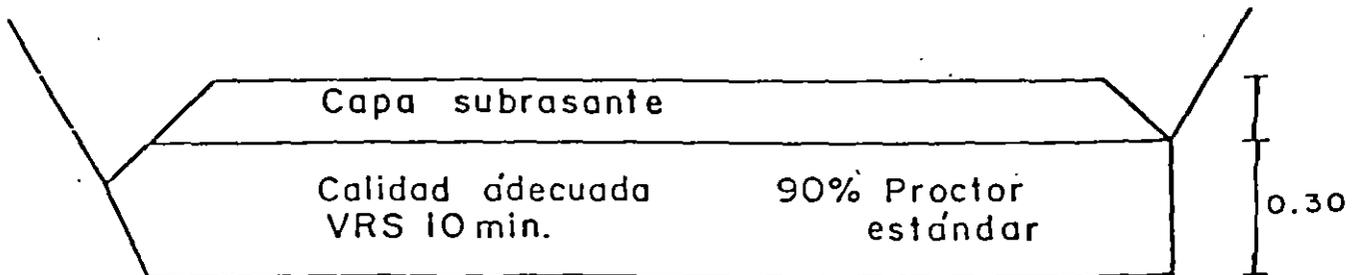
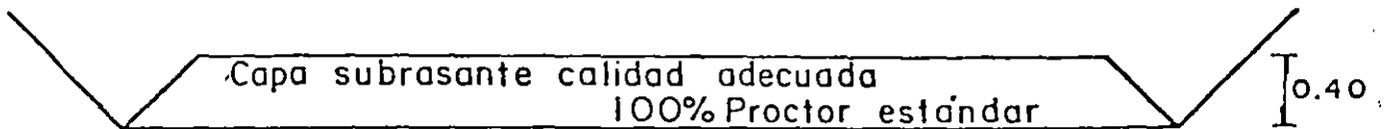
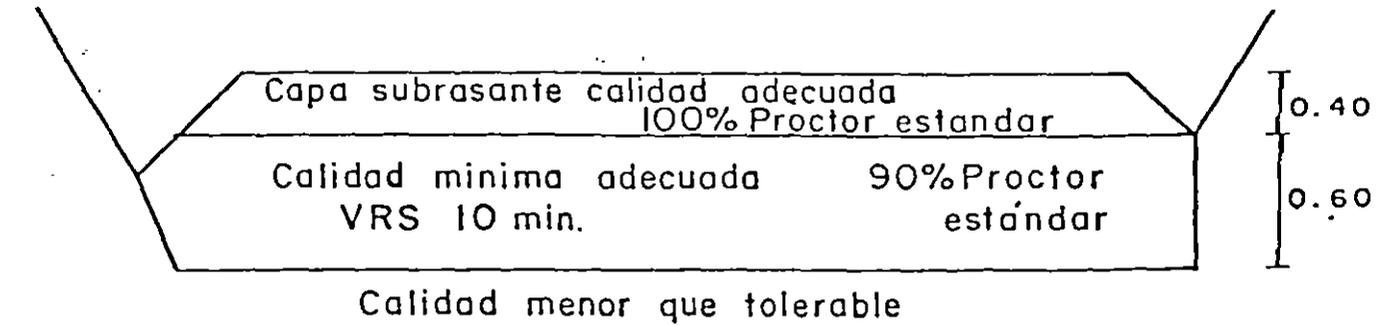


# VIALIDAD TIPO II

## TERRAPLEN

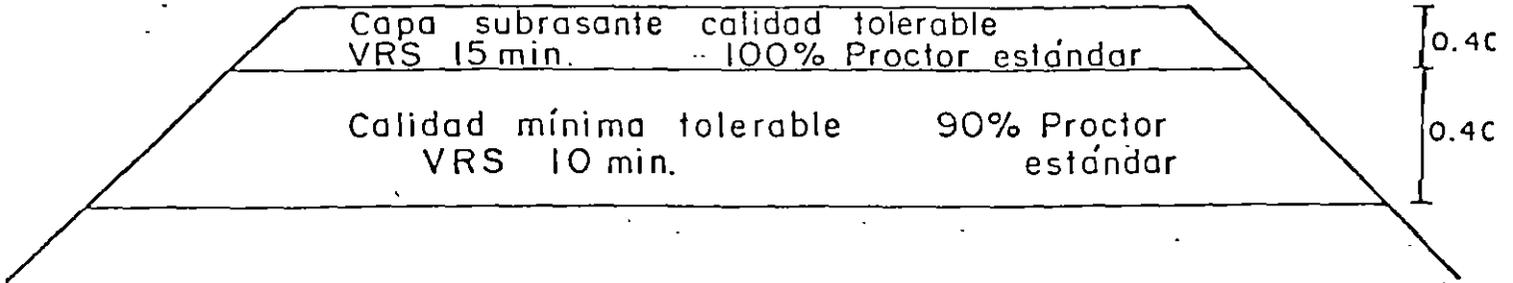


## CORTE

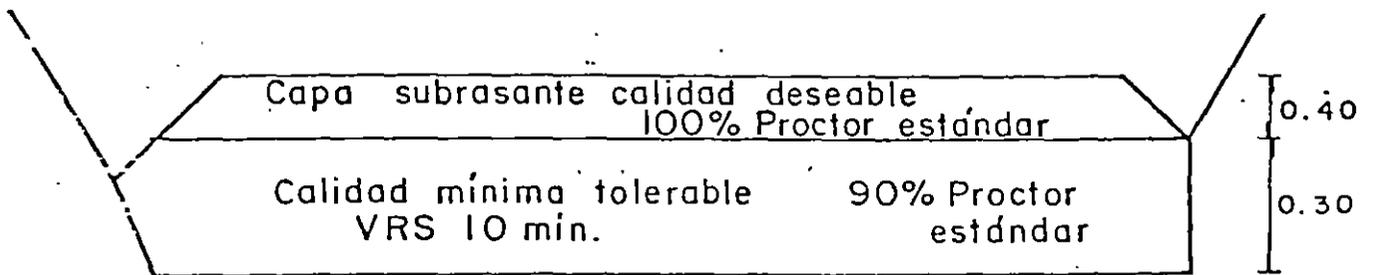


# VIALIDAD TIPO III

## TERRAPLEN



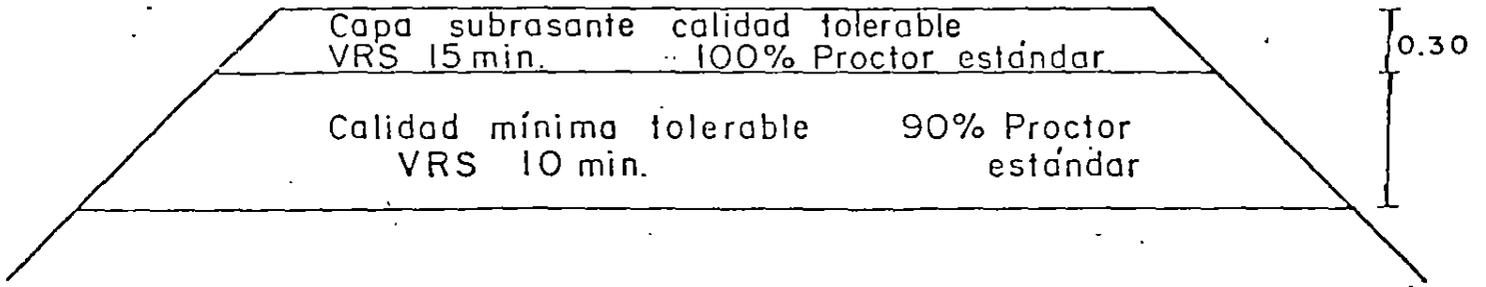
## CORTE



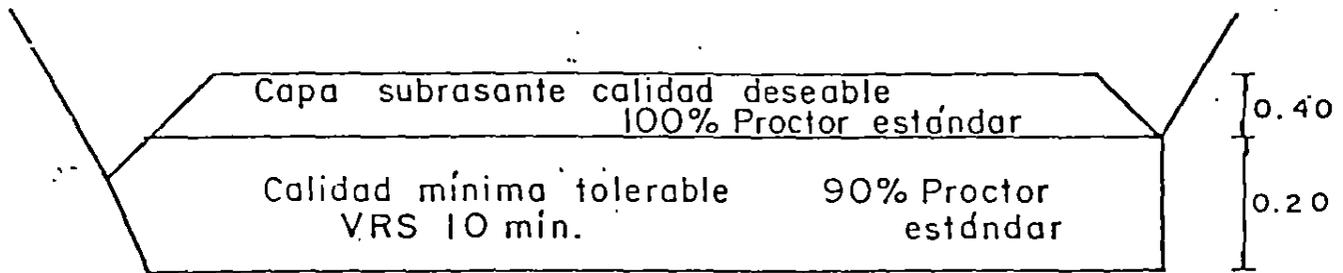
Calidad menor que tolerable

# VIALIDAD TIPO IV

## TERRAPLEN



## CORTE



Calidad menor que tolerable

1.00

TABLA 1  
TERRACERIAS

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADO	TOLERABLE
GRANULOMETRIA ( mm )	80% MAT. < 75 95% MAT. < 200	80% MAT. < 750	-
TAMAÑO MAXIMO ( mm )	-	1500	2000
% FINOS (MAT. < 0.075 mm)	30 MAX	40 MAX	40 MAX
WL (%)	40 MAX	50 MAX	60 MAX
IP %	12 MAX	20 MAX	25 MAX
COMPACTACION ( % )	95 MIN AASHTO EST	90 MIN AASHTO EST	90 MIN AASHTO EST
C.B.R. ( % )	15 MIN	10 MIN	10 MIN
EXPANSION ( % )	-	-	3 MAX

TABLA 2  
SUBRASANTE

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
GRANULOMETRIA TAMAÑO MAXIMO ( mm )	76	76	76
% FINOS ( MAT. < 0.074 mm )	25 MAX	35 MAX	40 MAX
WL (%)	30 MAX	40 MAX	50 MAX
IP (%)	10 MAX	20 MAX	25 MAX
COMPACTACION ( % )	100 MIN AASHTO EST.	100 MIN AASHTO EST.	100 MIN AASHTO EST.
C.B.R. ( % )	20 MIN	15 MIN	15 MIN

TABLA 3  
SUB - BASES

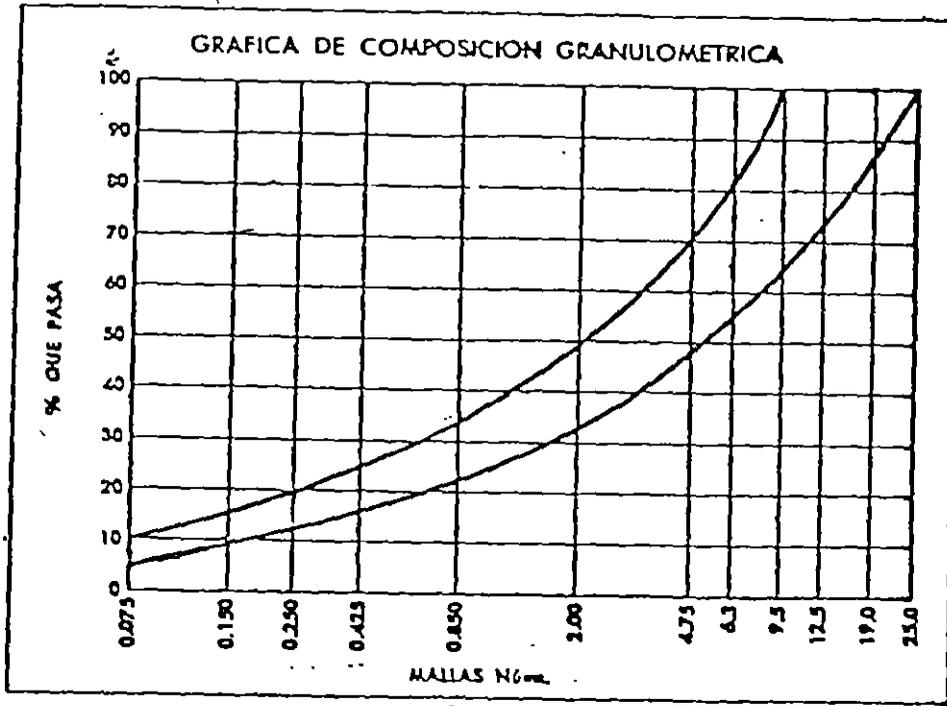
CALIDAD	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIMIENTO
GRANULOMETRIA TAMAÑO MAXIMO ( mm )	76	76	76
% FINOS (MATERIAL < 0.74 mm)	15 MAX	20 MAX	10 MAX
W.L. (%)	25 MAX	30 MAX	35 MAX
IP (%)	10 MAX	12 MAX	10 MAX
COMPACTACION (%) PRUEBA:	100 MIN AASHTO MOD.	100 MIN AASHTO MOD.	100 MIN AASHTO EST.
EQUIV. ARENA (%)	40 MIN	30 MIN	-
C.B.R. (%)	40 MIN	30 MIN	40 MIN
DESGASTE LOS ANGELES %	40 MAX	-	-
ZONA GRANULOMETRICA	1 - 2	1 a 3	1 a 3

TABLA 4  
BASES

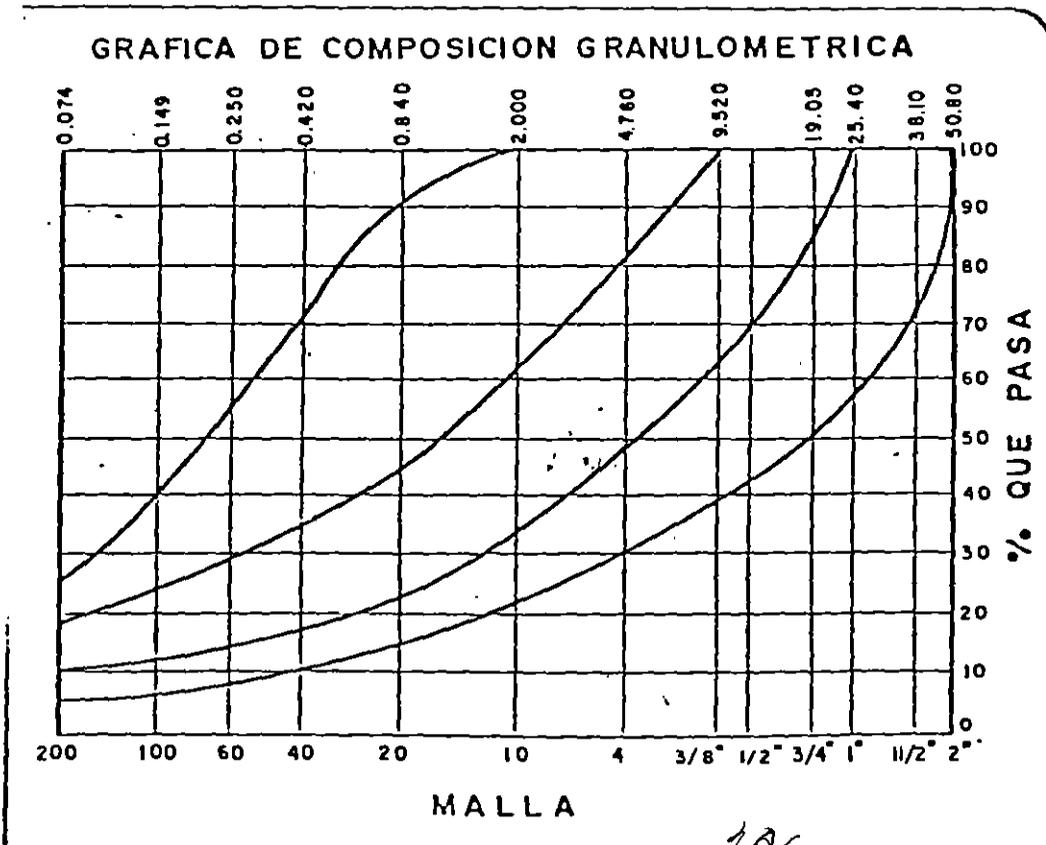
CALIDAD	DESEABLE	ADECUADA
GRANULOMETRIA TAMAÑO MAXIMO (mm)	50	50
% FINOS (MAT. < 0.074mm)	10 MAX	15 MAX
WL (%)	25 MAX	30 MAX
IP (%)	6 MAX	6 MAX
COMPACTACION (%)	100 MIN AASHTO MOD	100 MIN AASHTO MOD.
EQUIV. ARENA (%)	50 MIN	40 MIN
C.B.R. (%)	100 MIN	80 MIN
DESGASTE LOS ANGELES (%)	40 MAX	40 MAX
ZONA GRANULOMETRICA	1 Y 2	1 y 2

TABLA 5  
CARPETA ASFALTICA

CALIDAD	DESEABLE	ADECUADA
GRANULOMETRIA TAMAÑO MAXIMO (mm)	25	25
% FINOS (MAT. < 0.074 mm)	4 MAX	8 MAX
W.L. (%)	—	—
I.P. (%)	0	5 MAX
EQUIV. ARENA (%)	60 MIN	55 MIN
DESGASTE LOS ANGELES (%)	30 MAX	40 MAX
% PARTICULAS ALARGADAS	25 MAX	50 MAX



CONCRETO ASFALTICO



206

## PAVIMENTOS I, 1995

### B I B L I O G R A F I A

- PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. E.J. YODER, M.W. WITCZAK. JOHN WILEY AND SONS. 1975.
- SECCIONES DE FIRME. INSTRUCCION 6.1-I.C. Y 6.2-I.C. MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. MADRID, ESPAÑA, 1990.
- PAVIMENTOS ASFALTICOS. J.R. MARTIN, H.A. WALLACE. AGUILAR, S.A. DE EDICIONES, 1962.
- INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS. MANUAL 444. INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM MEXICO, 1980.
- MANUAL SERIES, ASPHALT INSTITUTE. USA.
- THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE PAVEMENTS. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, USA.
- AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION MANUALES PARA DISEÑO DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS.
- IMCYC SEMINARIO INTERNACIONAL PAVIMENTOS DE CONCRETO.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS  
DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

**"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS I "**

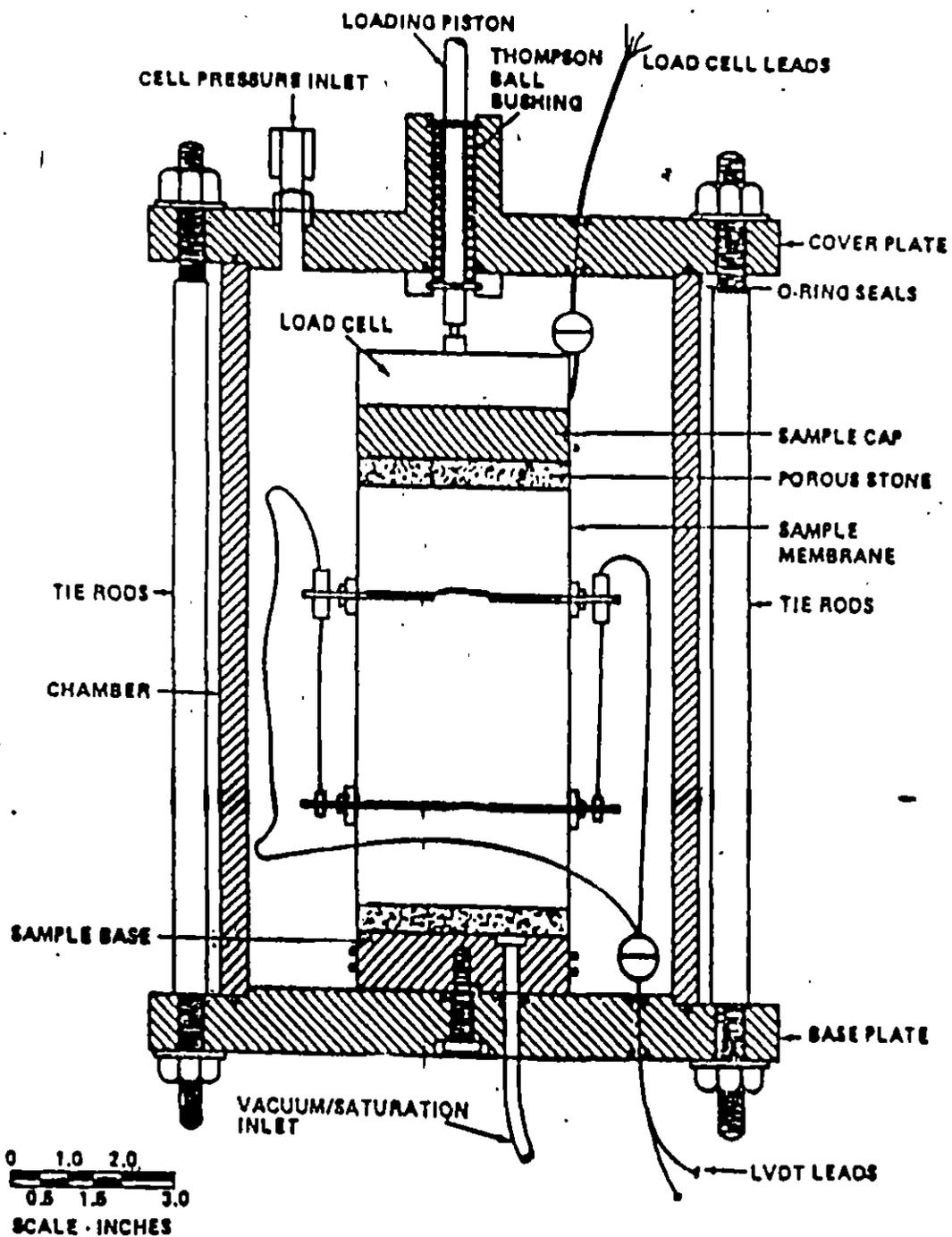
del 4 al 15 de septiembre de 1995

A N E X O

EXPOSITORES :

Ing. Luis Miguel Aguirre

Ing. Manuel Zarate Aquino



Triaxial cell for testing cylindrical specimens. (After FHWA (1978).)

$$M_r = \sigma_d / \epsilon_r$$

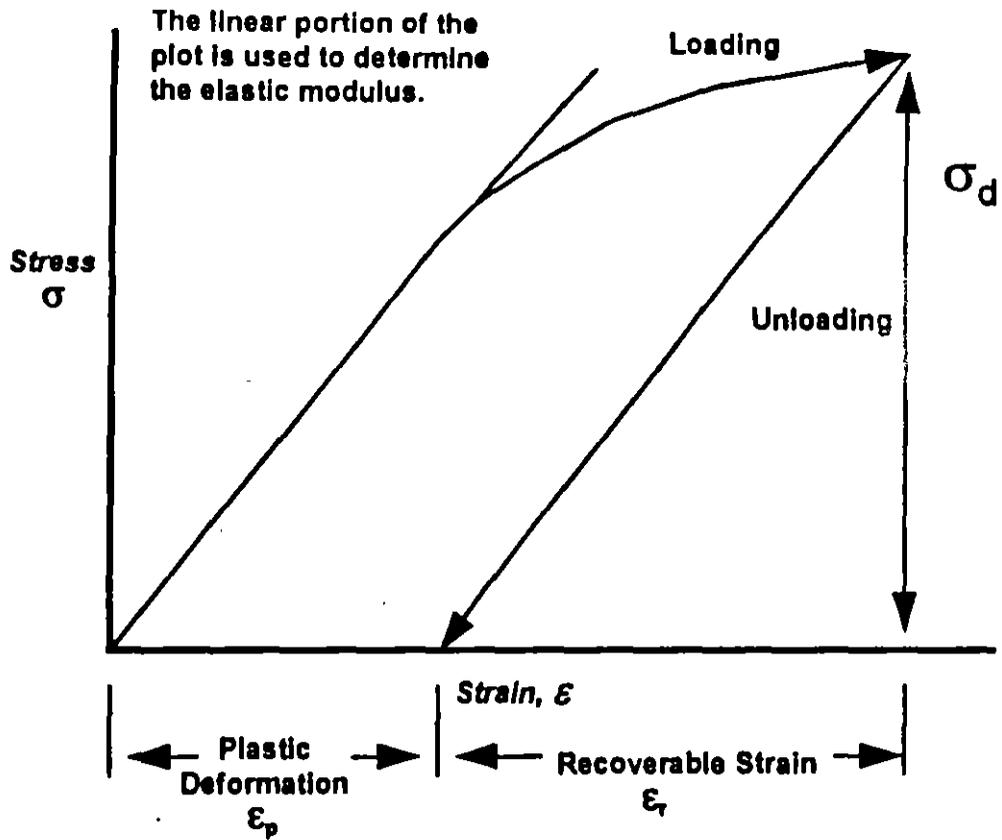
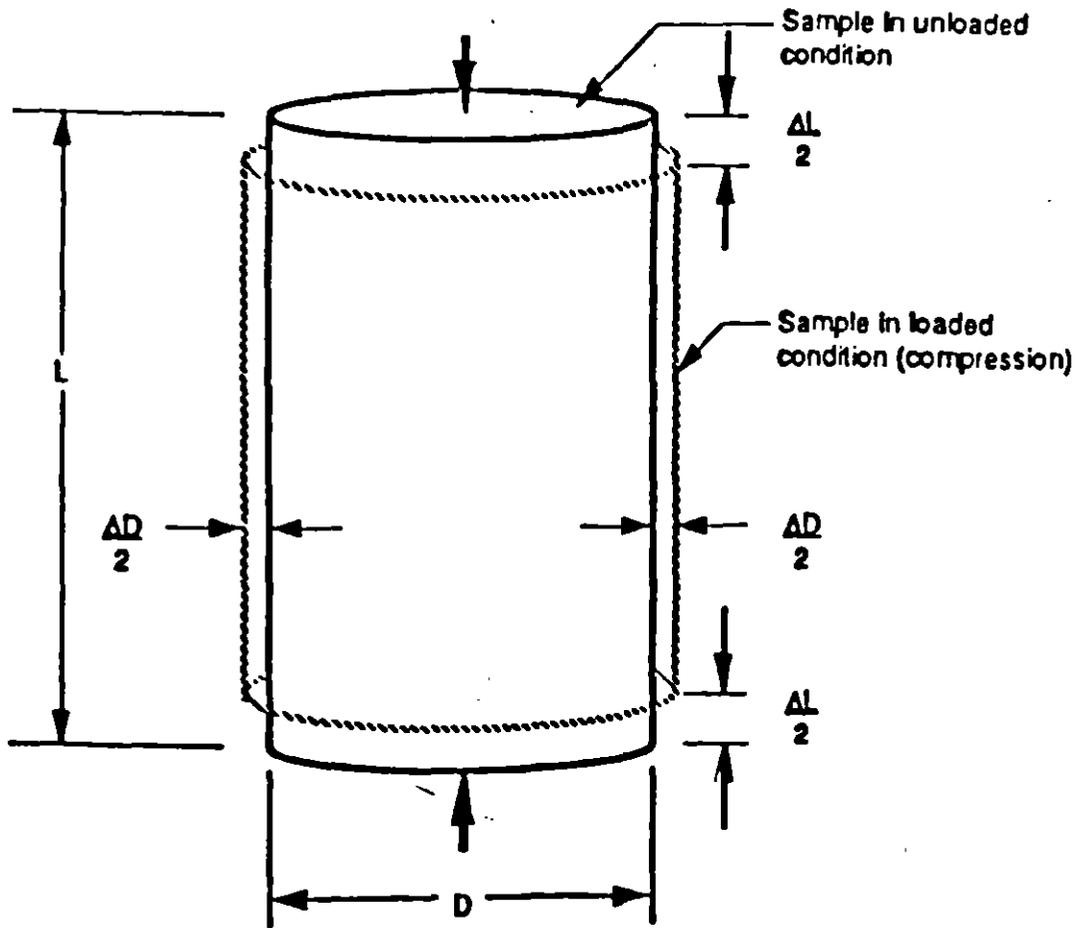


Figure 2.4 - Resilient Modulus ( $M_r$ ) for a Plastic Material



$$\mu = - \frac{\epsilon_D}{\epsilon_L}$$

Where

$\mu$  = Poisson's ratio

$\epsilon_D = \frac{\Delta D}{D}$  = strain along the diametrical (horizontal) axis

$\epsilon_L = \frac{\Delta L}{L}$  = strain along the longitudinal (vertical) axis

Figure 2.5 Illustration of Poisson's Ratio

Typical values of modulus of elasticity for various materials include

Material	E	
	(psi)	(MPa)
o Rubber	1,000	7
o Wood	1,000,000-2,000,000	7,000-14,000
o Aluminum	10,000,000	70,000
o Steel	30,000,000	200,000
o Diamond	170,000,000	1,200,000

Typical pavement materials

Material	E	
	(psi)	(MPa)
o Asphalt Concrete (32°F (0°C))	3,000,000	21,000
o Asphalt Concrete (70°F (21°C))	500,000	3,500
o Asphalt Concrete (120°F (49°C))	20,000	150
o Crushed Stone	20,000-100,000	150-750
o Sandy Soils	5,000-30,000	35-210
o Silty Soils	5,000-20,000	35-150
o Clayey Soils	5,000-15,000	35-100
o Stabilized Soils	5,000-3,000,000	35-21,000
o Portland Cement Concrete	3,000,000-8,000,000	20,000-56,000

Typical values of Poisson's ratio ( $\mu$ ) include:

Material	Poisson's Ratio
o Steel	0.25 - 0.30
o Aluminum	0.33
o PCC	0.15 - 0.20*
o Flexible Pavement	
o Asphalt Concrete	0.35 ( $\pm$ )
o Crushed Stone	0.40 ( $\pm$ )
o Soils (fine-grained)	0.45 ( $\pm$ )

\*Dynamic determination of  $\mu$  could approach 0.25 for PCC [Neville (1.4)]

# CARACTERISTICAS DEL METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA

- 1.-SECCION ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA RELATIVA UNIFORME.
- 2.-COMPORTAMIENTO A FATIGA DE LAS DIFERENTES CAPAS.
- 3.-CRITERIO DE FALLA FUNCIONAL, EN TERMINOS DE DEFORMACIONES PERMANENTES ACUMULADAS.
- 4.-COEFICIENTES DE DAÑO EN TERMINOS DE ESFUERZOS A DIFERENTES PROFUNDIDADES.
- 5.-TRATAMIENTO PROBABILISTICO PARA ESTABLECER NIVELES DE CONFIANZA RESPECTO A LA FALLA.

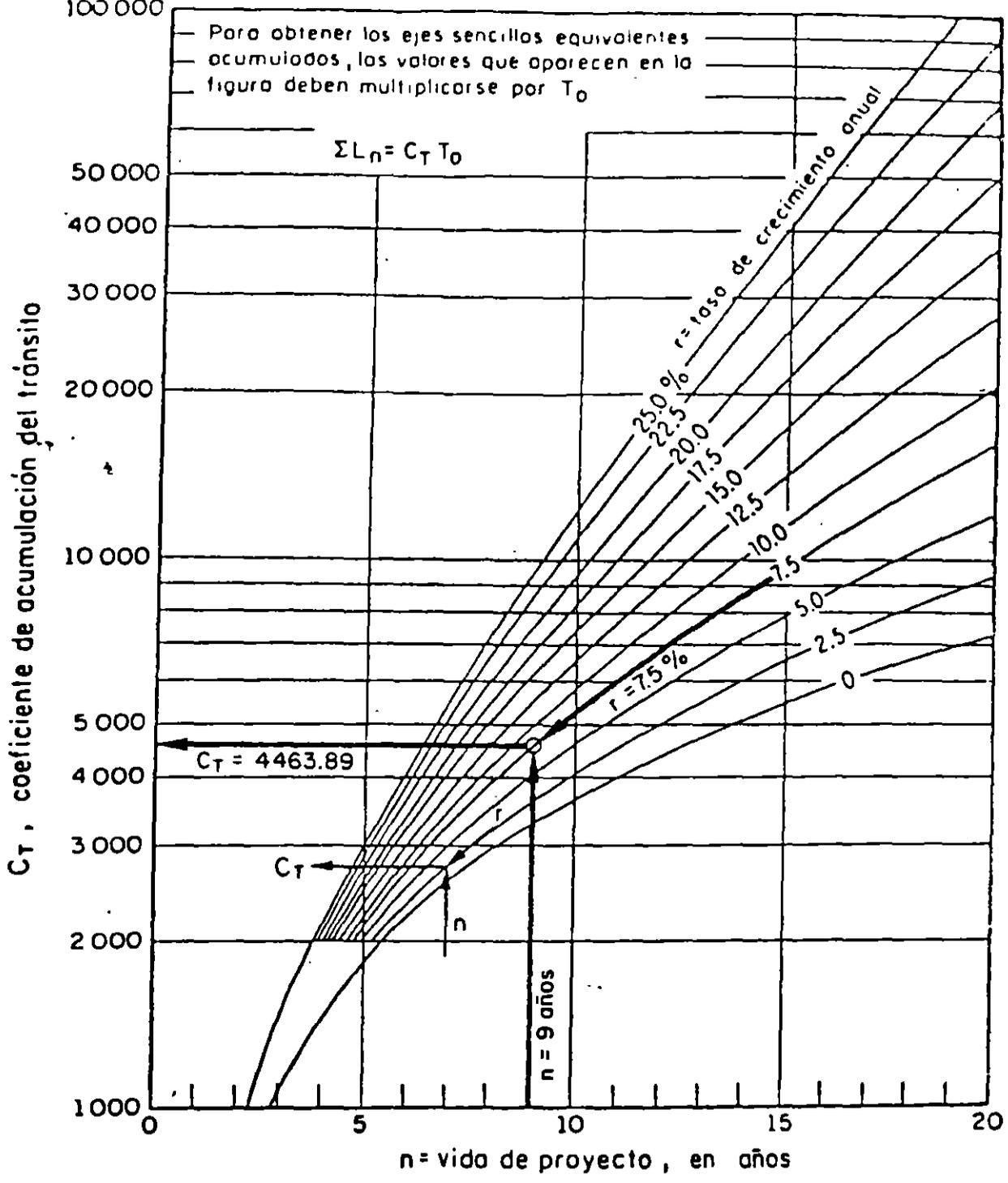
## VARIABLES DE DISEÑO

- VALOR RELATIVO SOPORTE CRITICO ESPERADO EN EL LUGAR DURANTE LA VIDA DE SERVICIO.

$$(\widehat{VRS}_z)$$

- NUMERO DE APLICACIONES DE CARGA PRODUCIDAS POR EL TRANSITO ( $\Sigma L$ ).

- NIVEL DE CONFIANZA ( $Q_u$ ).



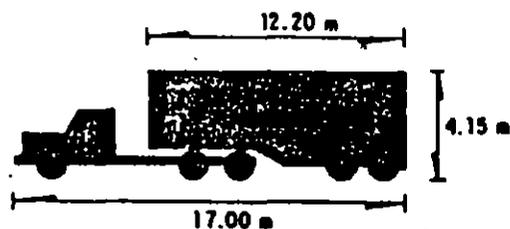
$$C_T = 365 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

$C_T$ , coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r

$T_0$ , tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto, durante el primer año de servicio, ejes sencillos equivalentes de B.2 ton

$\Sigma L_n$ , tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes sencillos equivalentes de B.2 ton

Fig 6. Ejemplo: gráfica para estimar el coeficiente de acumulación del tránsito



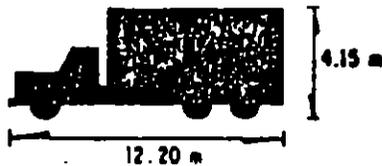
**T3-S2**

Tractor de tres ejes con  
semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	
Camino A	1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	3**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	Σ	41.50	12.0		5.000	5.285	4.747	5.761	5.000	0.160	0.040	0.023
Camino B	1*	5.0	3.5	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.019	0.010
	2**	15.0	4.0	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	3**	15.0	4.0	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	Σ	35.0	11.5		5.000	3.491	2.250	2.249	5.000	0.113	0.023	0.012

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE

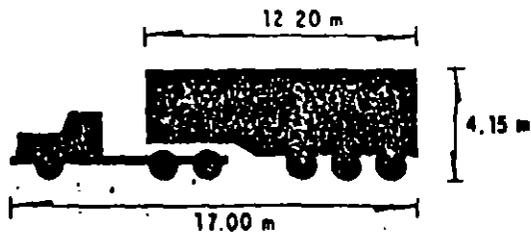


### C3 Camión de tres ejes

Conjunto	Peso, en ton		$p, \text{kg/cm}^2$	$+d_m = \text{Coeficiente daño bajo carga máxima}$				$d_v = \text{Coeficiente de daño vacío}$				
	+Carga máximo	Vacío		$z = 0$	$z = 15$	$z = 30$	$z = 60$	$z = 0$	$z = 15$	$z = 30$	$z = 60$	
Camino A	1 <sup>*</sup>	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2 <sup>**</sup>	18.0	4.5	5.0	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.028	0.003	0.002
	$\Sigma$	23.5	8.5		3.000	2.817	2.457	2.940	3.000	0.154	0.039	0.023
Camino B	1 <sup>*</sup>	5.0	3.8	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.106	0.028	0.015
	2 <sup>**</sup>	15.0	4.2	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.021	0.002	0.001
	$\Sigma$	20.0	8.0		3.000	1.876	1.178	1.160	3.000	0.127	0.030	0.017
Camino C	1 <sup>*</sup>	4.0	3.5	5.4	0.666	0.107	0.034	0.021	0.666	0.068	0.018	0.010
	2 <sup>**</sup>	14.0	4.0	5.4	1.333	1.083	0.722	0.735	1.333	0.015	0.002	0.001
	$\Sigma$	18.0	7.5		1.999	1.190	0.756	0.756	1.999	0.083	0.020	0.011

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE



**T3-S3**

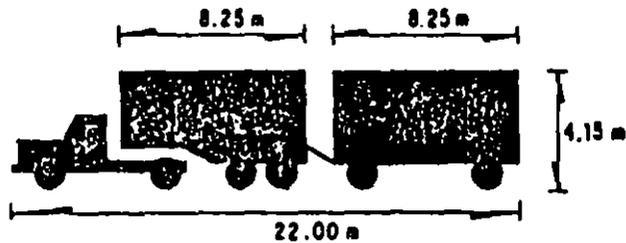
Tractor de tres ejes con  
semirremolque de tres ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	+ $d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 <sup>*</sup>	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2 <sup>**</sup>	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
	3 <sup>***</sup>	22.5	5.0	5.8	3.000	2.422	2.289	2.818	3.000	0.011	0.002	0.001
		46.0	13.0		6.000	5.239	4.746	5.758	6.000	0.154	0.040	0.023

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE

Fig E.12



**T2-S2-R2**

Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	$+ d_m =$ Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v =$ Coeficiente de daño vacío			
	+Carga máxima	Vacío		$z = 0$	$z = 15$	$z = 30$	$z = 60$	$z = 0$	$z = 15$	$z = 30$	$z = 60$
1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2*	10.0	4.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.126	0.036	0.021
3**	18.0	3.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.009	0.001	0.000
4*	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001
5*	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001
$\Sigma$	53-5	16.0		6.000	7.440	9.327	11.400	6.000	0.289	0.077	0.044

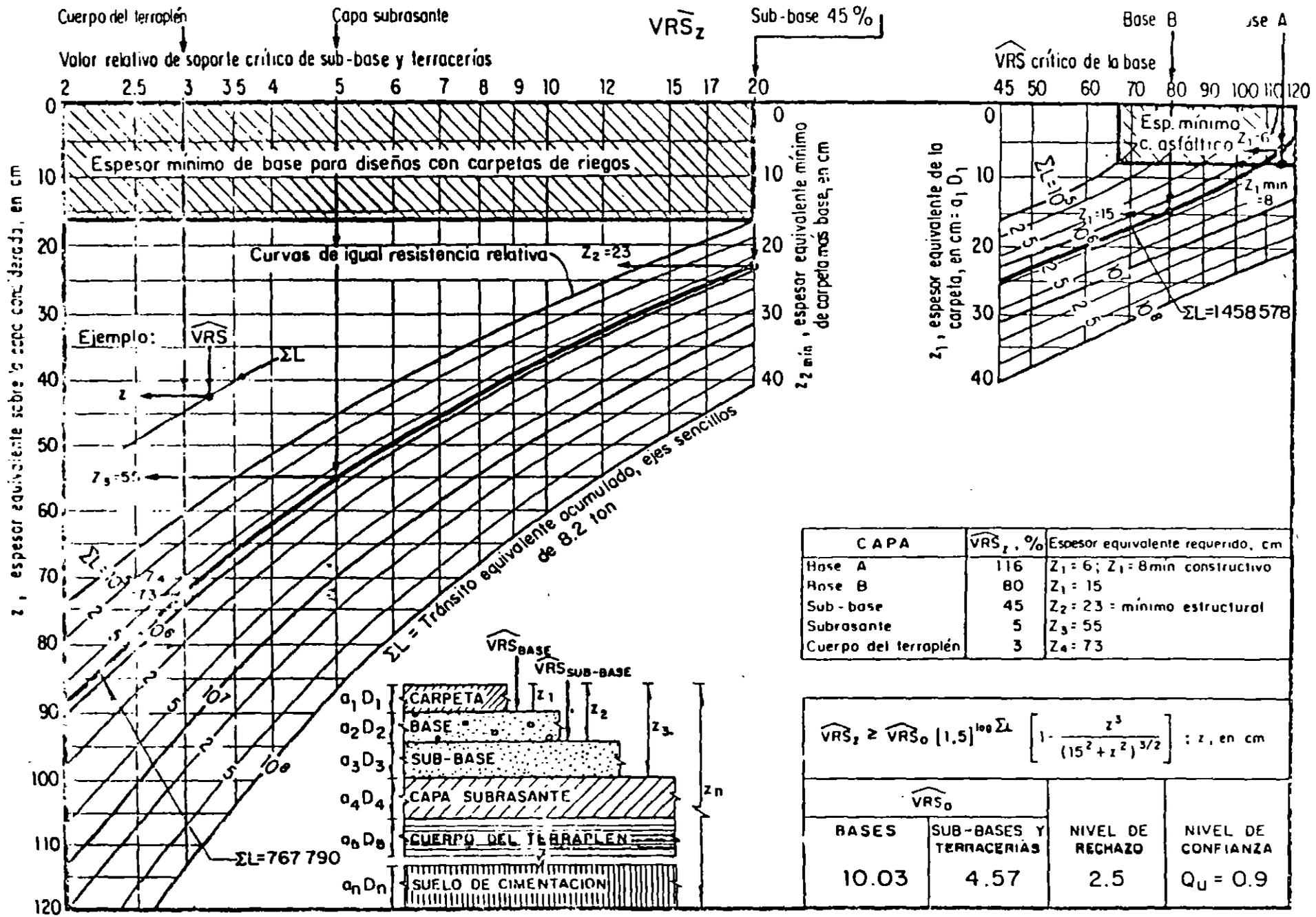
+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \* EJE SENCILLO
- \*\* EJE TANDEM
- \*\*\* EJE TRIPLE

Fig E.17

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO ①	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS		COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS ③ = ① x ②	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 ton	
					CARPETA Y BASE Z: 0 ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z: 30 ⑤	CARPETA Y BASE ⑥ = ③ x ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS ⑦ = ③ x ⑤
A2	0.339	CARGADOS	1.0	0.339	0.004	0.000	0.001	0.000
		VACIOS	0.0		0.004	0.000	0.000	0.000
A'2	0.144	CARGADOS	0.6	0.086	0.536	0.023	0.046	0.002
		VACIOS	0.4		0.058	0.536	0.000	0.031
B2	0.097	CARGADOS	0.8	0.078	2.000	1.589	0.156	0.124
		VACIOS	0.2		0.019	2.000	0.360	0.038
C2	0.274	CARGADOS	0.7	0.192	2.000	1.589	0.384	0.305
		VACIOS	0.3		0.082	2.000	0.018	0.164
C3	0.072	CARGADOS	0.9	0.065	3.000	1.178	0.195	0.077
		VACIOS	0.1		0.007	3.000	0.030	0.021
T2-S1	0.025	CARGADOS	0.7	0.018	3.000	3.072	0.054	0.055
		VACIOS	0.3		0.007	3.000	0.027	0.021
T2-S2	0.049	CARGADOS	0.9	0.044	4.000	2.661	0.176	0.117
		VACIOS	0.1		0.005	4.000	0.033	0.020
SUMAS	1.000	—	7.0	1.000	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO ⑧		1.307	0.688
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$ n = AÑOS DE SERVICIO = 9 T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = 7.5 %					TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO ⑨		250	250
					C <sub>T</sub> ⑩		4463.89	4463.89
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 500					CD CARRIL PROYECTO = 0.5		ΣL ⑪ = ⑧ x ⑨ x ⑩	
							1458 578	767 790

Fig 5. Ejemplo: cálculo de tránsito equivalente acumulado (ΣL)



11

Fig. 8. Ejemplo: gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

## EJEMPLO METODO INSTITUTO DE INGENIERIA

### DATOS

CARRETERA SECUNDARIA, BUEN CONTROL, CONSERVACION

NIVEL DE CONFIANZA = 0.70

TRANSITO  $\Sigma L = 1.5 \times 10^6$ ,  $Z = 0$

$\Sigma L = 0.8 \times 10^6$ ,  $Z = 30$  cm

MATERIALES	$\overline{VRS}_Z$	V	$\widehat{VRS}_Z$
GRAVA NATURAL	100	0.25	80
ARENA ARCILLOSA	60	0.30	45
ARCILLA SUBRASANTE	--	--	5
ARCILLA TERRAPLEN	--	--	3

$$\widehat{VRS}_Z = \overline{VRS}_Z (1 - 0.84V)$$

### DIMENSIONAMIENTO

CAPA	ESPESOR EQUIV SOBRE CAPA (cm)	ESPEORES REALES
CARPETA		$11/2 = 5.5 \rightarrow 6$
GRAVA NATURAL (BASE)	11	$18-11 = 7 \rightarrow 10$
ARENA ARCILLOSA (SUBBASE)	18	$47-(12-10) \rightarrow 25$
ARCILLA SUBRASANTE	47	$63-47 \rightarrow 16$
ARCILLA TERRAPLEN	63	

Table D.4. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and  $p_t$  of 2.5

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0004	.0004	.0003	.0002	.0002	.0002
4	.003	.004	.004	.003	.002	.002
6	.011	.017	.017	.013	.010	.009
8	.032	.047	.051	.041	.034	.031
10	.078	.102	.118	.102	.088	.080
12	.168	.198	.229	.213	.189	.176
14	.328	.358	.399	.388	.360	.342
16	.591	.613	.646	.645	.623	.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112.	102.	79.	60.	53.	55.

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

Table D.6. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and  $p_t$  of 2.5

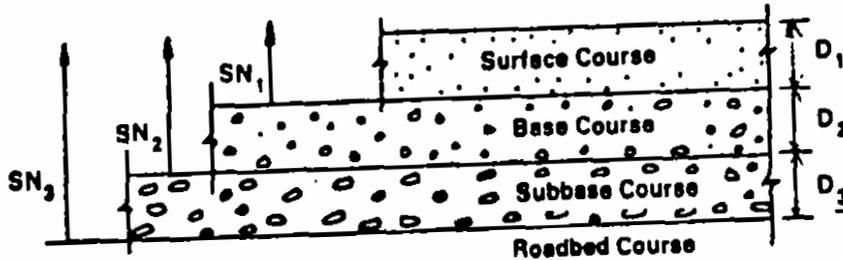
Axle Load (klps)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0002	.0002	.0002	.0001	.0001	.0001
6	.0006	.0007	.0005	.0004	.0003	.0003
8	.001	.002	.001	.001	.001	.001
10	.003	.004	.003	.002	.002	.002
12	.005	.007	.006	.004	.003	.003
14	.008	.012	.010	.008	.006	.006
16	.012	.019	.018	.013	.011	.010
18	.018	.029	.028	.021	.017	.016
20	.027	.042	.042	.032	.027	.024
22	.038	.058	.060	.048	.040	.036
24	.053	.078	.084	.068	.057	.051
26	.072	.103	.114	.095	.080	.072
28	.098	.133	.151	.128	.109	.099
30	.129	.169	.195	.170	.145	.133
32	.169	.213	.247	.220	.191	.175
34	.219	.266	.308	.281	.246	.228
36	.279	.329	.379	.352	.313	.292
38	.352	.403	.461	.436	.393	.368
40	.439	.491	.554	.533	.487	.459
42	.543	.594	.661	.644	.597	.567
44	.666	.714	.781	.769	.723	.692
46	.811	.854	.918	.911	.868	.838
48	.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9.0
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

where

- $a_1, a_2, a_3$  = layer coefficients representative of surface, base, and subbase courses, respectively (see Section 2.3.5),
- $D_1, D_2, D_3$  = actual thicknesses (in inches) of surface, base, and subbase courses, respectively, and
- $m_2, m_3$  = drainage coefficients for base and subbase layers, respectively (see Section 2.4.1).

Minimum Thickness (inches)		
Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1.0 (or surface treatment)	4
50,001-150,000	2.0	4
150,001-500,000	2.5	4
500,001-2,000,000	3.0	6
2,000,001-7,000,000	3.5	6
Greater than 7,000,000	4.0	6



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

- 1)  $a, D, m$  and  $SN$  are as defined in the text and are minimum required values.
- 2) An asterisk with  $D$  or  $SN$  indicates that it represents the value actually used, which must be equal to or greater than the required value.

Figure 3.2. Procedure for Determining Thicknesses of Layers Using a Layered Analysis Approach

Highway Conditions	Analysis Period (years)
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

Number of Lanes in Each Direction	Percent of 18-kip ESAL in Design Lane
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

**Table 2.2. Suggested Levels of Reliability for Various Functional Classifications**

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85-99.9	80-99.9
Principal Arterials	80-99	75-95
Collectors	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

NOTE: Results based on a survey of the AASHTO Payment Design Task Force.

Quality of Drainage	Water Removed Within
Excellent	2 hours
Good	1 day
Fair	1 week
Poor	1 month
Very poor	(water will not drain)

**Table 2.4. Recommended  $m_1$  Values for Modifying Structural Layer Coefficients of Untreated Base and Subbase Materials in Flexible Pavements**

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Good	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Fair	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Poor	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Very poor	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

**Table 2.5. Recommended Values of Drainage Coefficient,  $C_d$ , for Rigid Pavement Design**

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Good	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Fair	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Poor	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Very poor	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

NOMOGRAPH SOLVES:

$$\log_{10} \frac{W}{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{ PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

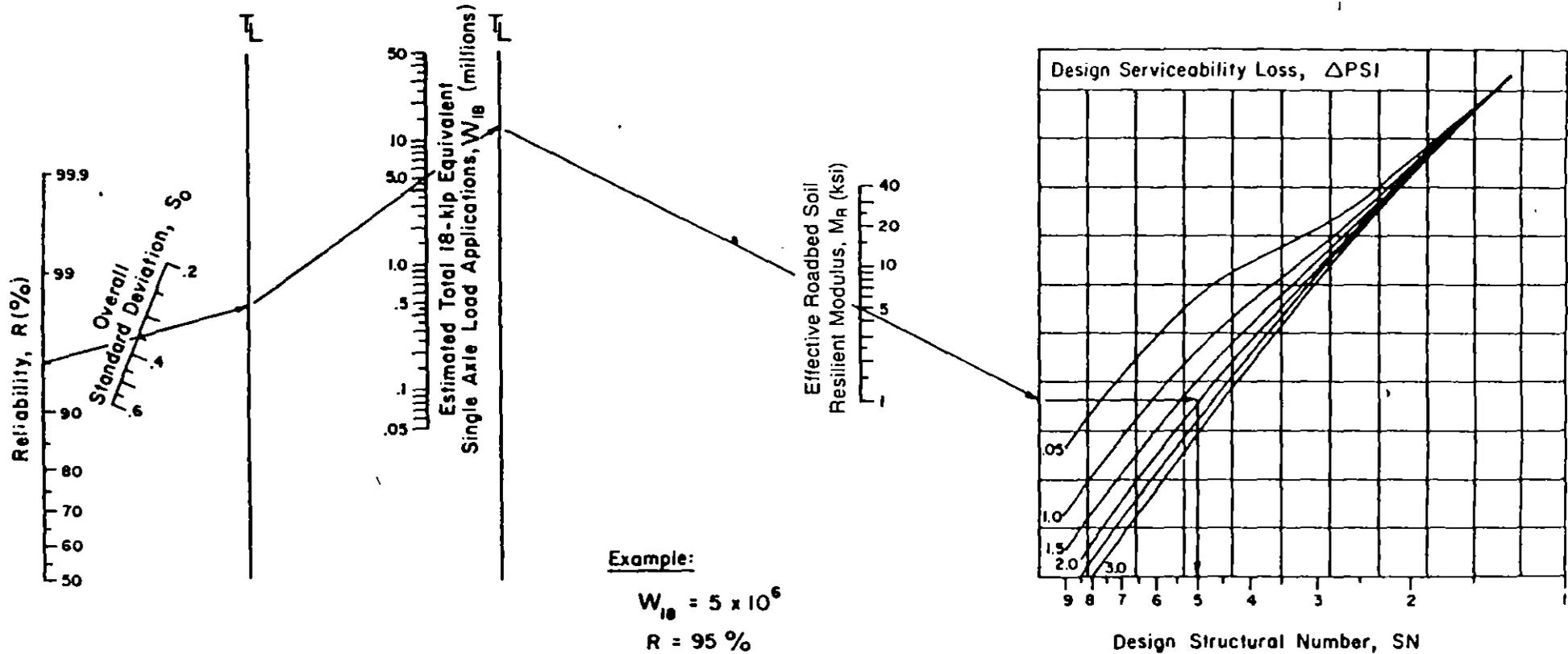
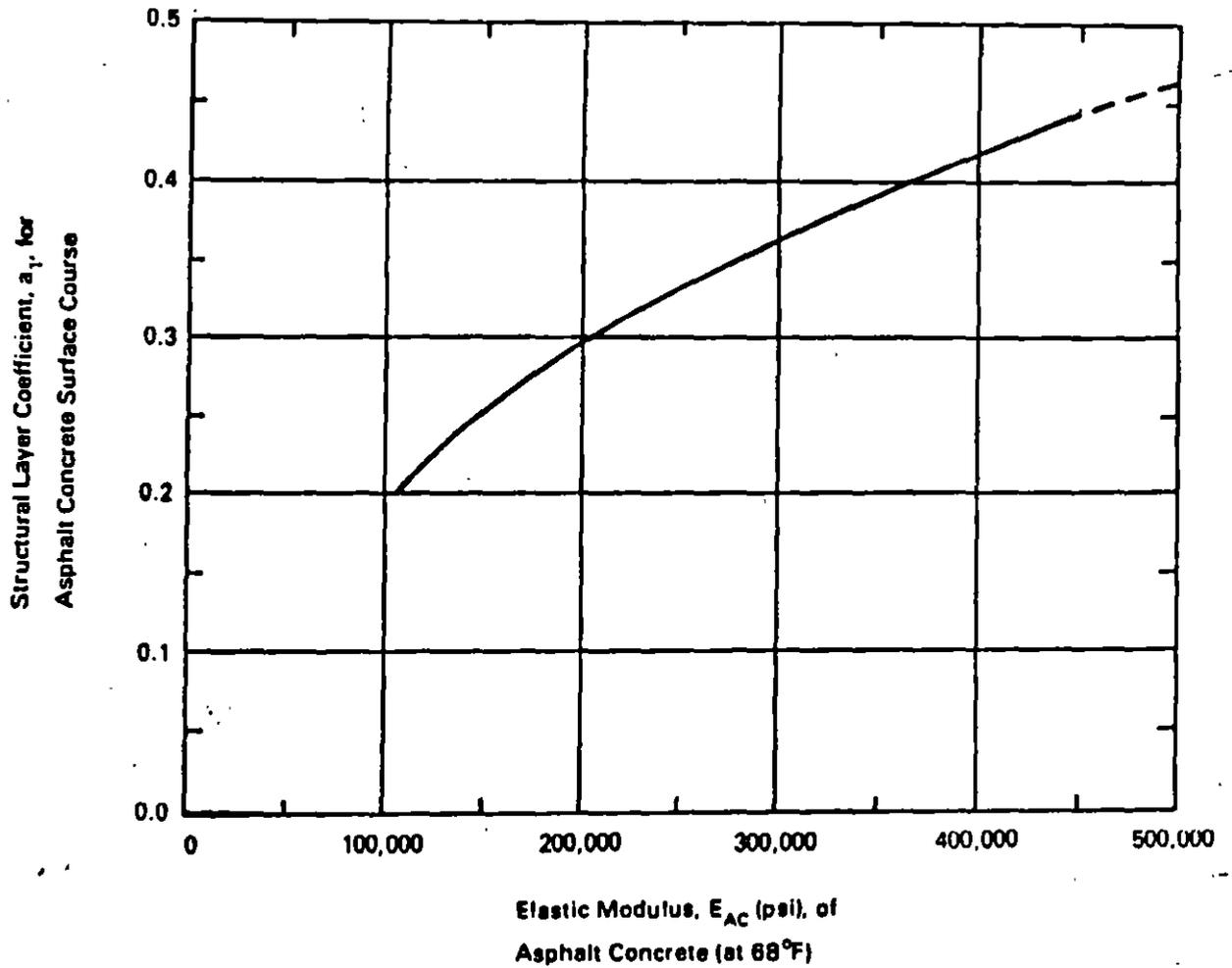
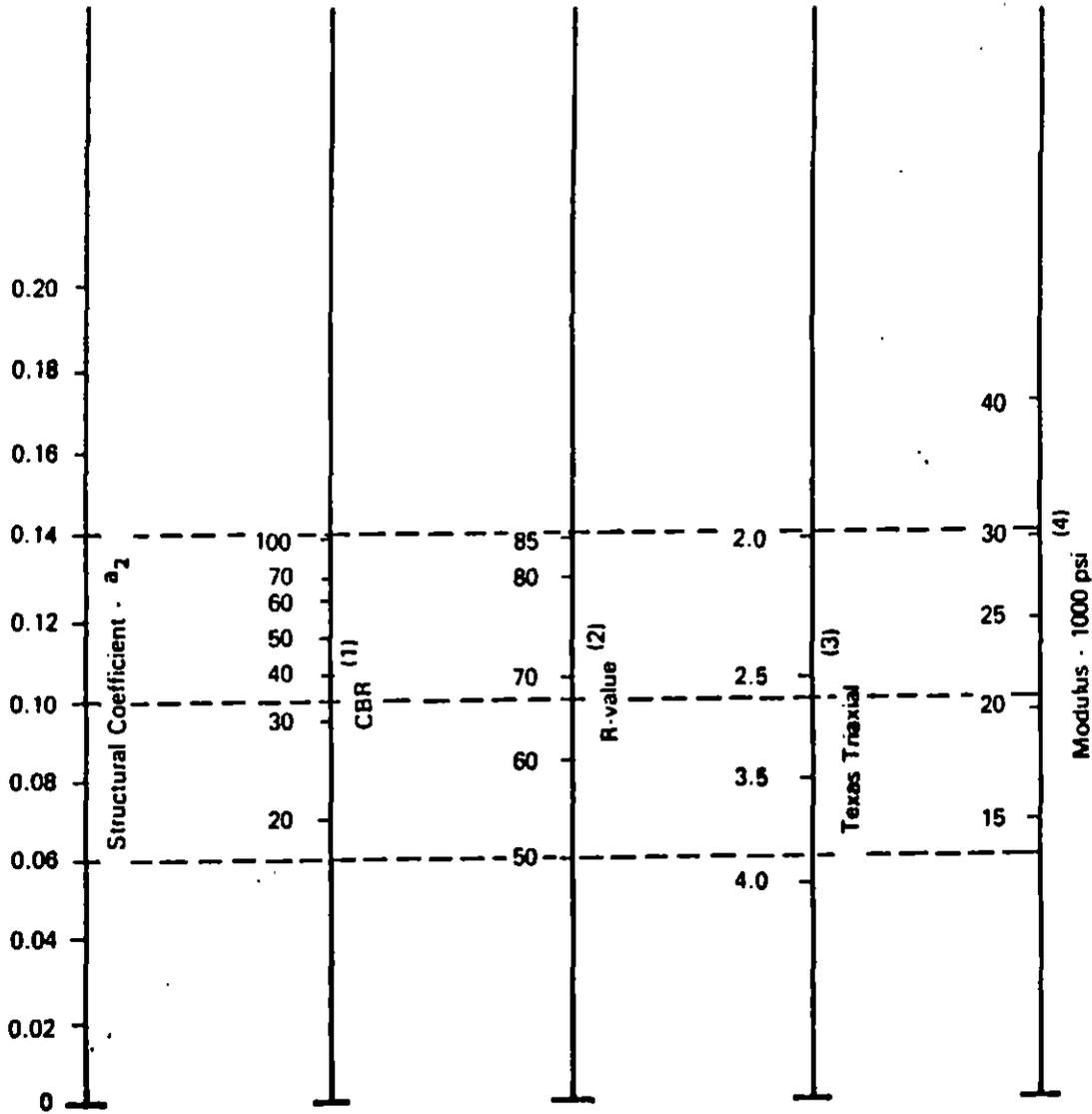


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input



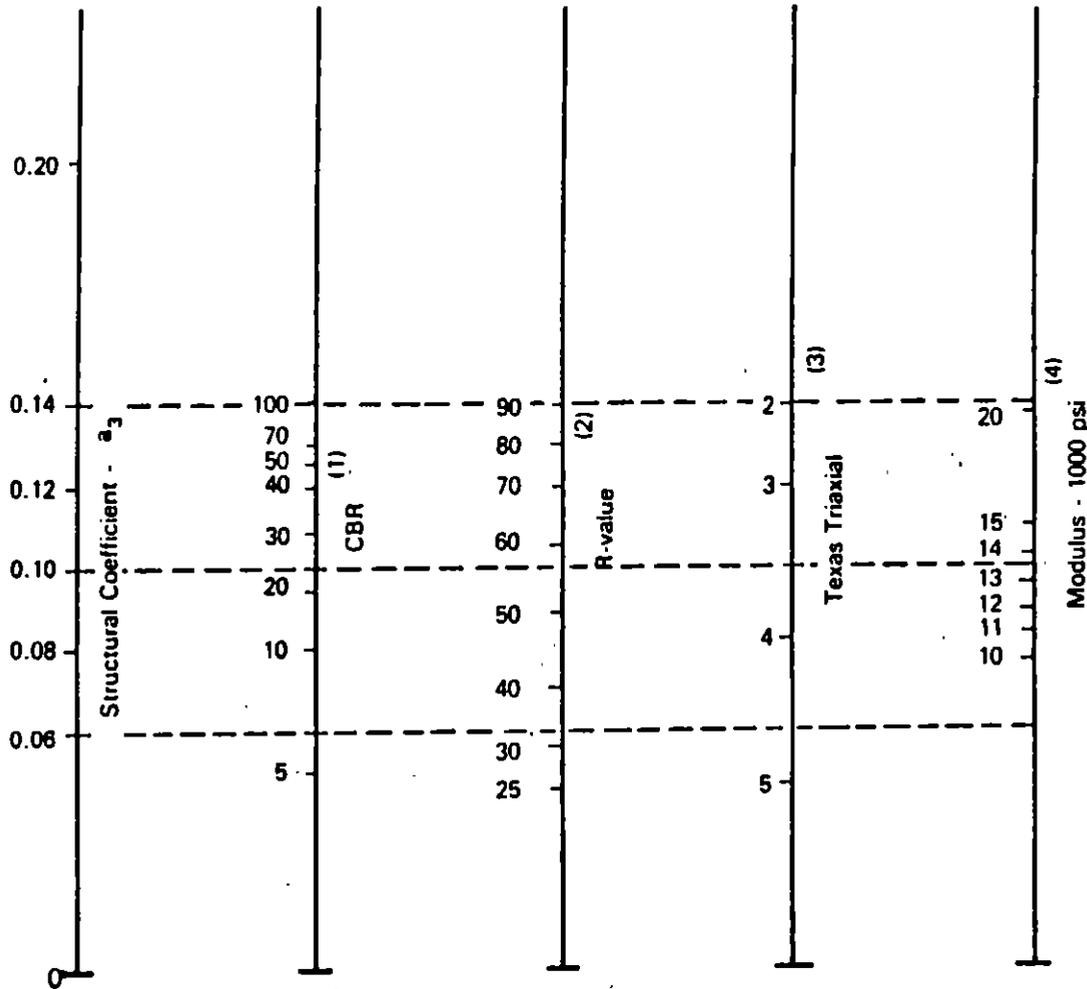
**Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)**

23



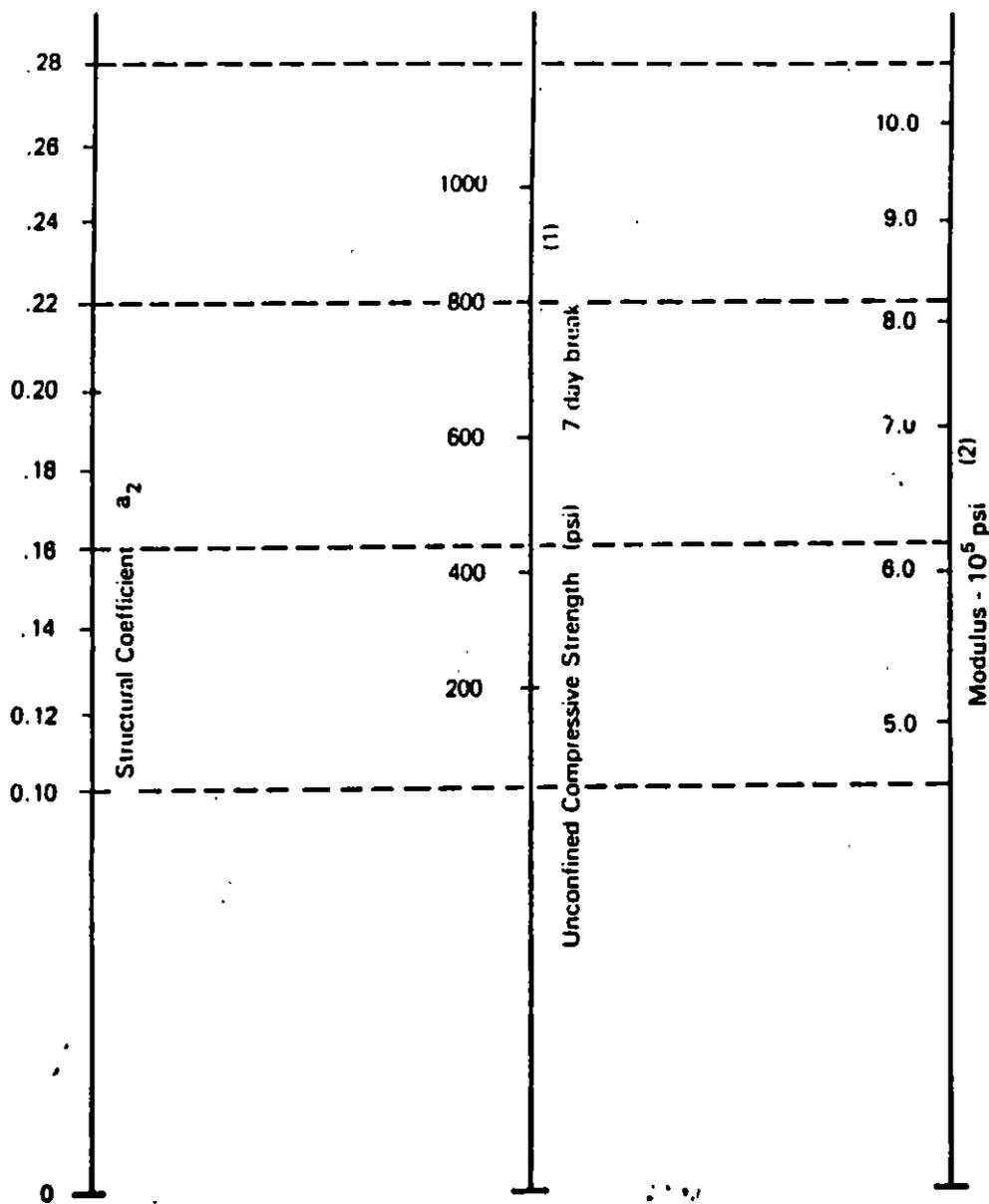
- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois.
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

**Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient ( $a_2$ ) with Various Base Strength Parameters (3)**



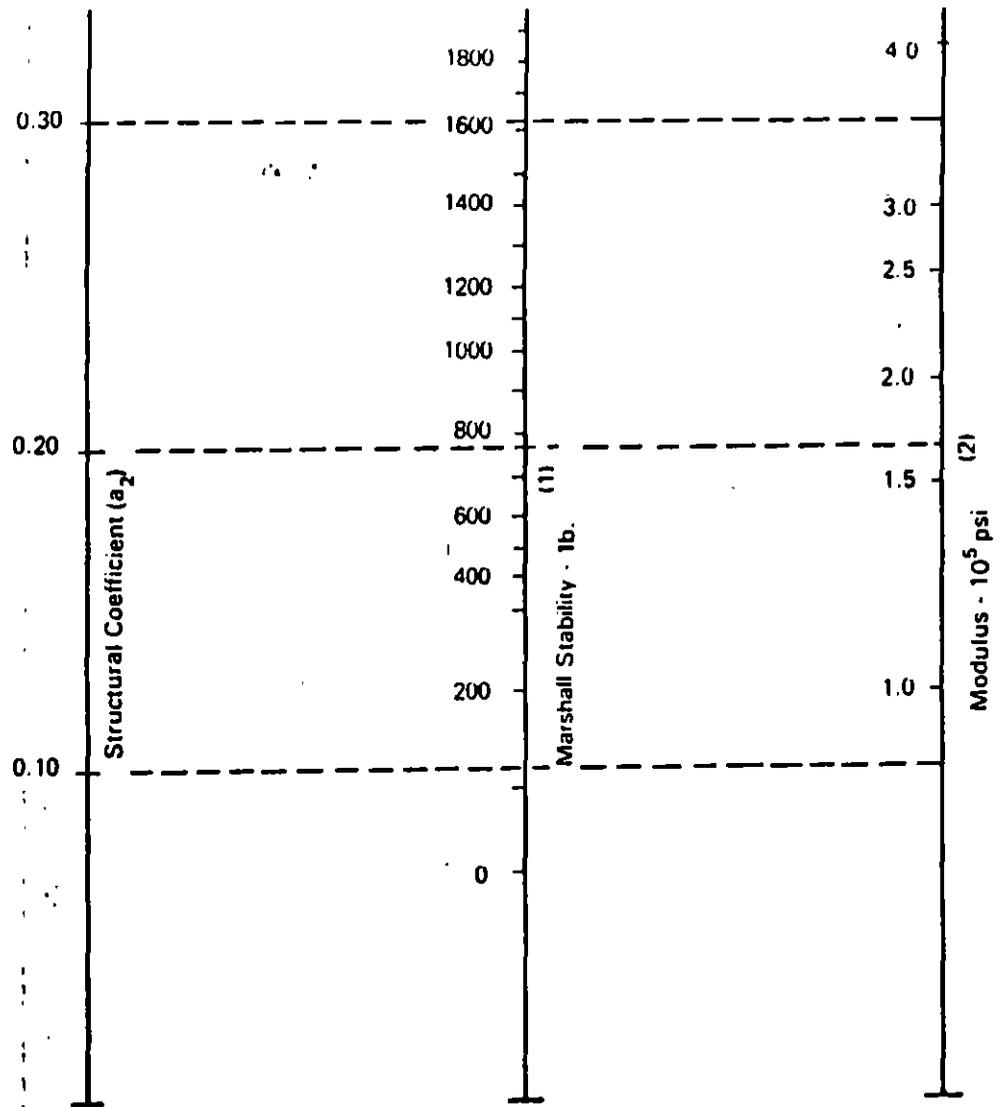
- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient ( $a_3$ ) with Various Subbase Strength Parameters (3)



- (1) Scale derived by averaging correlations from Illinois, Louisiana and Texas.
- (2) Scale derived on NCHRP project 131.

Figure 2.8. Variation in  $a_2$  for Cement-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)



(1) Scale derived by correlation obtained from Illinois.

(2) Scale derived on NCHRP project (3).

**Figure 2.9. Variation in  $a_2$  for Bituminous-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)**

Table D.21. Worksheet for Calculating 18-kip Equivalent Single Axle Load (ESAL) Applications

Location <u>Example 1</u>		Analysis Period = <u>20</u> Years			
		Assumed SN or D = <u>9"</u>			
Vehicle Types	Current Traffic (A)	Growth Factors (B)	Design Traffic (C)	E.S.A.L. Factor (D)	Design E.S.A.L. (E)
Passenger Cars	5,925	2% 24.30	52,551,787	.0008	42,041
Buses	35	24.30	310,433	.6806	211,280
Panel and Pickup Trucks	1,135	24.30	10,066,882	.0122	122,816
Other 2-Axle/4-Tire Trucks	3	24.30	26,609	.0052	138
2-Axle/6-Tire Trucks	372	24.30	3,299,454	.1890	623,597
3 or More Axle Trucks	34	24.30	301,563	.1303	39,294
All Single Unit Trucks					
3 Axle Tractor Semi-Trailers	19	24.30	168,521	.8646	145,703
4 Axle Tractor Semi-Trailers	49	24.30	434,606	.6560	285,101
5+ Axle Tractor Semi-Trailers	1,880	24.30	16,674,660	2.3719	39,550,626
All Tractor Semi-Trailers					
5 Axle Double Trailers	103	24.30	913,559	2.3187	2,118,268
6+ Axle Double Trailers	0	24.30			
All Double Trailer Combos					
3 Axle Truck-Trailers	208	24.30	1,844,856	.0152	28,042
4 Axle Truck-Trailers	305	24.30	2,705,198	.0152	41,119
5+ Axle Truck-Trailers	125	24.30	1,108,688	.5317	589,489
All Truck-Trailer Combos					
All Vehicles	10,193		90,406,816	Design E.S.A.L.	43,772,314

TABLA 1. CATEGORIAS DE TRAFICO PESADO

Categorías de Tráfico pesado	IMDp
T0 T1 T2 T3 T4	$IMDp \geq 2000$ $2000 > IMDp \geq 800$ $800 > IMDp \geq 200$ $200 > IMDp \geq 50$ $IMDp < 50$

<u>Categorías de tránsito</u>		
Categorías de tráfico	Designación	Número acumulado de ejes equivalentes de 13 t (130 kN) en el carril y periodo de proyecto
T1	Pesado	$4 \cdot 10^6 - 10^7$
T2	Medio alto	$8 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^6$
T3	Medio bajo	$8 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^5$
T4	Ligero	$10^4 - 8 \cdot 10^4$

#### CATEGORIAS DE SUBRASANTE

- E1    CBR = 5 - 10
- E2    CBR = 10-20
- E3    CBR = 20 +

TABLA 4.- CATALOGO DE SECCIONES DE FIRME

TRAFICO	T 0													T 1							T 2																												
SECCION N° -	021	022	023	024	025	026	027	031	032	033	034	035	036	037	121	122	123	124	125	126	127	131	132	133	134	135	136	137	211	212	213	214	215	216	217	221	222	223	224	225	226	227	231	232	233	234	235	236	237
HORMIGÓN VIBRADO					28	28							28	28					25	25					25	25							23	23									23	23					
MEZCLAS BITUMINOSAS	35	30	30	15	10			35	30	27	15	10			30	25	25	15	10			30	25	22	15	10	30	25	18	12	8			25	20	18	12	8			25	20	18	12	8				
HORMIGÓN COMPACTADO					25							25						22							22					20							20								20				
HORMIGÓN MAGRO					15							15						15							15					15							15								15				
GRAVA CEMENTO				25		15				22		15					22		15				20		15				20		15				20		15				20		15		15				
SUELO CEMENTO			20	20	20				20	20	20					20	20	20					20	20	20			25	20	20				22	20	20				20	15	15							
ZAHORRA ARTIFICIAL	20	25						25							20	25						25				25	25						20	25						25									
ZAHORRA NATURAL	25				20	20									25			20	20							25	20	20	20	20	20		25																
EXPLANADA	E 1	E 2			E 3			E 1	E 2			E 3			E 1	E 2			E 3																														

TRAFICO	T 3													T 4																						
SECCION N° -	311	312	313	314	315	316	321	322	323	324	325	326	331	332	333	334	335	336	411	412	413	414	415	416	421	422	423	424	425	426	431	432	433	434	435	436
HORMIGÓN VIBRADO					21							21						21						20												20
MEZCLAS BITUMINOSAS	20	18	12	6	*		18	15	12	6	*		18	15	12	6	*		5	TS	8	6	*		5	TS	8	6	*		5	TS	8	6	*	
HORMIGÓN COMPACTADO				20						20							20						20						20							20
GRAVA CEMENTO			18						18							20						18						18						18		
SUELO CEMENTO		25	20	15				22	15	15					22						25	15					22					22				
ZAHORRA ARTIFICIAL	25	25				25	25					25							30	30					20	20				30	30					
ZAHORRA NATURAL	25	20			20		25				20								20	25	20		20	20	20	25		20								
EXPLANADA	E 1			E 2			E 3			E 1			E 2			E 3																				

TS = Tratamiento superficial mediante riegos con gravilla  
 \* = TS ó 4 cm de M.B  
 \*\* = Sólo con explanada con superficie estabilizada

# MODIFICADORES ASFALTICOS

TIPOS	EJEMPLOS				
1.- FINOS	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">MINERALES CARBON AZUFRE</td> <td style="width: 50%; border: none;">CEMENTO CAL CENIZAS ROCA TRITURADA</td> </tr> </table>	MINERALES CARBON AZUFRE	CEMENTO CAL CENIZAS ROCA TRITURADA		
MINERALES CARBON AZUFRE	CEMENTO CAL CENIZAS ROCA TRITURADA				
2.- HULE LATEX NATURALES (EMULSIONES) LATEX SINTETICO POLIMEROS HULE RECUPERADO	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">ESTIRENO BUTADIENO</td> <td style="width: 50%; border: none;">SBR SBS</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border: none; text-align: center;">LLANTAS</td> </tr> </table>	ESTIRENO BUTADIENO	SBR SBS	LLANTAS	
ESTIRENO BUTADIENO	SBR SBS				
LLANTAS					
3.- PLATICOS	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">POLIESTIRENO POLIPROPILENO ETILVINIL POLIVINIL</td> <td style="width: 50%; border: none;"></td> </tr> </table>	POLIESTIRENO POLIPROPILENO ETILVINIL POLIVINIL			
POLIESTIRENO POLIPROPILENO ETILVINIL POLIVINIL					
4.- COMBINACIONES	2 + 3				
5.- FIBRAS	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; border: none;">NATURALES</td> <td style="width: 70%; border: none;">{ ASBESTO MADERA PETRIFICADA</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">SINTETICAS</td> <td style="border: none;">{ HULE VIDRIO POLIPROPILENO POLIESTER</td> </tr> </table>	NATURALES	{ ASBESTO MADERA PETRIFICADA	SINTETICAS	{ HULE VIDRIO POLIPROPILENO POLIESTER
NATURALES	{ ASBESTO MADERA PETRIFICADA				
SINTETICAS	{ HULE VIDRIO POLIPROPILENO POLIESTER				
6.- OXIDANTES	SALES DE MANGANESO (ASFALTOS OXIDADOS), IMPERMEABILIZANTES				
7.- ANTIOXIDANTES	CARBON MINERAL SALES DE CALCIO				
8.- HIDROCARBURO	ACEITES REJUVENECEDORES (1) ASFALTENOS NATURALES				
9.- ADHERENCIA	SILICONES (2) AMIDAS DE POLIMEROS CAL HIDRATADA				
10.- CATALIZADORES	CHEMCRETE				

(1) No deben tener parafinas ni asfaltenos

(2) Repelente al agua

MONOGRAPH SOLVES:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_o + 7.35 \cdot \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_c) \cdot \log_{10} \left[ \frac{S_c^i \cdot C_d \left[ D^{0.75} - 1.132 \right]}{215.63 \cdot \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

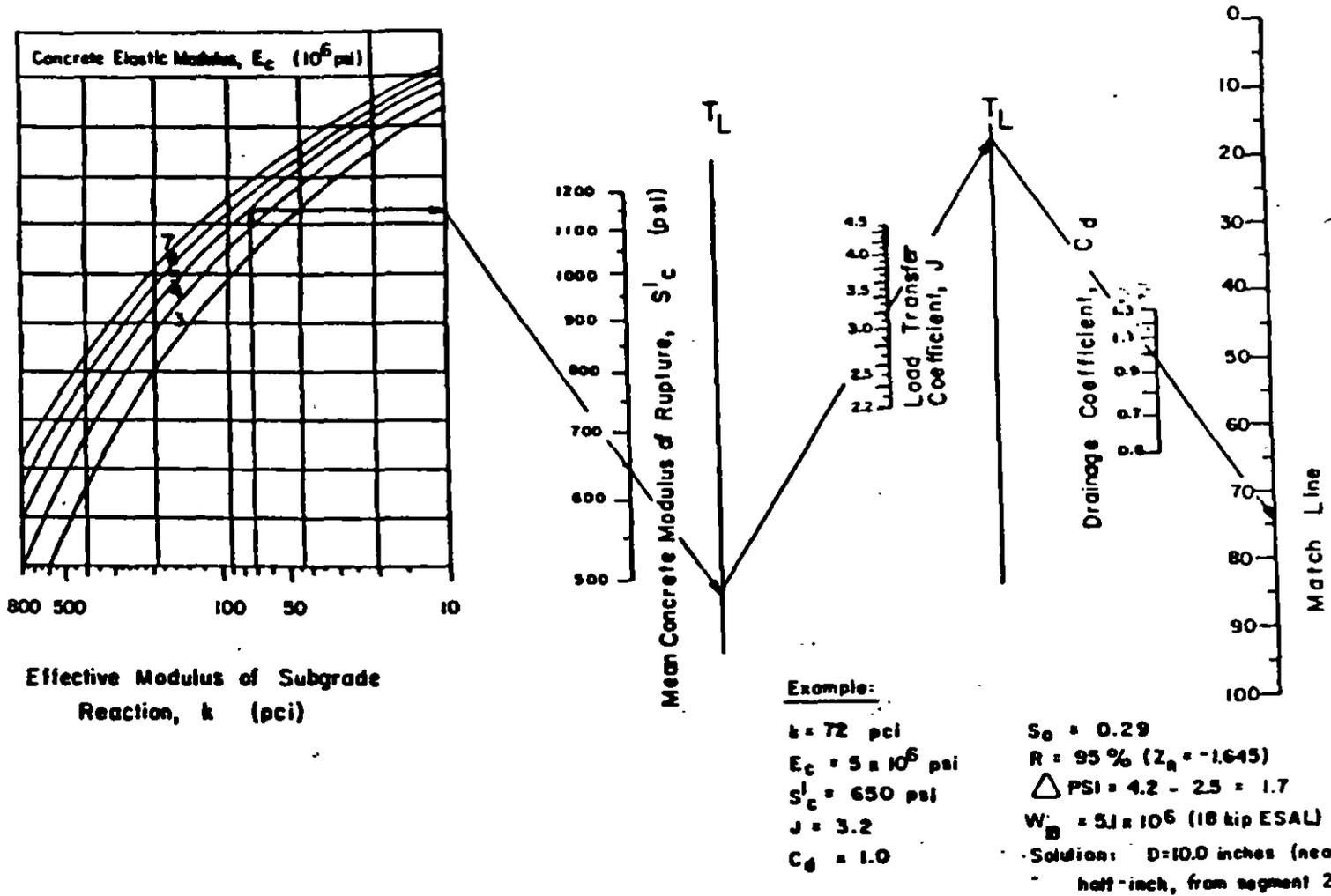


Figure 3.7. Design Chart for Rigid Pavement Based on Using Mean Values for Each Input Variable (Segment 1)

35

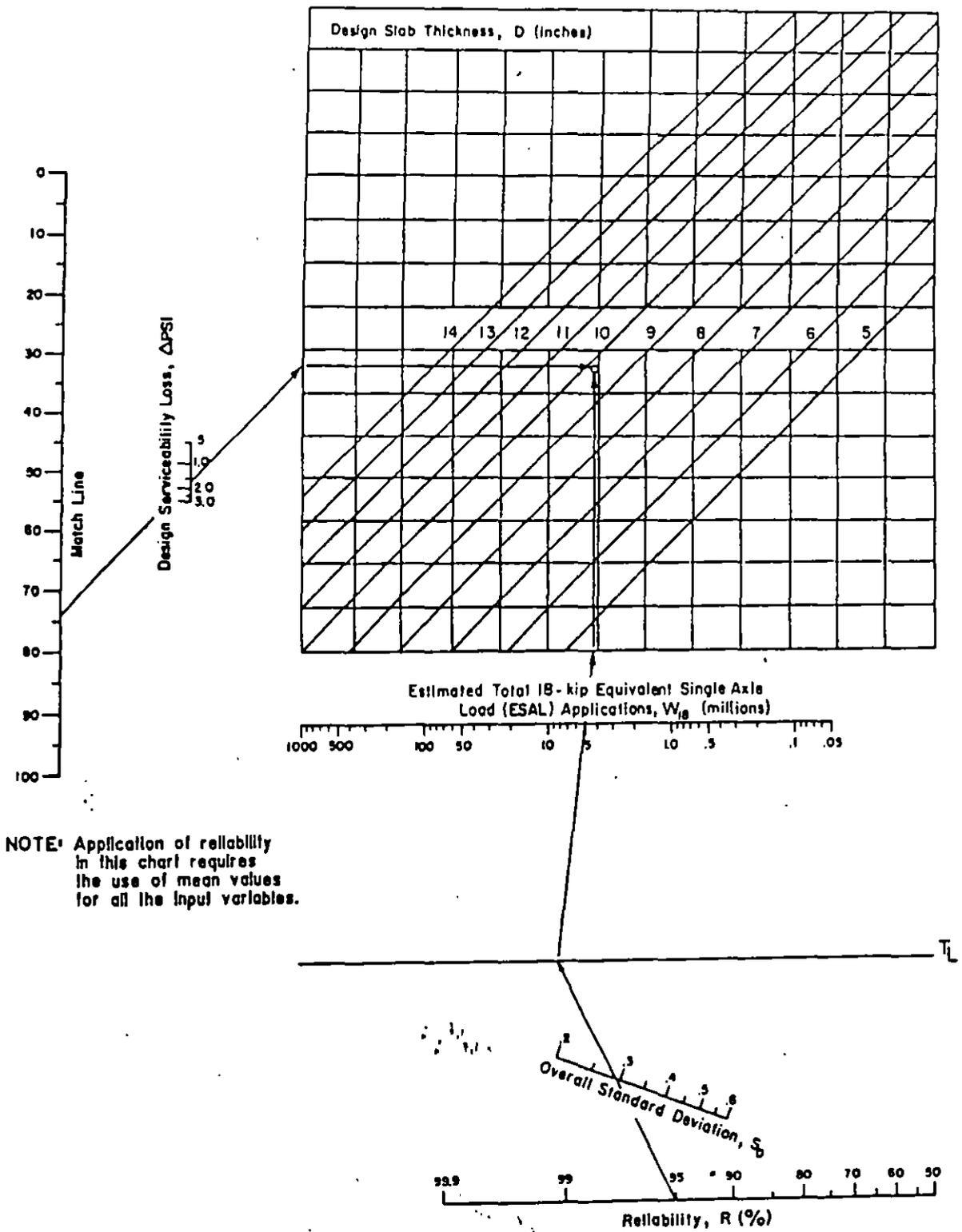


Figure 3.7. Continued—Design Chart for Rigid Pavements Based on Using Mean Values for Each Input Variable (Segment 2)

PAVIMENTOS I, 1995

B I B L I O G R A F I A

- PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. E.J. YODER, M.W. WITCZAK. JOHN WILEY AND SONS. 1975.
- SECCIONES DE FIRME. INSTRUCCION 6.1-I.C. Y 6.2-I.C. MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. MADRID, ESPAÑA, 1990.
- PAVIMENTOS ASFALTICOS. J.R. MARTIN, H.A. WALLACE. AGUILAR, S.A. DE EDICIONES, 1962.
- INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS. MANUAL 444. INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM MEXICO, 1980.
- MANUAL SERIES, ASPHALT INSTITUTE. USA.
- TICKNESS DESIGN FOR CONCRETE PAVIMENTS. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, USA.
- AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION MANUALES PARA DISEÑO DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS.
- IMCYC SEMINARIO INTERNACIONAL PAVIMENTOS DE CONCRETO.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS  
DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

**"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS I"**

del 4 al 15 de septiembre de 1995

DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS

EXPOSITORES :

Ing. Luis Miguel Aguirre .

Ing. Manuel Zarate Aquino. .

## EVALUACION DE PAVIMENTOS

### 1.4 Evaluacion de Pavimentos.

Con anterioridad a la ejecución del Tramo de Prueba AASHO, se prestaba poca atención a la evaluación de un pavimento; simplemente el pavimento era bueno o requería una reparación.

El conocimiento de las condiciones en que se encuentra un pavimento, es un aspecto que en la actualidad interesa sobremanera a los ingenieros y personal encargados de su diseño y conservación, incluyendo en forma especial, a los usuarios. Consciente o inconscientemente, el usuario califica las condiciones en que se encuentra un pavimento cada vez que conduce un automóvil o durante el carreteo de una aeronave en una operación de aterrizaje o despegue.

Son varias las razones que motivan el estudiar y conocer las condiciones en que se encuentra un pavimento, pudiendo señalarse entre otras, las siguientes:

1. Al ingeniero que ha realizado el proyecto de un pavimento, le ayuda a determinar el grado de éxito alcanzado por su proyecto, al cumplir con los criterios de diseño y, en su caso, le ayuda a comprender las causas de su fracaso.
2. Sirve para efectuar la planeación de un programa óptimo de mantenimiento y establecer la necesidad de realizar trabajos de conservación más importantes, reconstrucción y de reubicación del camino.
3. Permite realizar un pronóstico de la vida útil del pavimento.
4. Ayuda a determinar la capacidad del pavimento para soportar un volumen de tránsito, permitiéndose asimismo, efectuar la actualización del pavimento, acorde con las futuras necesidades del tránsito.
5. Sirve para determinar el refuerzo que un pavimento deteriorado requiere para funcionar adecuadamente.
6. Constituye una base para el establecimiento de nuevos conceptos, importantes en el diseño de pavimentos.

Los estudios efectuados para la evaluación de un pavimento pueden clasificarse en dos grupos:

1. Estudios del comportamiento funcional, desde el punto de vista de su operación y servicio.
2. Evaluación mecanicista, desde el punto de vista de su capacidad estructural.

Los primeros proporcionan un juicio para valorar el grado en que un pavimento es adecuado para su transitabilidad. Los segundos permiten efectuar la evaluación estructural del pavimento, proporcionando la información suficiente para poder diseñar el refuerzo que en su caso llegara a requerir.

#### Estudios de Comportamiento-Servicio.

Comprenden estudios de evaluación de las condiciones superficiales que guarda un pavimento, estableciendo una apreciación de su capacidad para prestar servicio desde el punto de vista de su transitabilidad. La evaluación de esta cualidad es un problema complejo en el que intervienen tres

sistemas interrelacionados entre sí: el usuario, el vehículo y la rugosidad del pavimento, entendiéndose por esto último, como las irregularidades en la superficie de un pavimento que influyen en la calidad del rodamiento.

Los estudios a realizar son los siguientes:

1. La apreciación subjetiva de la transitabilidad del pavimento, efectuada mientras se conduce un vehículo a una velocidad normal.
2. La medición de la rugosidad del pavimento.
3. Valoración de los deterioros superficiales, mostrando la ubicación y extensión de los aspectos observados.

Los ingenieros de la prueba AASHO desarrollaron un método para la apreciación del estado superficial del pavimento, basado en el Concepto de Servicio Actual, de acuerdo con el cual, para un tramo específico de pavimento, el Servicio Actual es la capacidad que tiene, según la opinión del usuario, para proporcionar un tránsito suave y cómodo en condiciones normales de operación.

El método requiere que un grupo de cinco personas, como mínimo, efectúe un recorrido por el pavimento, previamente dividido en secciones. Basándose exclusivamente en las condiciones superficiales del pavimento y en el hecho de que este deberá prestar servicio a un volumen de tránsito mezclado bajo cualquier condición de tiempo, las personas que integran el grupo, deberán emitir una calificación del pavimento, variable entre cero para muy malo y 5 para muy bueno.

Las bases en que se apoya este método son las siguientes:

1. Las carreteras se construyen para conveniencia y comodidad del usuario.
2. La opinión del usuario en torno a la forma en que se da servicio una carretera, es enteramente subjetiva.
3. Las características que pueden medirse en una carretera, analizadas y manejadas convenientemente, pueden relacionarse con la opinión subjetiva del usuario.
4. El servicio dado por una carretera puede expresarse por el promedio de la evaluación efectuada por los usuarios de la misma.
5. El comportamiento de un pavimento puede establecerse a partir de las observaciones periódicas del servicio desde el momento de su construcción hasta el momento que se desee.

De los resultados de la prueba AASHO se obtuvo que la rugosidad de un pavimento o su perfil, se encuentran estrechamente relacionados con la apreciación de su servicio y que el comportamiento del pavimento evaluado en esta forma, se encuentra correlacionado con ciertos factores de diseño.

Para la medición de la rugosidad o bien, de las deformaciones de la superficie del pavimento se han diseñado dispositivos que permiten la evaluación superficial en forma rápida y mecánica. Los valores obtenidos en esta forma han sido correlacionados con las calificaciones obtenidas en la forma antes descrita, obteniéndose un valor numérico llamado Índice de Servicio Actual.

Entre estos dispositivos se pueden señalar los rugómetros desarrollados por la Oficina de Carreteras Públicas, y Departamento de Carreteras de California, fotografía (1); el perfilómetro CHLOE, fotografía (2) desarrollado en la Prueba AASHO y el perfilógrafo del Departamento de Carreteras de California, fotografía (3).

El primero determina un índice de rugosidad, en pulgadas por milla. Con el segundo se obtiene una medida del perfil del pavimento, expresada en términos del cambio del ángulo de dos líneas de referencia y el último proporciona un índice de perfil, expresado en pulgadas por milla.

El perfilógrafo transversal es otro dispositivo que permite obtener información sobre las deformaciones del pavimento en una sección transversal, fotografía (4).

Se llevan a cabo investigaciones del verdadero perfil del pavimento, en correlación con estudios de la sensibilidad del usuario para obtener ecuaciones de índice de servicio. También se investiga en aspectos de requisitos de operación y seguridad de las aeronaves. La Dirección General de Aeropuertos de la S.O.P. realiza estudios de este tipo en los aeropuertos del país.

#### Evaluación Mecanicista.

##### 1. Examen de las condiciones que exhibe un pavimento.

Este aspecto es tan antiguo como la utilización misma de los caminos y constituye en sí la primera forma de investigación, que permitió la acumulación de la experiencia, a través de la observación del comportamiento del pavimento bajo diferentes situaciones. El examen y análisis de las condiciones que exhibe un pavimento proporciona la información necesaria para valorar el papel que desempeña cada elemento que lo constituye, en el comportamiento integral del pavimento, constituyendo una de las herramientas básicas en el conocimiento de la ingeniería de los pavimentos.

Los pavimentos fracasan a menudo debido a una combinación de varias razones, en ocasiones difíciles de determinar, siendo por lo tanto necesario que las inspecciones del estado del pavimento se realicen por personal experimentado, para conocer la causa o causas del fracaso. Al respecto es indispensable conocer los tipos y causas de falla en los pavimentos.

Las inspecciones se realizan con mayor detalle que el requerido para la calificación de un tramo, e incluyen un registro de la ubicación, magnitud y tipo de los deterioros observados, así como tipo y condiciones de los trabajos de mantenimiento.

Para el efecto, existen varias formas usadas para reportar la información recabada en el campo, incluyendo en la actualidad el empleo de tarjetas perforadas, en las que pueden anotarse los datos de construcción. Se está haciendo uso además de fotografías y películas, éstas últimas tomadas desde un camión en movimiento.

##### 2. Pruebas no destructivas.

Es muy deseable poder efectuar una evaluación de la capacidad estructural de los elementos constituyentes de un pavimento, sin alterarlos o destruirlos. De esta manera, las mediciones se realizan en la superficie del pavimento y los resultados se relacionan a las propiedades estructurales de los materiales de las capas inferiores.

Generalmente se mide la respuesta de la estructura del pavimento a la aplicación de una fuerza o energía externa, y puesto que no se altera la estructura del pavimento, las pruebas pueden repetirse varias veces en el mismo sitio.

Se clasifican las pruebas de este tipo en tres categorías principales.

1. Mediciones de respuestas bajo cargas estáticas o móviles, aplicadas a baja velocidad.
2. Mediciones de respuestas a la aplicación de cargas repetidas.
3. Mediciones de respuestas de una masa a una fuente controlada de energía nuclear.

La respuesta a la aplicación de una carga sencilla es obtenida midiendo la deflexión producida en la superficie del pavimento. El dispositivo generalmente usado es la Viga Benkelman, medidor portátil desarrollado en el Tramo de Prueba WASHO, que determina deflexiones de milésimos de pulgada-fotografía 5. Los resultados de un estudio efectuado en California indican que cuando las deflexiones de la superficie de un pavimento flexible exceden de un cierto valor, ese pavimento generalmente muestra signos de deterioro. La comparación de las deflexiones medidas con un valor de deflexión crítica proporciona un medio de programar el mantenimiento de los pavimentos flexibles. Por otra parte, los estudios realizados en el Tramo de Prueba AASHO indicaron que en el caso de pavimentos flexibles, existe una relación entre las deflexiones producidas y su comportamiento, por lo que este método puede utilizarse como un medio de evaluar el comportamiento de un pavimento. Puede señalarse que la Viga Benkelman es un instrumento sencillo de operar, pero existen variables como la temperatura del pavimento y el radio de curvatura de la deflexión producida, que requieren ser tomadas muy en cuenta en la interpretación de los resultados. En pavimentos de aeropuertos se ha usado este método utilizando la aeronave de diseño para aplicar la carga, figura 6.

Varias agencias emplean las pruebas de placa para obtener deflexiones en el pavimento bajo la acción de cargas estáticas y repetidas. La Portland Cement Association ha desarrollado, por ejemplo, un método para determinar el valor del módulo de reacción de la subrasante en pavimentos rígidos, aplicando una carga al pavimento y midiendo las deformaciones unitarias y deflexiones ocasionadas por la misma.

Pruebas de este tipo han sido desarrolladas para su aplicación en la evaluación de pavimentos de aeropistas, citándose entre ellas, las desarrolladas por el Departamento del Transporte de Cana-

da que permite obtener el Valor Soporte de la Subrasante. Esta agencia ha establecido una correlación de este método con los resultados obtenidos con Viga Benkelman. Asimismo, puede citarse el Método de Número de Clasificación por Cargas (LCN), aplicado a la evaluación de pavimentos rígidos y flexibles de Aeropuertos (Fotografías 7 y 8 Camión Lastrado con 110 ton y placa de 18"  $\phi$ ).

Instalando dispositivos especiales dentro de la estructura del pavimento ha sido posible medir las deflexiones producidas al paso de cargas repetidas en movimiento. Los citados dispositivos deben instalarse permanentemente en el pavimento, no estando aún aclarada la influencia, en los resultados obtenidos de un dispositivo que es diferente al medio que lo rodea.

En el tramo de prueba AASHO se realizaron mediciones de vibraciones producidas a pavimentos flexibles, al aplicar en la superficie una fuerza vertical alternante y midiendo posteriormente las deflexiones y la velocidad de propagación de las ondas. Las primeras proporcionan un valor de la rigidez elástica de la estructura total del pavimento, en tanto que la segunda puede proporcionar idea de la rigidez de las varias capas que lo integran. El Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. ha empleado un equipo vibratorio para determinar el módulo de elasticidad del suelo bajo un pavimento, siguiendo el método desarrollado por la Compañía Shell en Holanda. A partir del valor del módulo obtenido y aplicando la teoría de la elasticidad puede determinarse la resistencia del pavimento.

En Texas se realizó un estudio utilizando un sistema de cargas dinámicas y midiendo las deflexiones en la superficie mediante geófonos aplicados a la misma. Estas deflexiones fueron comparadas con las correspondientes a la Viga Benkelman, obteniéndose como resultado, la indicación de que puede establecerse una correlación entre ambos métodos. El equipo empleado es de tipo móvil y el tiempo requerido para la ejecución de las pruebas es bastante corto, lo que constituye factores favorables para su aplicación. En la fotografía 9 se presenta este equipo conocido comercialmente como Dynaflect, que la S.O.P. está empleando para estudios de evaluación de pavimentos.

En la época actual se han empleado pruebas nucleares para medir la densidad y humedad en los materiales de pavimentación y se ha extendido su uso a la determinación del contenido de asfalto y densidad de mezclas. En Wisconsin se han iniciado experimentos para adaptar el uso de estos dispositivos a la evaluación de los pavimentos, midiendo por ejemplo las variaciones de la densidad en el transcurso del tiempo.

Los métodos descritos proporcionan buena información sobre la capacidad estructural de los pavimentos y del suelo de cimentación, sin embargo ninguno de ellos puede considerarse que proporciona una evaluación precisa de la resistencia de las capas inferiores. Existe actualmente la tendencia a emplear métodos electrónicos y nucleares, que permitan obtener mayor precisión en la determinación de la capacidad estructural de los elementos que constituyen el pavimento.

### 3. Pruebas destructivas.

Es necesario en ocasiones, observar directamente la estructura de un pavimento con el objeto de determinar dónde y porqué ocurrió una falla. En tales situaciones se requiere excavar una cala o una trinchera en el pavimento, destruyendo su estructura.

Las técnicas empleadas dependen del tipo de información requerida, llegando a requerir la obtención de muestras inalteradas de las diferentes capas.

La observación de las paredes del corte puede aclarar el mecanismo de falla y las pruebas ejecutadas en las muestras obtenidas proporcionarán información sobre la capacidad estructural del pavimento. La fotografía 10 ilustra una cala en el pavimento y la fotografía 11 una trinchera que permite apreciar las condiciones del pavimento.

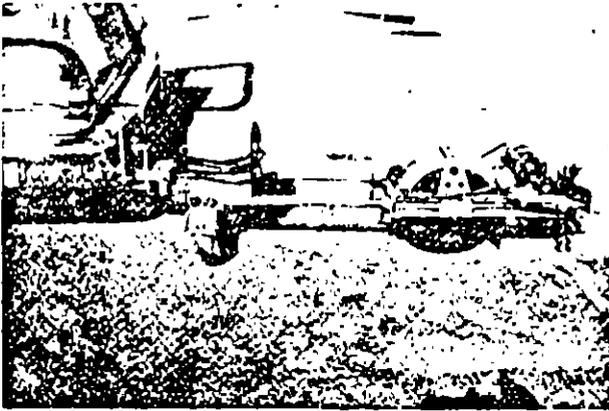
Adicionalmente se requiere evaluar todas las variables que afectan el comportamiento del pavimento, antes de establecer una conclusión.

Actualmente se llevan a cabo estudios de evaluación tanto del tipo de comportamiento funcional, como mecanicista. Los métodos de investigación mediante sistemas destructivos se emplean en casos muy especiales.

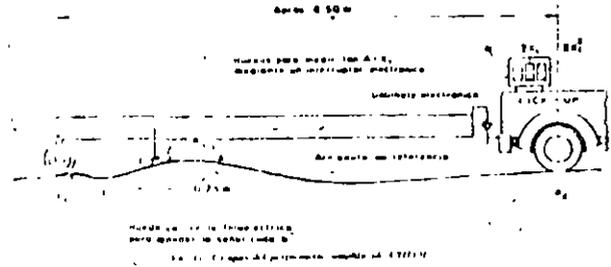
Investigación.- Algunos de los tópicos actualmente en investigación en este campo son los siguientes tests:

1. Desarrollar métodos de evaluación más rápidos y confiables.
2. Establecer técnicas de control de acabados superficiales durante la construcción.
3. Mejorar el concepto de índice de servicio.
4. Aumentar el conocimiento acerca de las propiedades mecánicas de los pavimentos y de sus componentes por métodos no destructivos.

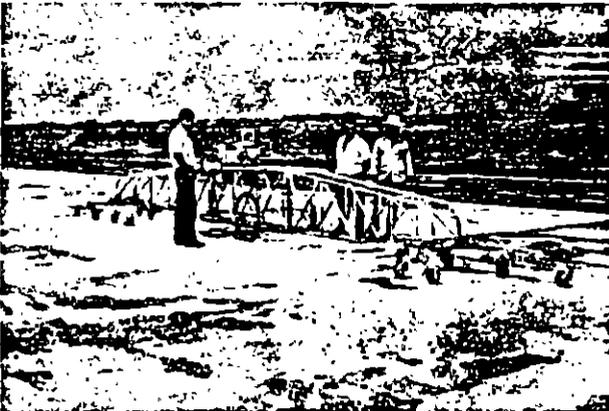
Cabe mencionar que los métodos de evaluación antes descritos, aunque en gran parte han sido desarrollados por técnicas extranjeras, constituyen en la actualidad métodos cada vez más familiares a los ingenieros de nuestro País, observándose una franca tendencia a utilizarlos cada vez más en el estudio de nuestras carreteras y aeropistas.



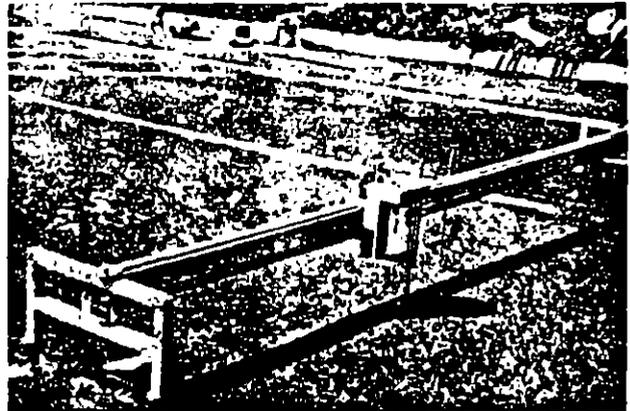
FOTOGRAFIA Nº 1



FOTOGRAFIA Nº 2



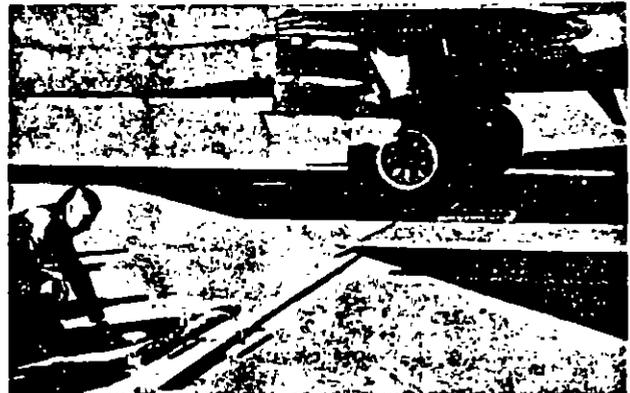
FOTOGRAFIA Nº 3



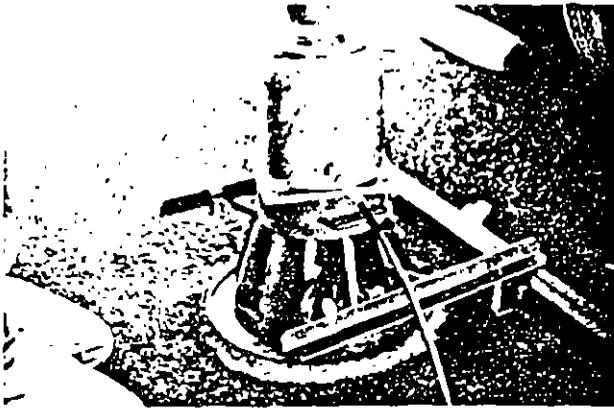
FOTOGRAFIA Nº 4



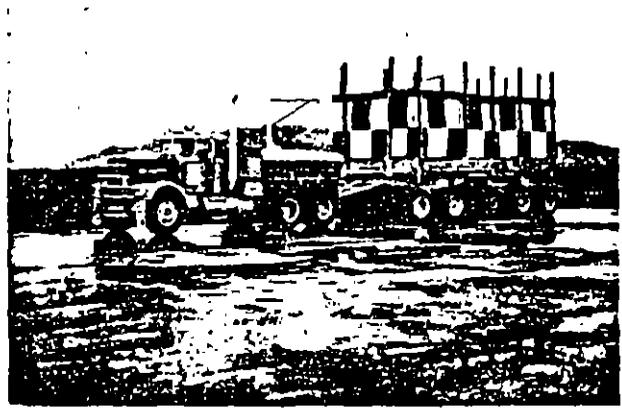
FOTOGRAFIA Nº 5



FOTOGRAFIA Nº 6



FOTOGRAFIA Nº 7



FOTOGRAFIA Nº 8



FOTOGRAFIA Nº 9



FOTOGRAFIA Nº 10



FOTOGRAFIA Nº 11

# CONSERVACION Y REHABILITACION DE LAS OBRAS VIALES

M. ZARATE AQUINO

Geosol, S.A.

## 1.- INTRODUCCION

El deterioro de la superestructura de las obras viales se inicia en el momento mismo en que termina su construcción, reparación o rehabilitación. Bien sea que se trate de un pavimento de carretera, calle o aeropista, o de una vía férrea, estas estructuras se ven sometidas de inmediato a los efectos agresivos del medio ambiente, tales como la variación de la temperatura, de la humedad, etc., los que aunados a los efectos destructivos del tránsito, determinan la amplitud de su vida útil. Es conveniente señalar que existen otros factores también determinantes en la vida útil de estas estructuras, tales como la calidad de los materiales empleados en su construcción y en la subrasante que les sirve de apoyo, las condiciones de drenaje y subdrenaje, así como el nivel de la calidad y cuidados ejercidos durante su construcción. Por lo tanto, a partir del momento en que una obra vial es puesta en operación, se hace necesario emprender el proceso requerido para que las estructuras mencionadas proporcionen durante su vida útil un servicio adecuado al usuario; este proceso comprende un conjunto de acciones denominadas "conservación y rehabilitación", las que requieren ser ejercidas por dependencias especializadas, con tecnologías y procedimientos específicos para su planeación, proyecto y ejecución. Estas acciones, adecuadamente planeadas, pueden asimismo prolongar la vida útil de las obras viales, dentro de límites económicos.

Para el caso específico de carreteras, la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), define las funciones de conservación y rehabilitación como las "necesarias para que cualquier tipo de camino, estructura vial e instalación carretera, se mantenga en condiciones similares a las de su estado original al término de su construcción o después de mejoras posteriores, así como la operación de las instalaciones carreteras y servicios necesarios, para proporcionar una transportación satisfactoria y segura". Aunque los términos anteriores fueron establecidos a propósito de las carreteras, es indudable que pueden ser igualmente aplicables a ca-

lles, aeropuertos y vías férreas.

Las acciones relativas a la conservación y rehabilitación han sido consideradas en el pasado en un nivel secundario, siendo desarrolladas por dependencias que desde el punto de vista de su organización, actúan en forma independiente de las que tienen a su cargo el proyecto y construcción, dando como resultado que los problemas que cada una de esas dependencias debe resolver, desemboquen en soluciones segmentadas de acuerdo con el sistema de organización adoptado.

Desde el punto de vista moderno de organización, se considera que las barreras entre las acciones de las dependencias mencionadas son artificiales, y que debe considerarse un sistema en el cual puedan coordinarse con efectividad las acciones de proyecto, construcción, evaluación y conservación, aún cuando tales dependencias funcionen independientemente desde el punto de vista administrativo. De esta manera se tendrán grandes ventajas al aumentar la posibilidad de tomar decisiones certeras, al considerar todos los factores relevantes y alternativas en forma coordinada y a la vez, poder hacer un mejor uso de la tecnología disponible, mediante procesos de coordinación y retroalimentación.

Al respecto es importante mencionar como un ejemplo, la estrecha relación que existe entre los procedimientos y prácticas de diseño y construcción y los problemas que deben afrontar la conservación y la rehabilitación, ya que éstas reciben a manera de herencia, todas las fallas y defectos cometidos en las etapas mencionadas.

Finalmente es importante mencionar que la conservación y la rehabilitación demandan la disponibilidad de recursos económicos suficientes para que esas tareas sean oportunas, adecuadas y por lo tanto eficientes. Generalmente tales recursos resultan escasos, dando lugar a diferir la ejecución de dichos trabajos, con lo que los problemas aumentan en magnitud, tanto física como económica, generándose situaciones muy complicadas para su correcta solución, llegando con el tiempo a requerirse de importantes trabajos de re-

construcción, o bien un rezago que mantiene a una red vial en condiciones precarias de servicio, ejecutándose si acaso, acciones de emergencia o meramente a nivel de paliativos.

## 2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA CONSERVACION Y REHABILITACION

La conservación como fue definida anteriormente, significa mantener los elementos e instalaciones de que consta una obra vial en condiciones tan parecidas como sea posible, a las de su estado original cuando fue construida o mejorada, bajo condiciones normales de tránsito y del medio ambiente, --- ref. 1. Dependiendo de las circunstancias --- prevalecientes, lo anterior sugiere la periódica y casi inmediata aplicación de --- acciones rutinarias, que tiendan a la prevención y corrección de situaciones inaceptables o desfavorables, desde el punto de vista de la correcta utilización de la obra vial. Estas acciones son aplicables principalmente a la estructura de dicha obra, sin embargo se extienden además a las fajas del derecho de vía; únicamente se hará referencia a las que correspondan a la estructura de la obra vial, bien sea que se trate de carreteras, elementos de operación terrestre de aeropuertos y vías férreas.

La ejecución de las acciones mencionadas deben ser oportunas y adecuadas para --- que cumplan con su cometido. De ser así, se podrá prolongar la vida útil de la estructura; sin embargo, a pesar de ello, con el --- tiempo se incrementará el número e importancia de los deterioros que se manifiesten en la superficie de la estructura, se volverá incómodo e inclusive peligroso su rodamiento y los costos de conservación se incrementarán, alcanzándose niveles excesivos para estos parámetros, por lo que deberán emprenderse otro tipo de acciones, de mayor importancia y de costo superior, que se denominan de rehabilitación, cuyos principales objetivos, de acuerdo con el criterio de la AASHTO son: 1) mejorar las condiciones superficiales para un recorrido cómodo y seguro, 2) ampliar la vida de la estructura vial, iniciando un nuevo ciclo de vida, 3) reconstruir las secciones que manifiesten debilidad estructural o de su terreno de cimentación, 4) mejorar las condiciones de drenaje y subdrenaje, y 5) mejorar las condiciones geométricas, incluyendo los alineamientos vertical y horizontal, ancho de corona, visibilidad, etc. En otras palabras, las --- acciones comprendidas en la conservación serán de carácter preventivo y correctivo, en tanto que en la rehabilitación, deben considerarse las acciones necesarias para mejorar la calidad de rodamiento, incluyendo su seguridad, y adecuar la capacidad estructural de acuerdo con las condiciones de tránsito futuro.

Lo anterior puede verse gráficamente en la fig 1, en la que se muestra cómo varía el índice de servicio a través del tiempo.

Este concepto es una medida de la servicia- bilidad o comodidad con que el usuario transita por la superficie de rodamiento, y su valor decrece paulatinamente dentro de una calificación de 0 a 5, a medida que en la superficie se inicia la aparición y desarrollo de diferentes tipos de deterioros que afectan la calidad de rodamiento. De esta manera, en el transcurso del tiempo el índice de servicio llegará a un valor límite tolerable, que es denominado nivel de rechazo y corresponde a las condiciones de rodamiento mínimas que el usuario puede soportar --- desde el punto de vista de su comodidad y seguridad. Este valor depende de la importancia de la carretera, estableciéndose convencionalmente un valor de 2.5 para carreteras de primer orden y de 2.0 para carreteras secundarias. En la citada figura se observa que el nivel de rechazo se alcanzó en el tiempo  $T_1$ , sin embargo, de acuerdo con el tipo de conservación que se aplique podrá extenderse la vida útil del pavimento, prolongándose hasta alcanzar los tiempos  $T_2$ ,  $T_3$ , etc., cuyos beneficios solamente podrán juzgarse analizando el costo de cada una de las diferentes alternativas de conservación propuestas y el incremento logrado en la vida útil. En la misma figura se observa que al llegar al tiempo  $T_1$  se ha adoptado el criterio de restituir las condiciones originales del pavimento, para lo cual se hace necesario llevar a cabo las acciones de rehabilitación, dando origen a una nueva etapa o ciclo en la vida del pavimento.

Un aspecto importante en la conservación es el relativo a los costos que implican las acciones correspondientes. Independientemente de los gastos normales de conservación que deben realizarse dentro de un período normal de vida útil de un pavimento, en ocasiones es posible y necesario extender su vida aún cuando se encuentre severamente dañado, mediante una conservación que implique trabajos importantes y costosos, pero que deben realizarse por no disponer de los fondos necesarios para emprender una rehabilitación formal. La fig 2 muestra esta situación, en la que puede observarse que gracias a una conservación intensiva y costosa, es posible mantener el estado del pavimento ligeramente arriba del nivel del rechazo. La figura muestra el costo acumulativo de conservación, observándose que puede establecerse igualmente un nivel de rechazo para los costos, de tal manera que puede considerarse como un índice de que un pavimento ha fallado, el momento en que los costos de conservación se tornan excesivamente altos.

De lo anterior se desprende que para de terminar el comportamiento de un pavimento, predecir su vida útil, establecer si ya ha llegado a la condición de falla y sobre todo, planear de una manera racional los trabajos que deben realizarse para su conservación y rehabilitación, es necesario efectuar un proceso específico de investiga-

ción, denominado evaluación, y cuyo mecanismo es necesario conocer en algún detalle, para los fines de conservación y rehabilitación.

### 3.- EVALUACION

Las condiciones de rodamiento y el comportamiento de una obra vial constituyen factores muy importantes para los ingenieros encargados de su diseño, construcción y conservación, ya que las actividades que deben realizar están íntimamente relacionadas con el comportamiento de la estructura. Existe además otro grupo sumamente interesado en estos aspectos y es el constituido por los usuarios de la obra vial, tratándose de un pavimento o de una vía férrea.

Para los fines específicos de la conservación y rehabilitación de las obras viales, consideradas individualmente o constituyendo una red, la información obtenida por medio de un proceso de evaluación es muy importante, pues permite establecer prioridades y estrategias de conservación y rehabilitación, planear la asignación de los recursos necesarios para su ejecución, y estimar el comportamiento futuro bajo las estrategias consideradas. La información recabada es igualmente importante para verificar y mejorar los criterios de diseño, la bondad de los procedimientos constructivos, la efectividad del control de calidad y anticipar el comportamiento futuro de un pavimento bajo determinadas condiciones de operación, por ejemplo ante un incremento de cargas, mayor afluencia de tránsito, etc. Ref 2

Actualmente, las técnicas de evaluación son muy variadas en cuanto a los equipos y tecnologías empleadas, y forman parte de un campo de la ingeniería en el que se han registrado grandes avances, debido entre otras cosas, a la gran importancia que hoy en día se ha dado a la evaluación en cuanto a la toma de decisiones y a su trascendencia económica. Por otra parte debe considerarse el hecho de que en los países altamente desarrollados, sus redes viales están prácticamente completas, de manera que se observa en ellos una declinación en la construcción de obras viales nuevas a cambio de un incremento en las necesidades de su conservación y rehabilitación, lo que ha provocado el gran avance tecnológico a que se ha hecho referencia.

De acuerdo con los objetivos y recursos, la evaluación puede realizarse con equipos muy simples y poco costosos, o bien con equipos muy sofisticados y de alto costo, de manera que para definir el procedimiento a seguir será necesario tener en cuenta los parámetros que interesa medir, los equipos adecuados para ello, la forma en que se presenta, almacena y analiza la información captada y el proceso de retroalimentación para optimizar la técnica empleada.

En un proceso de evaluación se investigan tres componentes principales, que son los indicadores básicos de la condición en que se encuentra una estructura vial. Estos indicadores son 1) comodidad de rodamiento, 2) capacidad estructural, y 3) seguridad. De acuerdo con las circunstancias particulares de cada caso, se le otorga a cada uno de los citados indicadores la importancia requerida. Finalmente es necesario enfatizar que los indicadores varían con el tiempo, de tal manera que el conocimiento de su variación con respecto a este parámetro constituye la historia del comportamiento de la estructura.

#### 3.1.- Procedimientos de Evaluación

##### 3.1.1. Pavimentos de Carreteras

En el ámbito mundial se considera actualmente que el proceso de evaluación forma parte del denominado Sistema de Administración de Pavimentos (Pavement Management System, PMS), el cual está constituido por una serie de procesos que le permiten organizar, coordinar y controlar todas las actividades que afectan a la vida y el costo de los pavimentos. La función básica del PMS es la de proporcionar al usuario un sistema carretero seguro y eficiente, con énfasis en el proyecto, construcción y la conservación perpetua del sistema, a fin de garantizar la mejor calidad con el menor costo. La aplicación del PMS tiene como ventajas fundamentales las de aumentar la posibilidad de tomar decisiones certeras, al considerar todos los factores relevantes y las alternativas en forma coordinada, además de poder hacer un mejor uso de la tecnología disponible, mediante procesos de coordinación y retroalimentación, Ref 2 y 3. La fig 3 muestra las principales actividades involucradas en un PMS y la forma en que están interrelacionadas.

En cuanto a los principales indicadores del estado de un pavimento, en la fig 4 se representa esquemáticamente la forma en que varían con el tiempo, hasta alcanzar cada uno de ellos un nivel de rechazo prefijado, momento en que se define el fin de un ciclo de vida útil del pavimento. Como se mencionó anteriormente, mediante acciones de rehabilitación es posible iniciar un nuevo ciclo en la vida del pavimento, en el tiempo  $T_1$  de la figura por ejemplo, repitiéndose el proceso de degradación de las condiciones del pavimento, hasta cumplirse otra etapa en el tiempo  $T_2$ , en que vuelve a repetirse el ciclo mediante la aplicación de nuevas acciones de rehabilitación. La figura manifiesta que durante la vida de diseño del pavimento una o más veces los indicadores pueden alcanzar niveles de rechazo, requiriéndose acciones de rehabilitación para que el pavimento pueda seguir prestando un servicio adecuado.

Como puede verse en la misma fig 4, además de los indicadores de capacidad estructural, comodidad de rodamiento, deterioros superficiales (que están ligados a problemas de capacidad estructural, comodidad y seguridad).

dad), así como la resistencia al derrapamiento, existen indicadores de orden económico que también pueden utilizarse para definir cuándo ha concluido una etapa en la vida útil de un pavimento; tales son los costos de conservación y los costos de operación.

Los primeros corresponden a todos los trabajos realizados para conservar el pavimento, cuyo monto se incrementa año tras año, a medida que aumentan los deterioros superficiales en el pavimento y disminuye la comodidad de rodamiento. Los segundos son efectuados por el usuario y corresponden a consumos de combustible, llantas, refacciones, etc., mantenimiento del vehículo y su depreciación, tiempo de recorrido, accidentes, etc, los cuales están muy ligados con el estado del pavimento. A medida que el pavimento se deteriora en mayor grado con el transcurso del tiempo, se reduce la velocidad de operación del vehículo y el recorrido se torna incómodo e inseguro, además de que aumentan las interferencias con los trabajos de conservación, que cada vez deben ser realizados con mayor frecuencia, lo que se traduce en congestiones, accidentes y en mayor costo para los usuarios, Ref 4. Por lo tanto el conocimiento de la forma en que varían ambos tipos de costos en el transcurso del tiempo, constituye otro indicador más del comportamiento de un pavimento, y pueden ayudar a definir la política a seguir.

La evaluación de los pavimentos, consistente en la medición de la evolución de los indicadores mencionados, debe realizarse periódicamente con el objeto de reunir la información necesaria para realizar las acciones siguientes:

- 1.- Proporcionar la información necesaria para poder comprobar el cumplimiento de la premisas y predicciones del proyecto, y en su caso poder modificar los criterios para actualizar el método o modelo de diseño.
- 2.- Predecir el comportamiento futuro del pavimento, para programar las acciones de conservación y rehabilitación, así como los fondos necesarios para ello.
- 3.- Obtener información que permita mejorar las técnicas de construcción, conservación y rehabilitación.
- 4.- Recabar la información necesaria para actualizar los programas de mejoramiento de la red.

Como puede verse, el proceso de evaluación constituye una pieza clave dentro del PMS y una herramienta muy útil para detectar necesidades y puntos débiles, tanto en una carretera o tramo en particular, como en toda una red.

Para la aplicación de un PMS, actualmente se pretende establecer modelos de predicción para varios de los principales parámetros de diseño, modelos que se basan en correlaciones teóricas o empíricas. Los principales modelos se refieren a 1) la predicción de comportamiento, que relaciona el comportamiento con el grado de deterioro y respuesta bajo cargas, 2) de resistencia al derrapamiento y seguridad y 3) costos de construcción inicial, conservación, rehabilitación y operación.

El proceso de evaluación requiere la medición periódica o monitoreo de un pavimento. A continuación se presentan en forma resumida, las variables que interesa conocer y los procedimientos de monitoreo más usuales.

#### 1.- Estructurales

a) Procedimientos Destructivos.- Se refieren a la estructuración del pavimento y resistencia de los materiales que lo constituyen. Pueden determinarse mediante la ejecución de pruebas destructivas que requieren de calas, pozos y trincheras, de las cuales pueda obtenerse en forma directa el número de capas y su espesor individual, así como el muestreo de los materiales que las constituyen, para determinar sus características mediante pruebas de laboratorio.

La extensión del programa de exploración y muestreo, incluyendo la ubicación, tipo, profundidad y clase de muestras que se desean obtener, se define de acuerdo con la finalidad de la evaluación, extensión del tramo evaluado, aspectos topográficos, geométricos, geotécnicos y ambientales, tránsito y características del pavimento que se va a evaluar. Un aspecto muy importante que debe tenerse en cuenta es la interferencia con el tránsito, lo cual constituye una gran limitación en cuanto al número, posición y tipo de exploración. Así mismo deben tenerse presente aspectos prácticos, como el manejo del tránsito para que no ocurran accidentes, tapar las excavaciones perfectamente el mismo día, etc.

El muestreo debe realizarse en forma tal que se obtengan especímenes representativos y de preferencia inalterados, con el objeto de ensayarlos con la estructuración y humedad reales. Por otra parte, el muestreo está condicionado con la clase de pruebas que se planee ejecutar. Al respecto, el criterio a seguir es definir el tipo de prueba que proporcione la información apropiada para los análisis que se van a ejecutar, por ejemplo, si se emplean procedimientos basados en modelos teóricos, deberán realizarse ensayos que permitan determinar módulos derivados de las relaciones esfuerzo-tiempo; en modelos viscoelásticos será necesario conocer las características de fluencia o propiedades similares y en los casos de métodos empíricos, las pruebas de ese mismo tipo.

Existe una amplia variedad de métodos y procedimientos de prueba tanto de campo como de laboratorio, que pueden clasificarse como empíricas o fundamentales, y que determinan propiedades como tensión, compresión, esfuerzo cortante, flexión, torsión o sus correlaciones con procedimientos empíricos. Las pruebas que determinan directamente propiedades fundamentales son muy útiles y en años recientes han sido motivo de un gran uso y desarrollo.

Las propiedades fundamentales de los materiales pueden determinarse mediante pruebas de laboratorio y de campo, que mediante simplificaciones tratan de eliminar las complejidades del comportamiento de los materiales, ocasionadas por los factores que lo determinan, tales como el tránsito y los factores ambientales. Se reconoce que dichas simplificaciones constituyen una aproximación a los verdaderos valores, pero aún así constituyen una práctica mejor que el empleo de pruebas empíricas.

Las pruebas que comúnmente se realizan en los materiales de capa subrasante y pavimento, son las siguientes:

- a) Valor Relativo Soporte, Ref 5
- b) Pruebas de pisca, Ref 5
- c) Módulo dinámico complejo, Ref 6
- d) Módulo de resiliencia, Ref 7
- e) Rigidez a la flexión, Ref 8
- f) Tensión indirecta estática o dinámica, Ref 9
- g) Módulo de rigidez, Ref 10
- h) Deformación viscoelástica, Ref 11

La primera prueba puede ejecutarse tanto en el campo como en el laboratorio y su utilización es sumamente amplia hoy en día, pese a que se le consideran bases empíricas. Las pruebas de placa se aplican al campo y su uso también es amplio.

Las pruebas c), d), e), f) y g) permiten determinar en el laboratorio las propiedades elásticas, gracias a la medición de esfuerzos y deformaciones unitarias bajo esfuerzos repetidos; la prueba que ha tenido una mayor aplicación actualmente es la de módulo de resiliencia.

Por lo que respecta a la prueba h), se utiliza para determinar el comportamiento viscoelástico de los materiales, introduciendo en su ejecución la influencia del tiempo en la magnitud y desarrollo de las deformaciones ocurridas; se considera además la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales.

Debe decirse finalmente que el análisis de los valores obtenidos en las pruebas ejecutadas, debe someterse a la aplicación de conceptos probabilísticos, para tomar en cuenta la falta de uniformidad de los materiales, errores en el procedimiento de prueba, etc.

La ejecución de sondeos y trincheras - permite además analizar el comportamiento de cada capa del pavimento, midiendo las deformaciones en cada una de ellas, investigando si dichas deformaciones ocurrieron por densificación o desplazamiento, lo cual se complementa con determinaciones de peso volumétrico del material. Puede investigarse igualmente la contaminación de materiales de capa subrasante o del terreno natural, así como la degradación que ocurra en el transcurso del tiempo.

b) Procedimientos no Destructivos.- Por otra parte, es altamente recomendable investigar la capacidad estructural de un pavimento existente sin destruir o alterar sus elementos componentes, para lo cual se han desarrollado pruebas que se realizan en la superficie del pavimento, cuyos resultados se relacionan de alguna manera con las propiedades estructurales del pavimento, y que se denominan pruebas no destructivas, debido a que no se altera la estructura del pavimento a causa de las mediciones, las que pueden efectuarse en el mismo sitio tantas veces como sea necesario. Estas pruebas se clasifican en las dos categorías siguientes:

- Mediciones de respuesta a una carga estática o a una sola aplicación de una carga que se mueve lentamente.
- Respuesta a una carga dinámica o repetida.

La respuesta del pavimento a la acción de una carga estática o que mueve lentamente, se obtiene por lo general midiendo la deflexión producida por la carga en el pavimento, siendo los dispositivos más utilizados los siguientes:

- Viga Benkelman, Ref 12
- Deflectómetro viajero, Ref 13
- Deflectógrafo Lacroix, Ref 14

El primer dispositivo tiene una amplia difusión debido a su facilidad de manejo, bajo costo y fácil interpretación; sin embargo es complicado su uso cuando interviene en carreteras de alto volumen de tránsito, debido a su lentitud. El deflectómetro viajero desarrollado por la División de Carreteras de California, opera bajo el mismo principio aunque en forma automatizada y utilizando dispositivos electrónicos es capaz de efectuar de 1500 a 2000 mediciones por jornada de trabajo, viajando a una velocidad del orden de 1 km/h, Ref 13. La versión europea de este dispositivo lo constituye el Deflectógrafo Lacroix, que se desplaza a una velocidad tres veces mayor, y puede proporcionar del orden de 2000 mediciones diarias, Ref 14.

En cuanto a la respuesta a cargas diná

micas, se han desarrollado pruebas vibratorias que consisten en aplicar fuerzas sinusoidales de varias frecuencias, y analizar posteriormente las características de propagación de las ondas producidas y captadas en geófonos y de esta manera, de acuerdo con la teoría elástica, pueden determinarse módulos dinámicos de las diferentes capas que constituyen el pavimento, pudiendo valuarse además, las deflexiones producidas en el pavimento.

Los dispositivos más frecuentemente usados dentro de esta categoría son los siguientes:

- Dynaflect, Ref 15
- Vibrador Shell, Ref 16
- Road-Rater, Ref 17
- WES, Ref 18

Para operar estos equipos es muy importante asegurarse de que se encuentren apropiadamente calibrados, de que la fuerza aplicada al pavimento sea la registrada y que existe una correcta correlación de las deflexiones registradas. A este respecto, normalmente se emplean las deflexiones medidas con Viga Benkelman.

2. Comportamiento. En este aspecto está involucrado un estudio de la historia de la calidad de rodamiento del pavimento durante un período de tiempo y del tránsito acumulado en el mismo lapso, lo que puede ser determinado mediante mediciones periódicas de dicha calidad de rodamiento. Este concepto está ligado con el desarrollo de la prueba AASHTO, Ref 19, de la cual se derivó el concepto de Serviciabilidad Actual, que representa la capacidad de una sección de pavimento para proporcionar, en opinión del usuario, un rodamiento cómodo y suave. Para valuar este concepto se recurrió a un grupo de usuarios que individualmente calificaron la calidad de rodamiento, procedimientos que da lugar al concepto de la Estimación de la Serviciabilidad Actual (PSR). Como en lo general este procedimiento es poco práctico y costoso, se han realizado grandes esfuerzos para desarrollar dispositivos mecánicos que realicen mediciones para estimar la serviciabilidad y correlacionarlos con las mediciones subjetivas, mediante análisis de regresión lineal múltiple que, correlacionados con las opiniones de los usuarios, proporcionan el concepto de Índice de Serviciabilidad Actual, (PSI).

La serviciabilidad de un pavimento es en gran parte una función de su rugosidad, tal como se demostró en los estudios del tramo de prueba AASHTO. La rugosidad de un pavimento debe entenderse como un fenómeno manifestado en la superficie del pavimento y experimentado por el usuario cuando viaja sobre el pavimento, bien sea en un vehículo o en un aeroplano. La rugosidad es una función del perfil longitudinal de la superficie del pavimento, de las

características del vehículo, incluyendo llantas, suspensión, carrocería, asientos, etc., y de la sensibilidad del usuario ante la velocidad y la aceleración; en otras palabras, depende del perfil real de la superficie del pavimento, de los aspectos dinámicos del vehículo y de la respuesta humana. Los estudios realizados al respecto, demuestran que la rugosidad longitudinal es probablemente el factor cuya contribución sea mayor en la generación de la sensación de incomodidad, situándose en segundo lugar la rugosidad transversal.

Para medir la rugosidad se han desarrollado una gran variedad de dispositivos, que varían desde los muy sencillos hasta los altamente sofisticados. En la tabla 1 se presentan algunos de los dispositivos de uso más extendido y su campo de aplicación. Estos dispositivos son los siguientes:

- Rugómetro del Bureau de Carreteras Públicas (BPR)
- Perfilómetro CHLOE (CHLOE)
- Perfilómetro de California (RSE)
- Perfilómetro del RRL Británico (RRL)
- Perfilómetros dinámicos (SDP)
- Dispositivos montados en vehículos (CRM)

Los perfilómetros originales, del tipo CHLOE, RSE y RRL, están montados en marcos metálicos de 6 a 10 m de largo, se desplazan sobre ruedas, que miden la variancia de la pendiente del perfil longitudinal o desplazamientos verticales acumulativos, y están dotados de dispositivos registradores y graficadores. Todos ellos tienen como ventaja principal una gran repetibilidad, pero en cambio son sumamente lentos y tienen poca aproximación cuando miden longitudes de onda menores que la distancia entre ruedas o bien en longitudes de onda mayores que dicha distancia, Ref 20, 21 y 22.

Los equipos montados en vehículos (CRM), miden la rugosidad del pavimento cuando transitan a la velocidad de operación, lo que aunado a su bajo costo los ha convertido en los de mayor uso. Los rugómetros tipo Mays o PCA son ejemplos típicos de estos dispositivos, y recientemente se utilizan con una cámara fotográfica adaptada para levantar inventarios de la carretera, registrando, además de la rugosidad, aspectos de visibilidad, pendiente, fuerza centrífuga, etc. Están además capacitados para proporcionar alto volumen de información, producen poca o nula interferencia con el tránsito y tienen una repetibilidad adecuada. Las desventajas de estos equipos son entre otras, la necesidad de frecuentes calibraciones, incapacidad de registrar el perfil del pavimento y la influencia que las características del propio vehículo imprimen a las mediciones Ref 23 y 24.

Los equipos de tipo dinámico, (SDP), son de alto rendimiento y en general muy

sofisticados, registran el perfil real del pavimento, se desplazan a la velocidad normal de operación y pueden detectar y analizar grandes longitudes de onda, lo que es sumamente útil en el caso de carreteras de alta velocidad. Finalmente tienen una alta repetibilidad y pueden usarse como instrumentos de calibración para otros equipos. Como desventaja principal están sus costos de adquisición, operación y análisis por computadora, además de la complejidad de sus sistemas que requieren de personal altamente calificado. Pueden mencionarse dentro de este tipo los perfilómetros Surface Dynamics, el GMR, y los de ondas de alta frecuencia y rayos laser. Ref 25 y 26.

3.- Estado Superficial del Pavimento. La evaluación del estado superficial de un pavimento involucra un estudio de detalle que debe manifestar el tipo de deterioro ocurrido, su ubicación, extensión y severidad. Asimismo deben señalarse los factores más significativos que han influido en el comportamiento inadecuado del pavimento. El procedimiento más generalizado para efectuar esta investigación es la observación directa de un ingeniero especializado, recorriendo a pie el tramo en estudio, quien registra y anota sus observaciones técnicas respecto a los daños observados. Sin embargo, en carreteras que manejan elevados volúmenes de tránsito y con más de dos carriles de circulación, es extraordinariamente difícil y peligroso realizar esos recorridos, por lo que se recurre al empleo de fotografías y de equipos especiales como el Gerfo, que es un vehículo que dotado de una cámara cuya velocidad se sincroniza con la de desplazamiento, toma una fotografía continua de la superficie del pavimento. Este dispositivo se desplaza a la velocidad de operación, sin interferencias con el tránsito y es alto el rendimiento. Como desventaja principal se tiene su alto costo, Ref 14.

Los aspectos que interesa evaluar principalmente, son los agrietamientos, deformaciones, desgranamientos, baches y zonas con exceso de asfalto. Para juzgar su severidad comúnmente se recurre a asignar calificaciones o factores de ponderación a cada tipo de deterioro observado, que son restados de una calificación máxima de partida. Generalmente se desarrollan catálogos que tipifican el tipo y severidad del deterioro y reglas para aplicar los factores de ponderación.

Un estudio del estado superficial del pavimento es importante porque entre otras cosas, se pretende utilizarlo como medio de correlacionar el comportamiento del pavimento con su grado de deterioro.

4.- Seguridad.- Se analizan varios factores que afectan la seguridad con que el usuario circula sobre un pavimento. Uno de los factores principales lo constituye la resistencia al deslizamiento, sin embargo

no deben despreciarse otros factores tales como los surcos, roderas y depresiones, en los que el agua de lluvia puede acumularse y producirse el fenómeno de hidroplanco. Asimismo son importantes el color, las propiedades reflejantes y el señalamiento de piso.

La medición de la resistencia al deslizamiento puede realizarse mediante varios procedimientos, como por ejemplo el empleo de dispositivos de rueda bloqueada (ASTM E-274), rueda con deslizamiento parcial (SCRIM, Ref 14), ruedas desalineadas (Mu-Meter, Ref 27), así como dispositivos de péndulo (ASTM E-303). El empleo de dispositivos como el SCRIM o el Mu-Meter, que se operan a las velocidades normales de circulación, poseen elementos de registro continuo, con posibilidad de verter agua por delante de las ruedas de medición para reproducir el efecto de pavimento mojado. Algunos dispositivos como el SCRIM, tienen la desventaja de su elevado costo.

La evaluación de la resistencia al deslizamiento para propósitos de conservación y mantenimiento deberá considerar el efecto del tiempo, tránsito y clima, por lo que se requiere de evaluaciones periódicas, con dispositivos de alto rendimiento, con el propósito de observar los siguientes factores: porosidad de la superficie, desgaste y pulimiento de agregados, surcos y depresiones, afloramiento de asfalto y contaminación con hule, aceite, etc.

Por lo que respecta a la investigación de surcos, roderas y depresiones, pueden evaluarse mediante la colocación de reglas o perfilógrafos transversales, Ref 14, que permiten captar la sección transversal de la superficie del pavimento.

### 3.1.2.- Pavimentos de Aeropuertos.

El aspecto de evaluación de los pavimentos en los elementos de operación terrestre de los aeropuertos juega un papel muy importante, tanto para definir las estrategias de conservación y rehabilitación que deban aplicarse, como desde el punto de vista de la seguridad de la operación terrestre de las aeronaves. Con este propósito, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) propone directrices para la evaluación de pavimentos, Ref 28, cuyos resultados deben ser notificados para su publicación a nivel de información aeronáutica (AIP). Las citadas recomendaciones y procedimientos abarcan diferentes niveles de necesidades y pueden ser interpretadas aún por personal poco experimentado en el comportamiento de los pavimentos.

Por lo que respecta al procedimiento de evaluación propuesto, se indica que se encuentra en la etapa de primera generación, y que está en marcha un programa de investigación así como de ampliación de su aplicabilidad y actualización. Se da énfasis

sis a la evaluación en base a ensayos no destructivos sobre planteamientos más teóricos, tratando de reducir su costo y que provoque menos interferencias con las operaciones de los aeropuertos, a la vez que se obtenga mayor información sobre la cual puedan tomarse las decisiones. Mediante procedimientos no destructivos se determina el módulo de rigidez dinámica (DSM), que permite establecer zonificaciones en el pavimento y detectar áreas que muestren un deterioro prematuro, justificando investigaciones posteriores de detalle.

En lo general los conceptos básicos y técnicos para la evaluación de pavimentos para aeropuertos son los mismos que los citados para carreteras en el inciso 3.1.1., detectándose algunas ligeras variantes, como se describe a continuación.

- En el caso de aeropuertos existen dos tipos de usuarios, que son los pasajeros y la tripulación de la aeronave. De todos ellos, la opinión del piloto es la más importante, debido a que su respuesta ante la rugosidad considera principalmente aspectos de seguridad.

Los efectos de la rugosidad en el pavimento están relacionados principalmente con la seguridad y la posibilidad de ocurrencia de daños al tren de aterrizaje, y no a la comodidad, como en el caso de carreteras.

- La interacción vehículo-pavimento acusa una mayor variación en el caso de aeropuertos que en carreteras, a causa de la gran variedad de tipos de aeronaves.
- La influencia de las longitudes de onda en los pavimentos de aeropistas tienen mayor importancia que en carreteras, debido a las diferencias en la configuración de los trenes de aterrizaje, mayor velocidad de circulación, efecto de falso despegue, etc.
- El comportamiento del pavimento en aeropuertos tiene una concepción diferente, no basada en términos de la opinión del usuario como pasajero.

A continuación se describen brevemente los procedimientos de evaluación más usuales en aeropuertos, en función de las variables por monitorear.

#### 1.- Estructurales

a) Procedimientos Destructivos. Como en el caso de los pavimentos de carreteras, se recurre a la ejecución de pozos, muestreo y ensayos de laboratorio y campo. Se tienen importantes limitaciones por la interferencia con la operación aeroportuaria. Generalmente se realizan pruebas directas en el campo para determinar el Valor Relativo So-

porte o de módulo de reacción y resistencia mediante placa. Pueden tomarse especímenes inalterados para la determinación en el laboratorio del VRS en las mismas condiciones. Para la aplicación de métodos más modernos, se efectúan ensayos para determinar la respuesta de cada capa, caracterizada por su módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

b) Procedimientos no Destructivos. En general se prefieren sobre los destructivos. Son comunes los ensayos de placa, como en el caso de evaluación por el método LCN y el método Canadiense. De igual manera es frecuente la medición de deflexiones con Viga Benkelman bajo cargas reales de las aeronaves. De igual manera se ha dado impulso al empleo de dispositivos que aplican cargas dinámicas, en general más pesados que los usados en carreteras, como el equipo NDT de WES, Ref 29, o bien del tipo de deflectómetros de caída (FWD), Ref 30. Al respecto puede decirse que se ha desarrollado toda una tecnología específica para el caso de aeropuertos, Ref 30.

2.- Comportamiento.- Para su evaluación se recurre a dispositivos mecánicos, como los mencionados a propósito de carreteras, tales como el perfilómetro de California (RSE), el británico (RRL), los montados en vehículos (CRM) y los dinámicos (SDP). A semejanza del caso de carreteras, se llevan a cabo investigaciones periódicas de la rugosidad del pavimento, principalmente en la zona del tercio central del ancho de la pista. Esta evaluación debe iniciarse antes de que el pavimento sea puesto en servicio, con el propósito de verificar el cumplimiento de las especificaciones de acabado de la superficie, y en su caso, proceder a su corrección, ver tabla 1. Las evaluaciones subsiguientes deben realizarse con equipos que desarrollen altas velocidades.

3.- Estado superficial del Pavimento.- Se lleva a cabo un levantamiento de los daños existentes en el pavimento, mediante la observación directa de un ingeniero especializado, recurriendo a la información fotográfica. Los reportes emitidos deben motivar el tipo, extensión y severidad de los deterioros observados, poniendo énfasis en aquellos aspectos que signifiquen riesgo inmediato o a corto tiempo. Un aspecto importante lo constituye el efecto del derrame de combustible y el calor de las turbinas en zonas de plataformas.

4.- Seguridad.- Este concepto es sumamente importante en el caso para aeropuertos, debiendo investigarse tanto la resistencia al deslizamiento, como la presencia de ondulaciones, surcos y depresiones que de alguna manera afecten la seguridad de las aeronaves durante las maniobras de aterrizaje y despegue. La resistencia al deslizamiento debe medirse inicialmente y periódicamente, con el objeto de verificar las condiciones iniciales de resistencia y en su caso, efec-

tuar las correcciones que se ameriten. Las subsecuentes tienen por objeto determinar la degradación que sufra la textura superficial con el tiempo, debido entre otras cosas, al hule de las llantas que se adhiere a la superficie en la zonas de toque. Las mediciones deben realizarse con dispositivos de alta velocidad, registro continuo y en condiciones de pavimento mojado.

3.1.3.- Vías Férreas.- Los ferrocarriles modernos están diseñados para alcanzar altas velocidades, considerando éstas muy próximas a los 200 km/hr, lo cual solamente es posible si se cumplen las tolerancias que para los diferentes parámetros fundamentales de una vía férrea, son propuestos por los organismos ferroviarios de cada país. En las tablas 2 a 3 se presentan las citadas tolerancias, tanto para condiciones de vía nueva, como para conservación, Ref 32.

A semejanza de lo que ocurre con los pavimentos, la estructura de una vía férrea con el paso del tiempo sufre deterioros que inciden directamente en la velocidad de circulación de los trenes, su seguridad y por lo tanto en su eficiencia. Las tolerancias para montaje de vía son más rigurosas a medida que aumenta la velocidad, y las desviaciones que en sus valores ocurran con el tiempo pueden ser causa de serios accidentes. Lo anterior implica que desde su proyecto debe tenerse en cuenta los problemas posteriores de conservación de las vías férreas, como por ejemplo, el montaje de las vías directamente sobre losas de concreto hidráulico ha sido desarrollado para reducir los deterioros de las vías a causa de la operación de trenes circulando a alta velocidad y con gran frecuencia, con la consiguiente reducción de trabajos de conservación, sin embargo esta solución no es aconsejable cuando se apoyan las vías en suelos blandos sujetos a movimientos diferenciales, Ref 33, por las dificultades posteriores para nivelar los rieles.

La comprobación de que una vía recién construida se ajusta a las tolerancias impuestas, se procede a efectuar mediante recorridos con equipos que detectan las irregularidades mediante registros automáticos continuos, o bien mediante levantamientos topográficos de precisión. El primer sistema garantiza plenamente el conocimiento en forma rápida del estado geométrico de la vía, en condiciones de operación. Esta investigación se complementa con inspecciones aleatorias que permitan conocer detalles imposibles de detectar por procedimientos automáticos, como el apretado de los elementos de sujeción, colocación adecuada de elementos accesorios, etc. En lo sucesivo se recomienda efectuar investigaciones del estado de la vía por lo menos dos veces al año, con el objeto de investigar, además de los aspectos geométricos de la vía, otros detalles como: estabilidad de los terraplenes; identificación, contaminación, degradación fenómeno de bombeo en el balasto; estado

de durmientes, rieles y elementos accesorios, así como del funcionamiento de las obras de drenaje. Con relación al estado de los rieles, pueden inspeccionarse en forma automática y continua mediante un carro detector (Sperry Rail Service), que registra entre otras cosas, la incidencia de irregularidades, fisuras, juntas, etc, Ref 34.

#### 4.- CRITERIOS DE REHABILITACION Y CONSERVACION.

Para establecer el tipo y programas de trabajos de conservación y rehabilitación, en la década de los años 40 se recurría a las notas técnicas producto de inspecciones visuales, las que contenían el tipo, extensión y severidad de los deterioros manifestados. En la siguiente década y a principios de los años 60, la información anterior se complementó con la obtenida de rugómetros, deflectómetros y medidores de resistencia al deslizamiento, cuya información, considerada global o individualmente permitía la toma de decisiones. A principio de los años 70, los organismos encargados de la conservación y rehabilitación de carreteras empezaron a observar que la toma de decisiones deberá basarse no solamente en la información de campo, ya que deberían plantearse estrategias de conservación y rehabilitación para las condiciones presentes y futuras de un pavimento, con el propósito de minimizar los costos correspondientes a los ciclos de vida de un pavimento y maximizar sus beneficios. De esta manera se ha establecido un sistema basado en una metodología técnica y operacional para administrar, dirigir y controlar los recursos disponibles para obtener los máximos beneficios.

De esta manera es importante cubrir los siguientes objetivos:

- 1.- Determinar los costos asociados a diferentes niveles de serviciabilidad de un pavimento.
- 2.- Planear, dirigir y controlar las actividades de mantenimiento a fin de alcanzar un nivel de servicio congruente con la clase y tipo de pavimento.
- 3.- Evaluar los métodos y materiales utilizados, con el propósito de desarrollar prácticas eficaces y económicas.

Por otra parte, es necesario conocer los siguientes aspectos:

- 1.- El inventario de la red y un conocimiento de los factores físicos, operacionales y ambientales que pueden influir en el monto y tipo de trabajos requeridos.
- 2.- Experiencias sobre los procedimientos de conservación, así como conocimiento de los recursos disponibles de fuerza de trabajo, equipo y materiales, incluyendo rendimientos.

3.- Predicción de volúmenes de obra, disponibilidad de recursos financieros y criterios de decisión relativos a la calidad o nivel de conservación deseado.

Existen algunos aspectos que intervienen en la configuración de la problemática de la conservación y la rehabilitación, que se discuten brevemente a continuación.

- 1.- En 1976 la Federal-Aid Highway Act reconoció que los pavimentos se deterioran a una velocidad mayor que con la que pueden ser reparados. Entre otras cosas es debido a la insuficiencia de fondos -- destinados a conservación y rehabilitación. Los países altamente desarrollados destinan actualmente para conservación de sus redes, el seis por ciento de su valor actualizado, cifra que es muy superior a lo que países con pocos recursos actualmente destinan, y que -- además deben hacer frente a necesidades de expansión y modernización de su red.
- 2.- Los trabajos de conservación son en general más caros que los de construcción, debido a que se realizan en áreas pequeñas, dispersas, en que abunda la mano de obra. Requieren de importantes operativos de control de tránsito, ya que éste no debe suspenderse durante -- los trabajos. Las interferencias con la operación son más agudas en los casos -- de aeropuertos y vías férreas. De igual manera deben efectuarse labores prácticamente en todas las épocas del año, ya que las cuadrillas llegan a efectuar -- trabajos de movimiento de derrumbes, remoción de nieve, luchar contra inundaciones y hasta trabajos de ayuda, salvamento y rescate.
- 3.- Se hacen grandes esfuerzos en desarrollar máquinas y equipos para trabajos -- de conservación y rehabilitación, así -- como la investigación en la utilización de materiales sintéticos, tales como para reciclados entre los primeros y fibras textiles entre los segundos, por -- mencionar tan solo dos ejemplos.
- 4.- Se suelen presentar problemas legales -- serios, a causa de demandas por accidentes durante los trabajos, o por daños -- ocasionados por trabajos mal ejecutados.
- 5.- Los vehículos actuales, tanto los terrestres, como aeronaves y ferrocarriles, están capacitados para desarrollar mayores velocidades de operación, y por lo tanto requieren de pavimentos y vías férreas de muy altas especificaciones, que deben ser cumplidas por los trabajos de conservación y rehabilitación. Adicionalmente, por los altos volúmenes de tránsito que se manejan, se requieren soluciones que ameriten una conservación mínima. Las acciones de rehabilitación deben considerar aspectos de mo-

dernización, acuerdos con las necesidades del tránsito actual y futuro.

6.- El uso de programas de computadora ha sido de gran ayuda para el análisis de estrategias, predicciones de comportamiento, etc., convirtiéndose hoy en día en una importante herramienta para la toma de decisiones, pero de ninguna manera debe considerarse que pueda reemplazar al analista.

Considerando los aspectos antes mencionados, así como la información captada en los procesos de evaluación, será necesario definir los criterios a seguir para establecer las estrategias convenientes, de acuerdo con los siguientes lineamientos:

- 1.- Establecimiento de prioridades. Se analiza la información procedente de la evaluación, para definir los tramos que requieren de mantenimiento o rehabilitación, considerando además el volumen de tránsito actual y futuro. Los tramos -- que reporten las peores condiciones deberán ser evaluadas en detalle para establecer las estrategias para su reparación, teniendo en cuenta para ello el análisis de las causas de su deterioro y las acciones que deben emprenderse para su corrección. Los procedimientos de análisis, interpretación y proyecto dependen de los criterios de cada organismo, pudiendo citarse la metodología propuesta por el Instituto del Asfalto, Departamento de Carreteras de California, etc. Ref 35. Asimismo se recurre como ayuda al uso de matrices o árboles de decisiones, como la matriz mostrada en la fig 5, Ref 14, y escalas de acciones de acuerdo con el tránsito y nivel de deterioro del pavimento, fig 6. En la tabla 5 se presentan los deterioros típicos que pueden observarse en los pavimentos y las causas que suelen producirlos.
- 2.- Formulación de estrategias de rehabilitación. Se establecen varias estrategias que comprenden desde reparaciones menores hasta sobrecarpetas. Estas estrategias se someten a un análisis en el que interviene, en forma determinante, el factor económico, teniendo en cuenta el nivel de servicio que cada estrategia puede proporcionar, su duración, comportamiento, etc.

En la fig 7 se presenta un diagrama de flujo del procedimiento a seguir para el planteamiento del problema, los principales criterios de decisión que deben emplearse para analizar las estrategias planteadas y la elección de la mejor alternativa, para proceder a continuación a la elaboración del proyecto. Es importante conocer los diferentes tipos de trabajos de conservación y rehabilitación que pueden disponerse para el

planteamiento de las estrategias a seguir, fig 8, así como efectuar un análisis de comportamiento de cada una de ellas, fig 9, acompañado de una evaluación económica, fig 10. Asimismo algunos organismos disponen de árboles de estrategias como ayuda, fig 11, y conocer a fondo las ventajas y desventajas que una acción determinada puede tener, como se ilustra en la fig 12 para el caso de la técnica de reciclado.

Para el caso de aeropuertos, es recomendable acudir a los manuales de la OACI, Ref 28, en donde se resumen las prácticas y experiencias de Estados Unidos, Francia, Canadá y el Reino Unido. En dicha referencia se incluye la práctica para notificar la resistencia de pavimentos de aeropuertos por el método ACN/PCN, que consiste en determinar el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento para determinada resistencia normalizada del terreno de cimentación (ACN) y la resistencia de un pavimento para usarlo sin restricciones. Como se mencionó anteriormente, los trabajos de conservación y rehabilitación deben fundamentalmente encauzarse hacia alcanzar la máxima seguridad de las aeronaves en sus movimientos de operación terrestre, principalmente en las pistas.

En los ferrocarriles se presenta una situación similar a la de aeropuertos, en cuanto a la seguridad de operación a altas velocidades. La acción más importante debe considerar el adecuado alineamiento de las vías, tanto vertical como horizontalmente. Las Ref 32 y 34 mencionan las principales acciones de conservación y rehabilitación de vías férreas.

Tanto en el caso de aeropuertos como de ferrocarriles no deben perderse de vista las implicaciones económicas de los criterios de conservación y rehabilitación.

## 5.- EXPERIENCIA NACIONAL

5.1.- Carreteras.- La red de carreteras nacionales cuenta actualmente con unos 250 000 km, de los cuales aproximadamente 80 000 están pavimentados, entre los cuales deben distinguirse unos 50 000 km que corresponden a la Red de Carreteras Federales. Esta red acusa problemas muy importantes que trascienden hacia el nivel de servicio que se brinda actualmente al usuario. Estos problemas principalmente son los siguientes:

La edad avanzada de la mayor parte de la red, la obsolescencia de algunos sistemas de conservación, el incremento de las cargas legales y el bajo nivel del gasto de conservación asignado durante las últimas décadas, en conjunto con la imperiosa necesidad que tiene nuestro país de contar con un eficiente sistema de carreteras y las limitaciones económicas que la actual crisis impone, Ref 36.

En efecto, muchos tramos de la red nacional cuentan con más de tres o cuatro décadas, y por lo tanto fueron diseñados y construidos para otras necesidades de tránsito. Sobre las construcciones originales se han acumulado refuerzos, muchas veces por el simple procedimiento de agregar sobrecarpetas, sin modificar las características de las capas más profundas de la sección estructural. Mediante estos refuerzos o en ocasiones reconstrucciones superficiales, se han pretendido absorber las sollicitaciones impuestas por cargas mayores, tanto en magnitud como en frecuencia de aplicación. En las últimas tres décadas, hicieron su aparición en nuestra red nacional los grandes semirremolques con dos ejes tandem así como los full trailer con 3 ejes tandem, y más recientemente, los remolques y semirremolques con ejes triples. Aparecieron también los autobuses de gran tamaño y las cargas se hicieron mucho más intensas, pasando en muchos tramos de 1 000 o 2 000 vehículos/día a 20 000 o más vehículos/día.

Por otra parte, la atención prioritaria de otros campos de la economía nacional, definieron un gasto de conservación del orden de la quinta parte del que se considera deseable. Si a lo anterior se suma que, por las mismas razones, la estrategia de desarrollo impuso sobre las carreteras una fuerte presión para su crecimiento, con un criterio de mínima inversión inicial, puede afirmarse que nuestra red nacional, en muchos casos subdiseñada estructuralmente y en otros subdiseñada geométricamente ha tenido que soportar casi todo el peso de un país en desarrollo acelerado, lo que explica, por lo menos en gran parte, el estado en que se encuentra y los bajos niveles de servicio que actualmente brinda al usuario.

A grandes rasgos puede decirse que, pese a los grandes esfuerzos de las autoridades responsables de la conservación y rehabilitación de la red, se estima que el 25% de la longitud de la red troncal se halla en pésimas o malas condiciones, 55% en condiciones regulares y sólo 20% en condiciones aceptables, Ref 37.

Lo anterior conduce a una situación de permanente rezago en las acciones de conservación y rehabilitación, a una pulverización de los recursos para aplicar soluciones de emergencia y en ocasiones a casos de obsolescencia prematura de los trabajos realizados.

Juega un papel muy importante en esta situación, el hecho de que por la red circula un tránsito semejante al de un país altamente industrializado, con efectos sumamente destructivos aún a profundidades que abarcan a la subrasante y cuerpo de terraplén, como puede verse en la fig 13, en la que aparecen los coeficientes de daño propuestos por el método de diseño de pavimentos flexibles, Publicación 444 del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Puede decirse por lo tanto, que las

acciones de conservación y rehabilitación deben considerar que existe insuficiencia estructural de los pavimentos, y que de no conseguirse, cualquier acción realizada debe pasar. Cabe mencionar que este tipo de falla es muy frecuente en las carreteras nacionales.

Como siguiente tipo de falla observado en la red nacional, se encuentra la producida por fatiga, detectada en carreteras de tránsito pesado, en combinación con suelos resilientes.

Actualmente se hacen esfuerzos muy importantes por establecer procesos sistemáticos de inventario y evaluación de la red, disponer de un presupuesto de emergencia y racionalizar el transporte.

5.2.- Aeropuertos.- La red aeroportuaria nacional cuenta actualmente con 55 aeropuertos administrados y conservados por ASA, Ref 38, de los cuales el 36% cuenta con pavimentos rígidos total o parcialmente, con edades que fluctúan entre 12 y 26 años. A semejanza de las carreteras, se ha observado un incremento en el peso de las aeronaves y mayor número de operaciones, lo que ha ocasionado fallas estructurales en los aeropuertos más antiguos. La investigación del estado del pavimento cubre etapas de inspección visual, evaluación de resistencia al derrapamiento y finalmente levantamientos topográficos de precisión para proyecto de refuerzo. Debido a las condiciones de seguridad que debe registrar un aeropuerto se pone énfasis en la conservación rutinaria, incluyendo tratamientos para restituir la resistencia al derrapamiento, perdida por hule y grasa en zonas de toque. Un aspecto importante que conviene destacar, es la importancia que se asigna a los acabados superficiales durante la construcción, con el apoyo de rugómetros tipo RSE, y de resistencia al derrapamiento con Mu-Meter, ejerciendo acciones correctivas antes de poner un aeropuerto en operación. La evaluación de resistencia se realiza aplicando los métodos de LCN y Canadá, utilizando pruebas de placa, Viga Benkelman y Dynaflect. Se observa también en este caso una carencia de fondos disponibles para efectuar rehabilitaciones formales, adoptándose criterios de estrategias de vida útil más corta. Entre las acciones importantes que se realizan se encuentran aquellas destinadas al refuerzo con sobrecarpetas, mejoramiento del subdrenaje y restitución de la textura superficial para efectos de la fricción.

5.3.- Ferrocarriles.- El sistema ferroviario está formado por 20 000 km de vías principales y 5 000 de vías secundarias de operación y patios y había evolucionado escasamente con respecto a la infraestructura construida a fines del siglo pasado y principios de éste.

Hasta hace pocos años, la red adolecía

en varios de sus tramos estratégicos por su alta densidad de tráfico, de especificaciones inadecuadas tanto geométricas como estructurales, además de estar constituida por vía sencilla, Ref 39.

Esta situación empezó a experimentar un cambio favorable en la última década al iniciarse obras de construcción de la vía doble y la rectificación de curvas y pendientes.

Los problemas fundamentales que presentan las vías férreas nacionales estriban en la inestabilidad de las terracerías, debido a suelos expansivos, compresibles o resilientes, que provocan indentación, contaminación y bombeo en el material de balasto. Otros problemas importantes están relacionados con fallas en durmientes y rieles, todo lo cual requiere de muy intensas y frecuentes labores de conservación. La carencia de fondos ocasiona que éstas no sean las requeridas, en extensión y magnitud, además de que no se efectúen las obras de rehabilitación necesarias para mejorar el nivel de operación de los ferrocarriles.

## 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1.- Los organismos que tienen a su cargo la conservación y rehabilitación de las obras viales, heredan las buenas y las malas acciones cometidas en la planeación, proyecto, construcción, supervisión y control de calidad. Por lo tanto es recomendable elevar los niveles de calidad en cada una de estas etapas y procesos, con el objeto de reducir las necesidades de conservación y rehabilitación.
- 6.2.- El problema de la escasez de recursos financieros para llevar a cabo programas adecuados de conservación y rehabilitación, ha generado una grave situación de rezago y un inadecuado nivel de servicio. Se hace necesario obtener mayores partidas destinadas a subsanar esta situación, lo que debe complementarse con un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.
- 6.3.- Se hace necesario tratar de establecer sistemas de administración de conservación, que contemplen el panorama general del problema, se disponga de los elementos teóricos y tecnológicos del momento, se disponga de un banco de datos que reúna la experiencia nacional y se maneje la información económica necesaria para el análisis racional de estrategias. Dichos sistemas deberán diseñarse a las condiciones del País.
- 6.4.- Es muy importante evitar el divorcio existente entre proyecto y conservación, de tal manera que al realizar el primero, se tenga presente a la segunda. De esta manera la conservación

y rehabilitación estarán planeadas -- desde el origen de la operación y podrán establecerse sus programas de -- ejecución.

- 6.5.- En las carreteras y ferrocarriles se han detectado demandas extraordinarias de uso, que aceleran su deterioro, provocan congestionamientos y accidentes y reducen su nivel de servicio. Es importante modernizar los tramos en que esto ocurra, llegando a proponer desarrollos alternos y abandonar los existentes cuando la modernización de éstos no pueda efectuarse.
- 6.6.- Un factor importante en la ocurrencia de fallas en carreteras y ferrocarriles es la insuficiencia estructural. No deben efectuarse acciones de conservación y rehabilitación si no se considera previamente la corrección de este aspecto. De igual manera debe atenderse el fenómeno de fatiga, que se está presentando muy frecuentemente en las carreteras que manejan tránsito pesado. No debe olvidarse que el 50% de la red carretera tiene más de 20 años de edad, y su diseño obedece a otras condiciones de tránsito.
- 6.7.- Los vehículos modernos que hacen uso de carreteras, aeropistas y vías férreas demandan que éstas se proyecten, construyan y mantengan con altas especificaciones de comodidad, seguridad y resistencia, lo que a su vez requiere la aplicación de modernos conceptos teóricos y tecnológicos. En lo que se refiere a la conservación y rehabilitación se requiere disponer de equipos, tecnología y materiales que puedan satisfacer las necesidades planteadas. Las condiciones actuales de tránsito requieren estructuras más rígidas, materiales más resistentes y durables y llegado el caso, mínimos requisitos de conservación.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Srta. Alma C. Sánchez C. su excelente trabajo mecanográfico.

#### REFERENCIAS

- 1.- The Asphalt Institute. "Asphalt in Pavement Maintenance".- Manual Series N° 16 (MS-16)
- 2.- Haas R., Hudson W.R. "Pavement Management Systems" McGraw-Hill Book Company.- 1978.
- 3.- Hudson, W.R., B.F. McCullough, F.H. Scrivener, and J.L. Brown.- "A System Approach Applied to Pavement Design and Research".- Research Report 123-1. Texas Highway Department Cooperative Research Program, March. 1970.

- 4.- Kher, R., W.A. Phang.- "Economic Analysis Elements". Ministry of Transportation and Communications.- Ontario, Canada.- 1975.
- 5.- The Asphalt Institute. "Soils Manual for Design of Asphalt Pavement Structures". Manual Series N° 10 (MS 10).
- 6.- Shook, J.F., and B.F. Kallas: "Determining Material Properties", Paper presented at Institute of Flexible Pavement Design and Performance, Pennsylvania State University, University Park, Pa., November 12-16, 1973.
- 7.- Deacon, S.S.: "Materials Characterization on Experimental Behavior", Proc., Workshop on Structural Design of Asphalt Concrete Pavement Systems, Highway Research Board, Special Report --- 126, 1971.
- 8.- Kennedy, Thomas W., and W. Ronald Hudson.: "Application of the Indirect Tensile Test to Stabilized Materials", Highway Research Board, Research Record N° 235, 1968.
- 9.- Vander Pool, C.: "A General System Describing the Viscoelastic Properties of Bitumens and its Relation to Routine Test Data", Journal of Applied Chemistry, Vol. 4, 1954.
- 10.- Haas, R.C.G.: "A Method for Designing Asphalt Pavements to Minimize Low Temperature Shrinkage Cracking", Asphalt Institute, Res. Rept. 73-1, January 1973.
- 11.- Moavenzadeh, F., J.E. Soussou, and H. K. Findakly: "Synthesis for Rational Design of Flexible Pavements", Part I, Final Report for FHWA Contract 7776, January, 1974.
- 12.- Canadian Good Roads Association: "Manual on Pavement Investigations", CGRA Tech. Publ. N° 11, 1959.
- 13.- Transportation Research Board, Committee A2 K01: "State-of-the-Art Report on Non-Destructive Structural Evaluation of Pavements", Draft Rept., January 1975.
- 14.- Retour, P., "Los Estudios de Auscultación de las Calzadas Pavimentadas para la Programación de las Obras de Conservación y Rehabilitación de la Red Vial Francésa". IV Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Armenia, Colombia, 1981.
- 15.- Swift, Gilbert., "Dynalect, Theory and Practice", Remco Highway Products, Fort Worth, Texas, 1975.
- 16.- Joseph, A.H., and J.W. Hall: "Non-Destructive Vibratory Pavement Evaluation Techniques", Proc., Third Int. Conf. on

- Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, 1972.
- 7.- Matthews, James., Pavement Management of a Highway Network, California Department of Transportation, 1980.
  - 18.- Federal Aviation Administration, "Use of Nondestructive Testing Devices in the Evaluation of Airport Pavements", Advisory Circular, 1976.
  - 19.- Carey, W.N. and P.E. Irick: "The Pavement Serviceability-Performance Concept", HRB Bulletin 250, 1960.
  - 20.- HRB, "The AASHTO Road Test: Report 5 - Pavement Research", HRB Special Report 61-E, 1962.
  - 21.- Hveem, F.N., "Devices for Recording and Evaluating Pavement Roughness", HRB Bull. 264, 1960.
  - 22.- Chong, G.J.: "Measurement of Road Rideability in Ontario", Dept. of Transportation and Communications of Ontario, Rept. 1R 29, 1969.
  - 23.- Brokaw, M.P.: "A 5 Year Report on Evaluation of Pavement Serviceability with Several Road Meters", HRB Special Report 116, 1970.
  - 24.- Rainhart Co.: "Mays Ride Meter Boollet", Austin, Tex., 1972.
  - 25.- Spangler, E.B., and W.J. Kelley: "GMR Road Profilometer: A Method for Measuring Road Profile," General Motors Corp. Warren, Mich. 1964.
  - 26.- Walker, Roger S., W. Ronald Hudson, and Freddy L. Roberts: "Development of a System for High-Speed Measurement of Pavement Roughness, Final Report, Research Report 73-5F, Center for Highway Research, Univ. of Texas at Austin, 1971.
  - 27.- Horne, Walter B., and Howard C. Sparks: "New Method for Rating, Predicting and Alleviating the Slipperiness of Airport Runways", National Air Transportation Meeting, New York, 1970.
  - 28.- Organización de Aviación Civil Internacional.: "Manual de Proyecto de Aeródromos, Parte 3, Pavimentos", Doc 9157-AN/901, 1983.
  - 29.- Federal Aviation Administration.: "Airport Pavement Bulletin", FAA-74-1, 1974.
  - 30.- Pronk, A.C., R. Buiters.: "Aspects of the Interaction of Falling Weight Deflection Measurements", Fifth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. Michigan, 1982.
  - 31.- Yang, Nai C.: "Nondestructive Evaluation of Airport Pavement", Report FAA-RD-78-154-I, prepared for U.S. Department of Transportation, Washington, D. C. 1979.
  - 32.- Oliveros, F.R., A. López Pita, M. Megía Puente. "Tratado de Ferrocarriles I", Editorial Rueda, Madrid, España, 1977.
  - 33.- Structure Design Office, Japanese National Railways.: "The Structures of New Railway Line in Japan", Tokio, Japan, 1979.
  - 34.- Hay, W.W.: "Railroad Engineering". John Wiley and Sons. New York, 1953.
  - 35.- Highway Research Board.: "Pavement Rehabilitation, Materials and Techniques". Synthesis of Highway Practice 9 1972.
  - 36.- Orozco y Orozco, J.M.: "Hacia una Metodología Sistemática para detectar las necesidades de conservación". Memoria de la VI Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres, Puebla, Pue. 1984.
  - 37.- López Mendoza, Sergio.: "Infraestructura Carretera". Memorias de la VI Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres, Puebla, Pue. 1984.
  - 38.- Rodarte Lazo, F.F.: "La Conservación de Areas Operacionales de los Aeropuertos", Memorias de la VII Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres, Querétaro, Qro. 1986.
  - 39.- Gutiérrez V, Antonio.: "Comentarios sobre la Infraestructura Ferroviaria". Memorias de la VI Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres, Puebla, Pue. 1984.

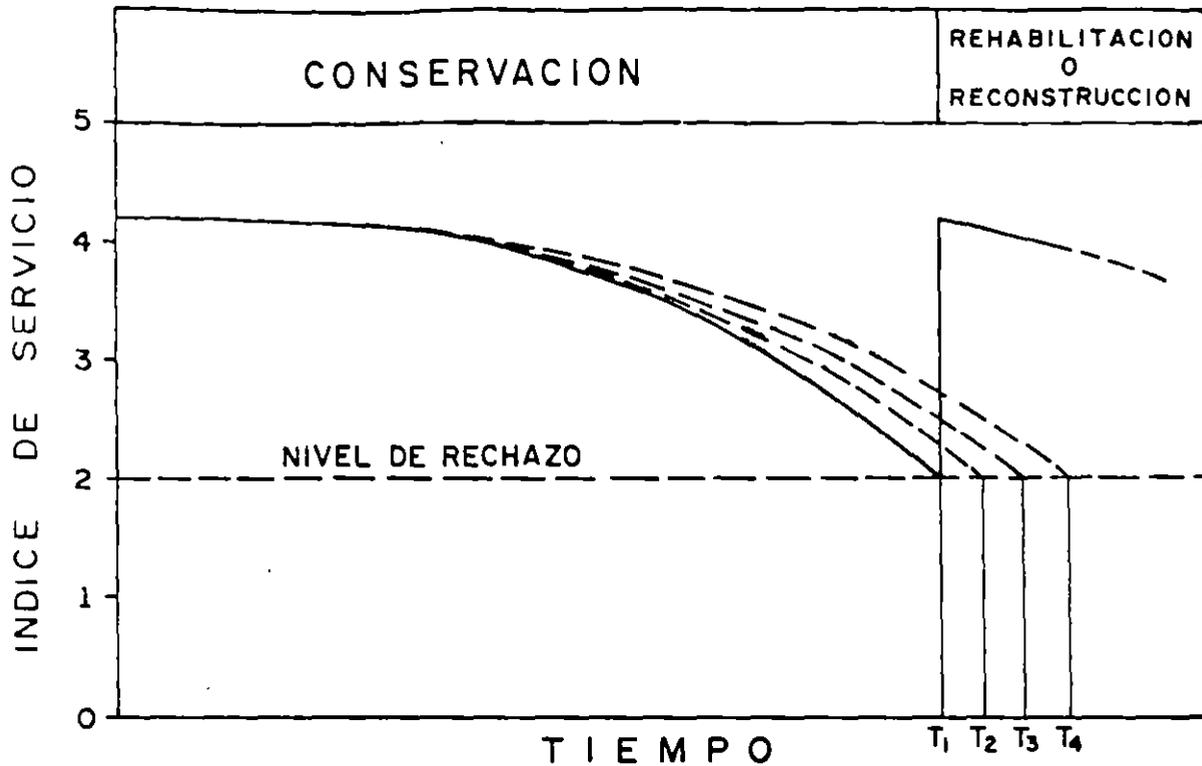


Fig 1. Variación del índice de servicio con el tiempo e influencia de la conservación en la vida útil del pavimento.

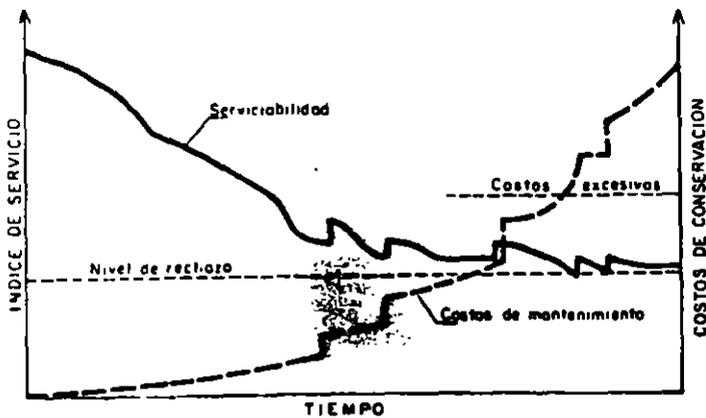


Fig 2. Variación del Índice de servicio y - costos de conservación con el tiempo, con una política inadecuada de conservación. Haas y Hudson.

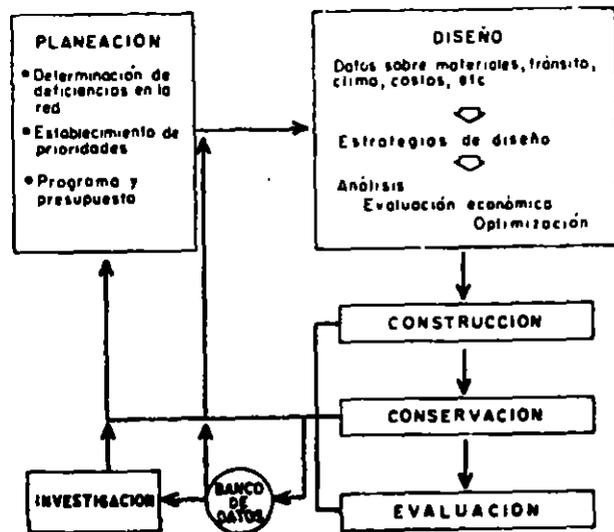


Fig 3. Actividades principales de un sistema de administración de pavimentos. Haas y Hudson.

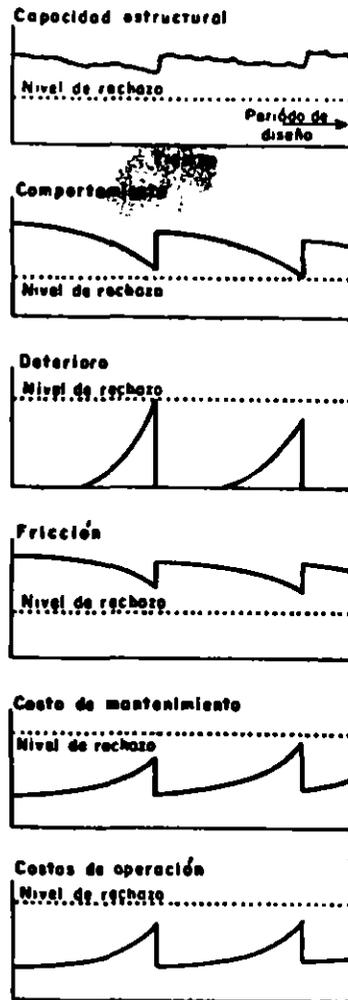


Fig 4.- Principales parámetros indicadores del estado de un pavimento. Haas y Hudson.

Fig 5

## MATRIZ DE DECISIONES

CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO			DECISION (2)		
			T D P A		
INDICE DE SERVICIO	CONDICION (1)	DEFLEXION $\times 10^{-3}$ pulg (mm)	> 5000	1500 o 5000	< 1500
$\leq 2.5$	INACEPTABLE	$\geq 40$ (1.0)	A	A	A
		$< 40$ (1.0)	A	A	A
	ACEPTABLE	$\geq 40$ (1.0)	A	A	B
		$< 40$ (1.0)	B	B	B
$> 2.5$	INACEPTABLE	$\geq 40$ (1.0)	A	A	B
		$< 40$ (1.0)	A	A	B
	ACEPTABLE	$\geq 40$ (1.0)	A	B	B
		$< 40$ (1.0)	B	B	B

### NOTAS:

(1) La condición inaceptable se define cuando ocurre cualquiera de los siguientes casos:

- Grietas de piel de cocodrilo en las rodadas, cubriendo más del 10% y baches cubriendo más del 10%.
- Grietas de piel de cocodrilo en las rodadas, cubriendo más del 30%.
- Roderas con profundidad 25 mm cubriendo el 20%.

En caso de que no ocurran los casos anteriores, se considera que la condición del tramo es aceptable.

(2) La decisión A significa que el tramo debe someterse a un estudio de tallado en la siguiente fase, el cual permitirá proyectar su respectiva rehabilitación. La decisión B debe interpretarse que el tramo por el momento, quedará sometido a labores de mantenimiento rutinario.

Fig 6.- Acciones recomendables en función del tránsito y estados del pavimento.

CARRERA		TIPO DE PAVIMENTO	
SUBSTRATO		FECHA	
DEFECTOS:		CALIFICACION	
Grietas Transversales	0-5	---	
Grietas Longitudinales	0-5	---	
Piel de cocodrilo	0-10	---	
Grietas de contracción	0-5	---	
Roderos	0-10	---	
Corrugaciones	0-5	---	
Desgranamiento	0-5	---	
Deformaciones plásticas	0-10	---	
Bachas	0-10	---	
Exceso de asfalto	0-10	---	
Agregados pulidos	0-5	---	
Deficiencias de drenaje	0-10	---	
Calidad de Rodamiento (0 es excelente y 10 es muy malo)	0-10	---	
Suma de Defectos		---	

Calificación de Condición = 100 - Suma de Defectos  
- 100 -

Calificación de Condición del Pavimento =

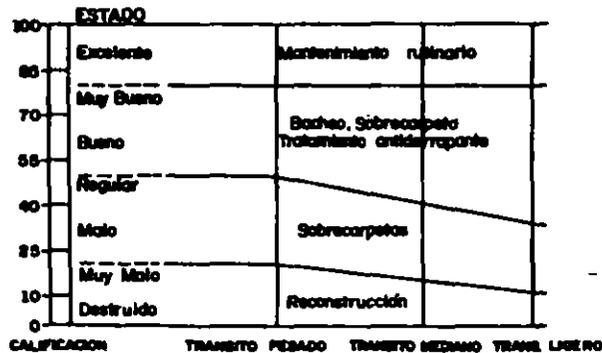


Fig 7.- Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación.

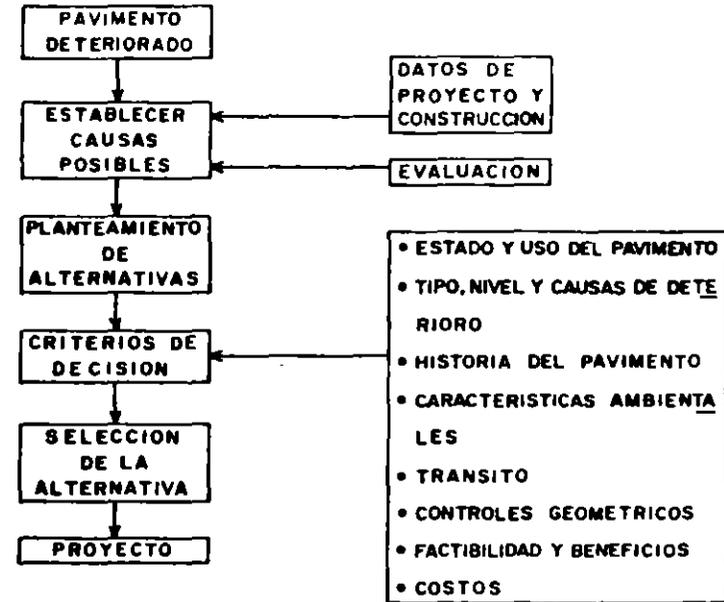


Fig 8.- Acciones de la conservación y rehabilitación. Monismith

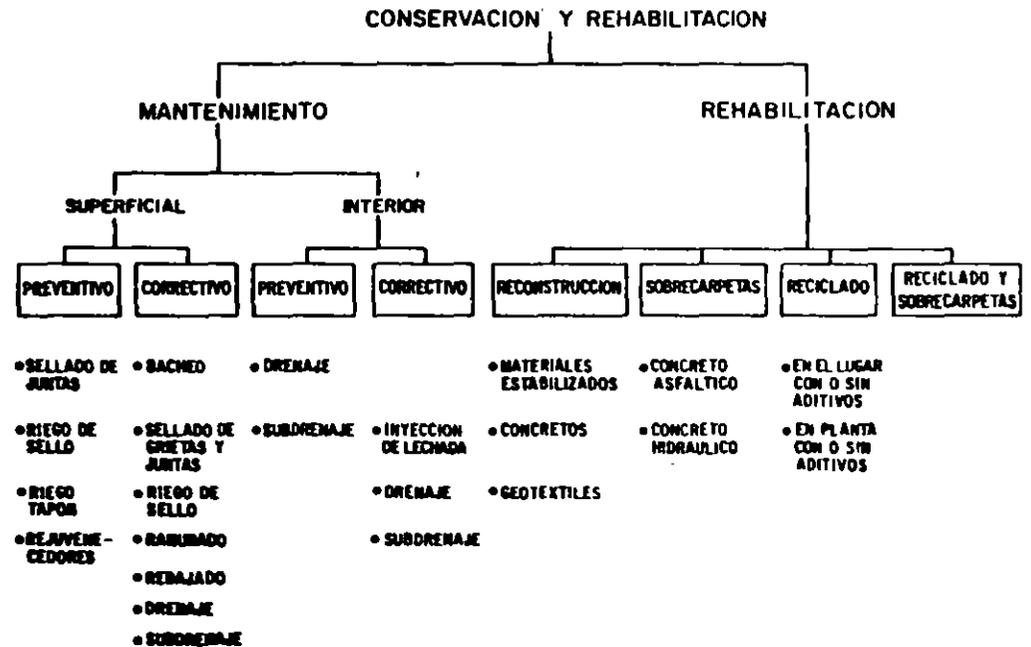
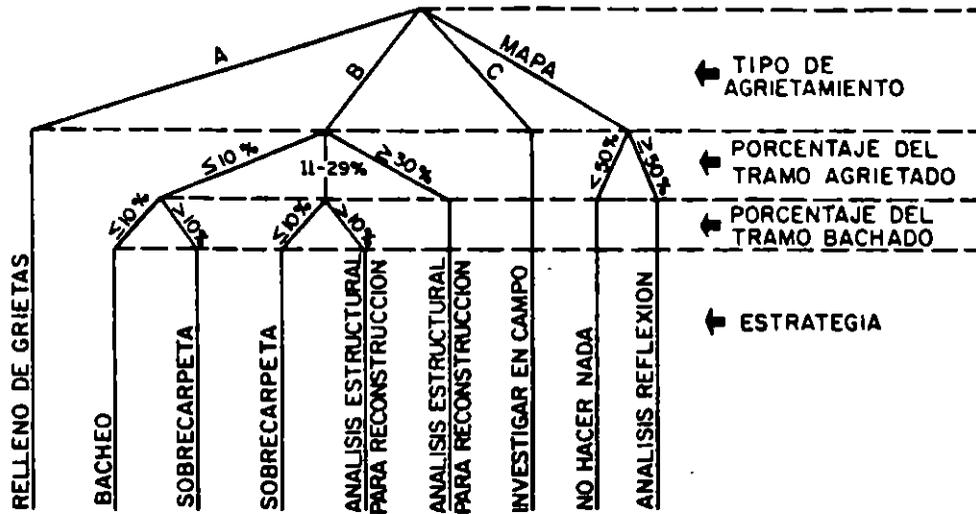


Fig 11.- Ejemplo de selección del procedimiento para corrección de deterioros. California

### AGRIETAMIENTO EN FORMA DE MAPA O PIEL DE COCODRILO



**CLAVE:**  
 A GRIETAS LONGITUDINALES EN RODADAS  
 B PIEL DE COCODRILO EN RODADAS  
 C AGRIETAMIENTO ESPECIAL O POCO COMUN  
 MAPA AGRIETAMIENTO CUBRIENDO EL ANCHO DEL CARRIL

Fig 12.- Principales ventajas y desventajas de la técnica de reciclados.

### RECICLADO

#### VENTAJAS

- UTILIZACION DE LOS MATERIALES EXISTENTES
- PRODUCE UNA LIGERA O IMPORTANTE MEJORA ESTRUCTURAL
- SOLUCIONA TODO TIPO DE DETERIORO
- REDUCE O ELIMINA EL AGRIETAMIENTO POR REFLEXION
- MEJORA LA CALIDAD DE RODAMIENTO Y LA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- RESUELVE PROBLEMAS DE CONTROLES GEOMETRICOS
- PUEDE ESTABLECERSE UN BUEN CONTROL DE CALIDAD

#### DESVENTAJAS

- INTERFERENCIAS CON EL TRANSITO
- COSTO
- PROBLEMAS DE CONTAMINACION Y DAÑOS A LA VEGETACION
- NO RESUELVE PROBLEMAS OCASIONADOS POR TERRACERIAS DEBILES

Fig 13.- Coeficiente de daño a 0 y 60 cm de profundidad para diferentes tipos de vehículos que circulan por la Red Carretera Nacional. Corro.

VEHICULO	COEFICIENTE DE DAÑO		TIPO
	Z=0	Z=60	
A2 A'2 B2 B3 B4 C2 C3 C4	0.004 0.536 2.000 1.999 2.666 2.000 1.999 4.000	0.000 0.015 0.899 0.756 0.753 0.899 0.756 2.937	W = 23.5 ton 
T2-S1 T2-S2 T3-S2 T3-S3	3.000 4.000 5.000 6.000	3.331 2.790 2.249 5.758	W = 46.0 ton 
C2-R2 C3-R2 C3-R3	4.000 5.000 6.000	8.579 8.580 8.581	W = 43.5 ton 
T2-S1-R2 T2-S2-R2 T3-S1-R2 T3-S2-R2 T3-S2-R3 T3-S2-R4	5.000 6.000 6.000 7.000 8.000 9.000	11.399 11.400 11.400 11.401 11.401 11.403	W = 77.5 ton 

TABLA 1.- Areas de aplicación y usos de medidores de rugosidad

Tipo de vialidad	Propósito de la medición		
	Inicial	Periódica	Terminal
1.- Autopista o carreteras principales	BRR, SDP, CRM RSE, RRL, CHLOE	CRM, SDP, RRL CHLOE	CRM, SDP CHLOE, RRL
2.- Carreteras secundarias	BPR, CRM, RSE SDP, RRL, CHLOE	CRM, SDP, RRL CHLOE	CRM, SDP CHLOE, RRL
3.- Carreteras vecinales	CRM, BPR, RSE SDP	CRM	CRM
4.- Aeropistas	SDP, RRL, CRM	CRM, SDP, RRL	SDP, RRL
U s o s			
A.- Monitoreo durante la construcción	X		
B.- Programas de -- conservación		X	X
C.- Inventario		X	X
D.- Investigación	X	X	X

TABLA 2.- Tolerancias para montaje de vía nueva

Parámetro Vía	Ancho	Variación del ancho	Nivelación transversal	Nivelación longitudinal	Alineación en recta	Alineación en curva	Alabeo en recta y curva circular	Peralte
J.N.R. Japón			2 mm	2 mm		2 mm	1.5 mm en 2.5 m	
Tokaido Japón	$\pm 2$ mm			$\pm 4$ mm en 10 m	$\pm 3$ mm en 10 m	$\pm 3$ mm en 10 m	2 mm en 2.5 m	
Shin-Kansen Japón	$\pm 2$ mm		3 mm	4 mm en 10 m	4 mm en 10 m		3 mm en 2.5 m	
S.N.C.F. Francia			$\pm 3$ mm			$\pm 1$ mm en 10 m	1°/o en 3 m	
F.S. Italia	$\pm 2$ mm - 1 mm		4 mm	4 mm en 10 m	2 mm en 10 m	3 mm en 10 m	$\pm 1$ °/o en 3 m	
D.B. Alemania Occidental			$\pm 2$ mm	2 mm en 5 m		2 mm en 16 m		
Dresina RENFE España	$\pm 3$ mm - 2 mm			$\pm 3$ mm en 6.5 m	$\pm 3$ mm en 10 m	$\pm 5$ mm en 10 m con R $\leq 10$ m	$\pm 3$ mm en 3 m	$\pm 3$ mm

TABLA 3.- Tolerancias para conservación de vía

Parámetro Vía	Ancho	Variación del ancho	Nivelación transversal	Nivelación longitudinal	Alineación en recta	Alineación en curva	Alabeo en recta y curva circular	Peralte
J.N.R. Japón	+ 5 mm - 3 mm		5 mm	5 mm	+ 3 mm en 10 m	+ 4 mm en 10 m	+ 5 mm en 2.5 m	
Tokaido Japón	+ 5 mm - 3 mm			7 mm en 10 m	3 mm en 10 m	4 mm en 10 m	3 mm en 2.5 m	
Shin-Kansen Japón	+ 6 mm - 4 mm		5 mm	7 mm en 10 m	4 mm en 10 m		5 mm en 2.5 m	
S.N.C.F. Francia	- 3 mm	1 mm por traviesa < 5 mm en 50 m	+ 5 mm			+ 4 mm en 10 mm	2°/oo en 3 m	
D.B. Alemania Occidental	+ 3 mm en recta - 2 mm en curva		+ 5 mm		+ 2 mm en 16 m	+ 3 mm en 16 m		
Dresina RENFE España	+ 4 mm - 3 mm	2 mm por traviesa < 4 mm en 50 m		+ 4 mm	+ 4 mm en 10 m	+ 6 mm en 10 m con R ≤ 500 m	+ 4 mm en 3 m	+ 5 mm

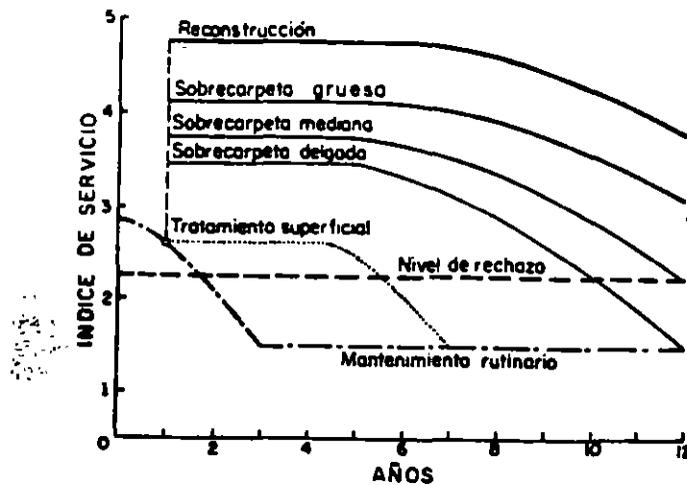


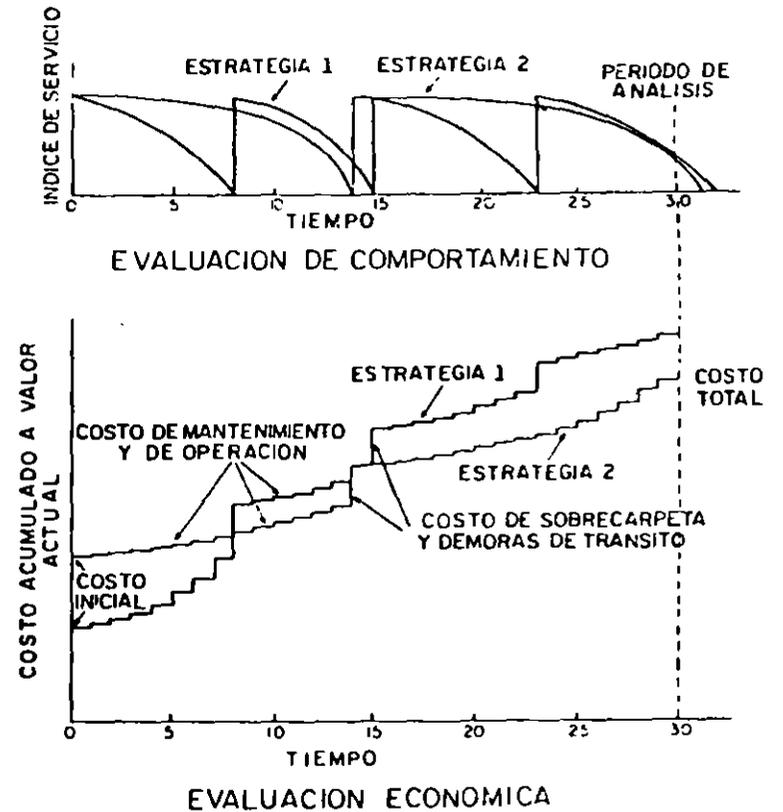
Fig 9.- Curvas típicas de comportamiento para diferentes alternativas de conservación y rehabilitación.

TABLA 4.- Tolerancias para vía RENFE montada sobre durmientes de concreto tipo nonobloc con sujeción elástica. (1)

Parámetro	Tolerancias	
	Montaje	Conservación
Ancho	+ 2 mm	+ 5 mm - 3 mm
Variación del ancho	3 mm en 3 m	2 mm en 1 m 6 mm en 50 m
Nivelación transversal	+ 2.5 mm	+ 5 mm
Nivelación longitudinal	+ 6 mm en 20 m + 4 mm en 10 m + 2 mm en 6.5 m	+ 10 mm en 20 m + 6 mm en 10 m + 3.5 mm en 6.5 m
Alineación en recta o curva R > 1000 m	+ 5 mm en 20 m + 3 mm en 10 m	+ 6 mm en 20 m + 4 mm en 10 m
Alineación en curva de transición o con R < 1000 m	+ 6 mm en 20 m + 4 mm en 10 m	+ 8 mm en 20 m + 5 mm en 10 m
Alabeo en recta y curva circular	2 mm en 3 m	4.5 mm en 3 m
Alabeo en transiciones	4 mm en 3 m	6 mm en 3 m
Peralte	+ 3 mm	+ 5 mm
Soldadura en la superficie de rodadura	+ 0.2 mm - 0.4 mm	

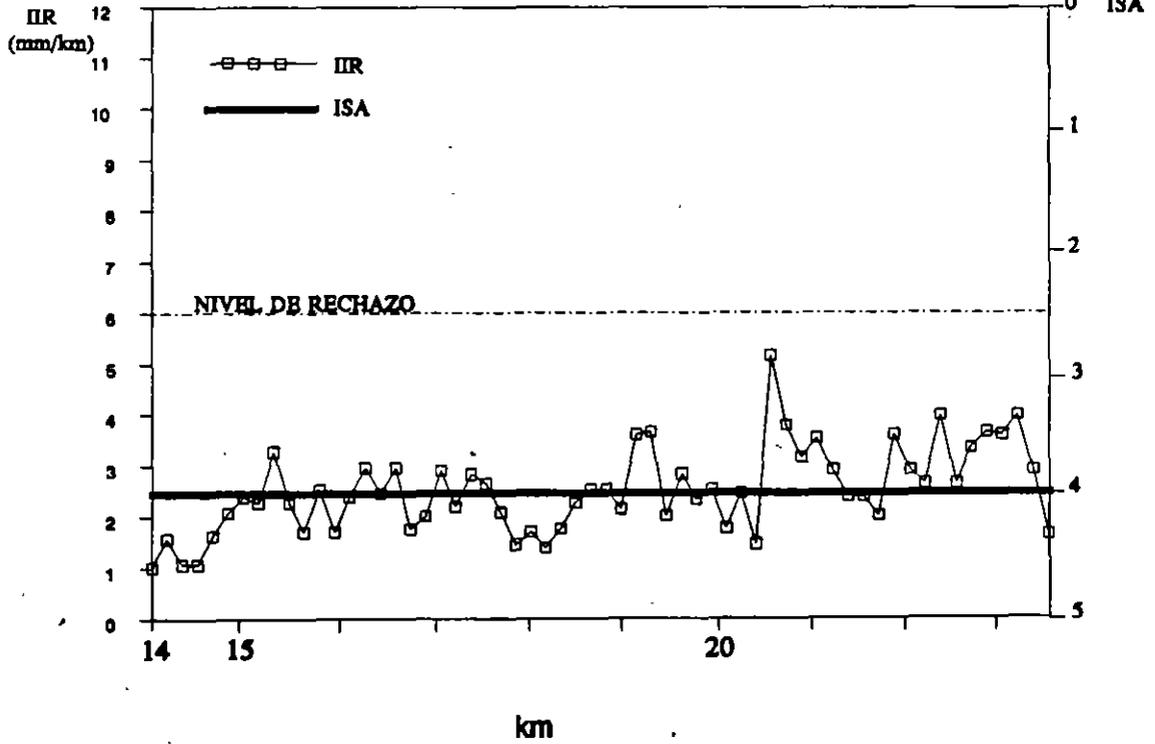
(1) Especificaciones del organismo ferroviario español

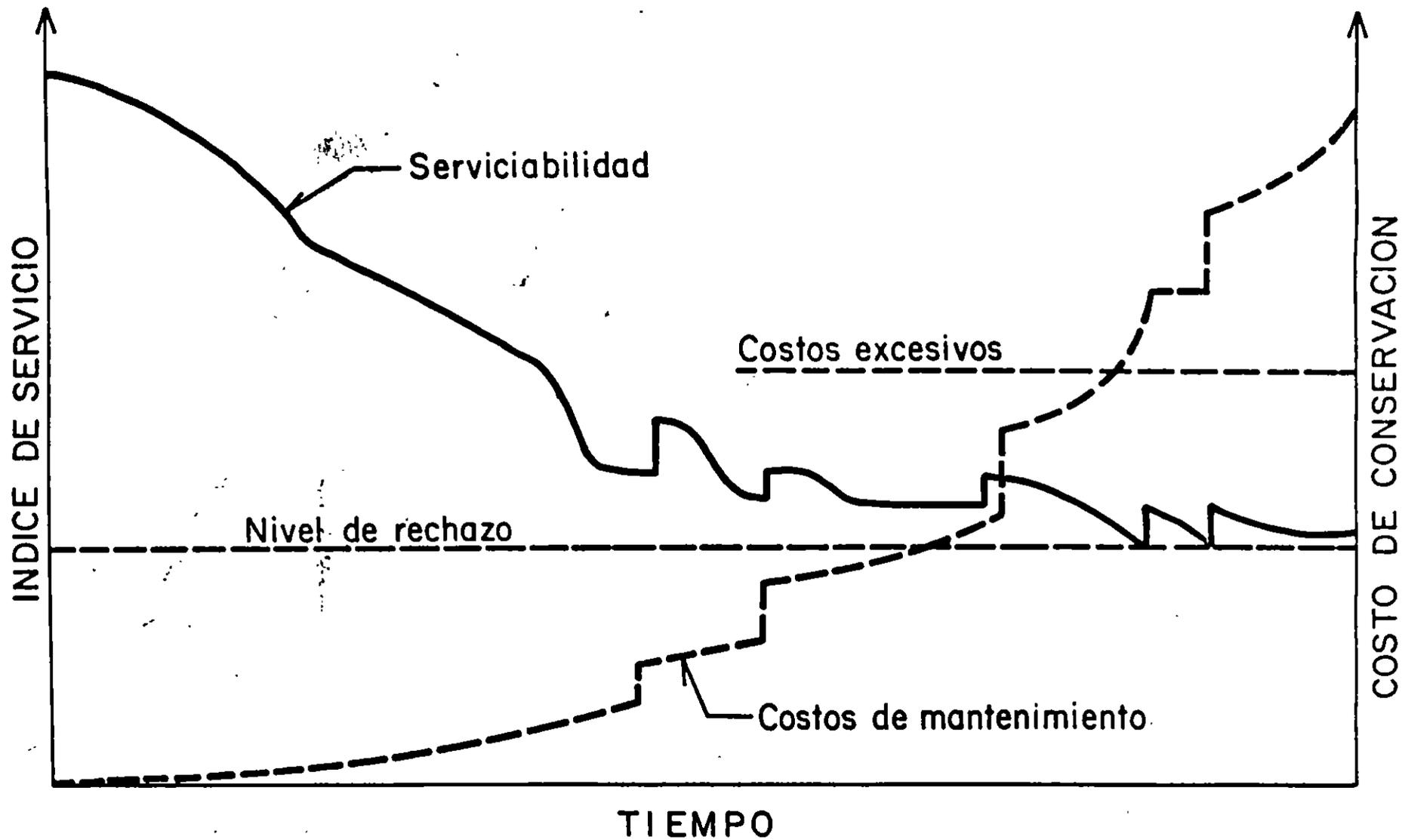
Fig 10.- Evaluación económica y de comportamiento para diferentes estrategias.



Autopista: Sn Martin - El Molinito

vel: 80 km/h





COMPORTAMIENTO Y COSTOS DE CONSERVACION EN EL TRANCURSO DEL TIEMPO

# FORMAS PRINCIPALES DE DETERIORO QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

<u>DETERIORO</u>	<u>CAUSA GENERAL</u>	<u>CAUSA ESPECIFICA QUE LO PRODUCE</u>
AGRIETAMIENTO O FRACTURAS	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CARGAS REPETIDAS ( FATIGA ) DESLIZAMIENTO (PRODUCIDO POR ESFUERZOS AL FRENAR) GRIETAS DE REFLEXION (PUEDEN INCREMENTARSE POR EL TRANSITO)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CAMBIOS TERMICOS CAMBIOS DE HUMEDAD CONTRACCION DE LOS MATERIALES SUBYACENTES
DEFORMACIONES	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	RODERAS ( POR CARGAS REPETIDAS ) FLUJO PLASTICO ( CARGAS EXCESIVAS )
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	EXPANSION (PRODUCIDA POR ARCILLAS EXPANSIVAS O POR CONGELAMIENTO) DEFORMACIONES POR CONSOLIDACION
DESINTEGRACION	SE ASOCIA CON LAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES, MAS QUE CON CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL. NO SE CONSIDERA EN LA FASE INICIAL DE DISEÑO.	

29

CAUSAS DE DETERIOROS  
Y FALLAS

DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO

DEFICIENCIAS EN LOS MATERIALES

DEFICIENCIAS DE CONSTRUCCION

DEFICIENCIAS DE MANTENIMIENTO

EFECTOS DEL TIEMPO, MEDIO AMBIENTE, ETC.

## DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO

- . TRANSITO . EVALUACION INCORRECTA DEL TRANSITO INICIAL
  - . CAMBIOS E INCREMENTOS FUTUROS
  
- . MATERIALES. DETERMINACION INCORRECTA DE SUS CARACTERISTICAS
  - . DESCONOCIMIENTO DE SU COMPORTAMIENTO
  - . MATERIALES POCO CONOCIDOS O MARGINALES
  
- . CLIMA Y MEDIO AMBIENTE. DATOS INSUFICIENTES O POCO CONFIABLES
  - . POCO CONOCIMIENTO DE SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES
  
- . OBRAS AUXILIARES Y COMPLEMENTARIAS. OMISION O INSUFICIENCIA
  
- . ESTRUCTURACION. CRITERIOS INADECUADOS
  
- . ESPECIFICACIONES. INSUFICIENTES O INADECUADAS

## DEFICIENCIAS EN LOS MATERIALES

- . PROPIEDADES INTRINSECAS INADECUADAS
- . DESCONOCIMIENTO DE SU COMPORTAMIENTO
- . DEFICIENCIAS EN SU PROCESAMIENTO, MANEJO, TRATAMIENTO Y COLOCACION

## DEFICIENCIAS DE CONSTRUCCION

- . EQUIPOS Y PROCESOS INADECUADOS
  
- . FALTA DE EXPERIENCIA EN EL MANEJO DE ALGUNOS MATERIALES
  
- . CALIDAD DE ACABADO INADECUADA
  
- . CONTROL DE CALIDAD DEFICIENTE

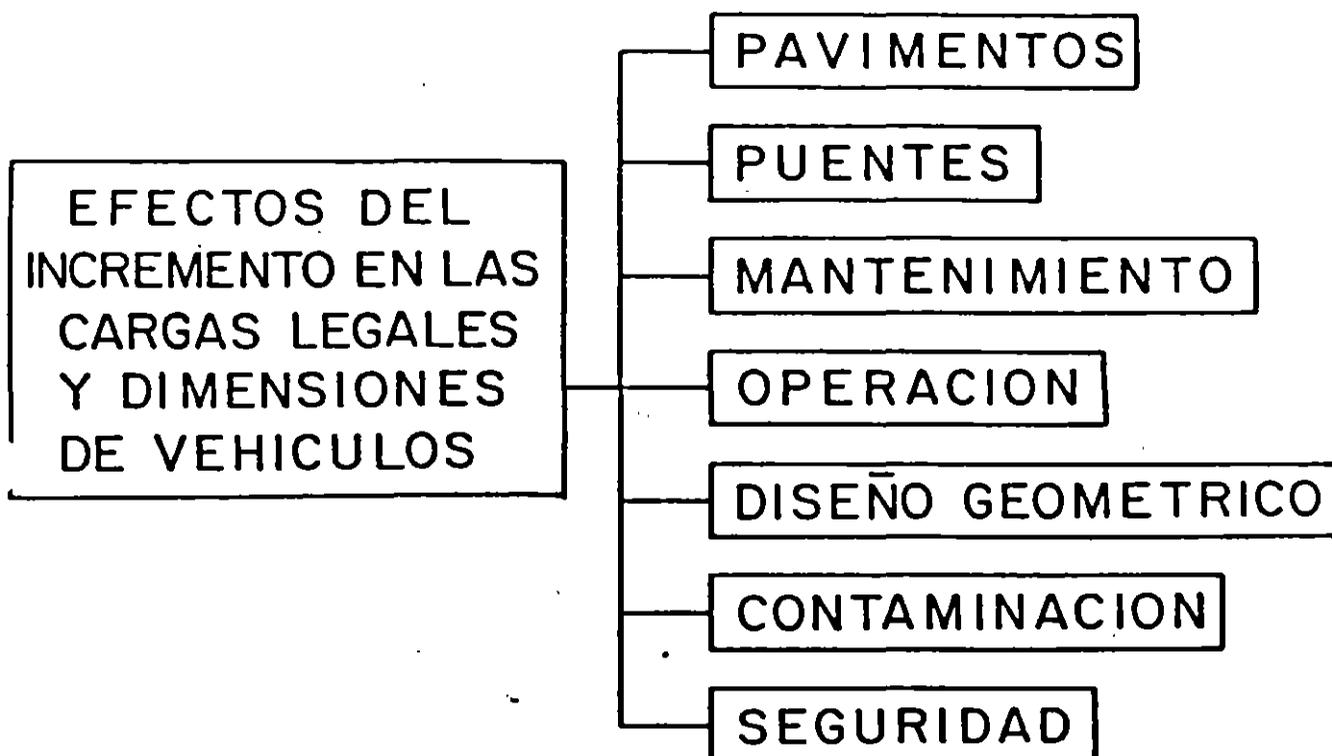
EFFECTOS DEL TIEMPO, MEDIO AMBIENTE, ETC.

(NO RELACIONADOS CON EL TRANSITO)

- . ENVEJECIMIENTO
- . CONTAMINACION
- . DEGRADACION
- . SATURACION
- . OXIDACION
- . VARIACIONES VOLUMETRICAS
- . REFLEXION DE GRIETAS, JUNTAS, ETC.
- . REDUCCION DE LA RESISTENCIA A LA FRICCION

## DEFICIENCIAS DE MANTENIMIENTO

- . REZAGOS
- . INOPORTUNO
- . INSUFICIENTE



## CARACTERISTICAS DEL Nivel de Servicio

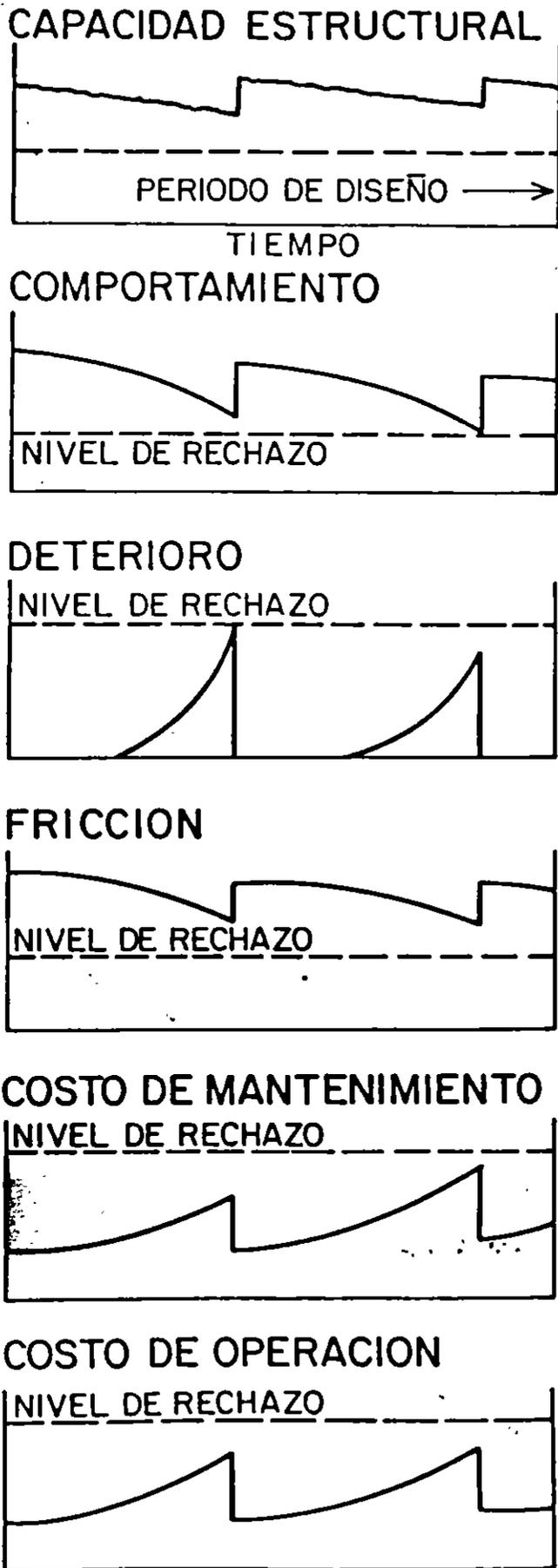
- debe ser homogéneo
- es un derecho adquirido
- mayor exigencia de seguridad y comodidad

# FACTORES QUE AFECTAN A LA VIDA UTIL DE UN PAVIMENTO

- TRANSITO
- MEDIO AMBIENTE
- CALIDAD DE LOS MATERIALES
- RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE
- CONDICIONES DE DRENAJE
- CALIDAD DE LA CONSTRUCCION
- NIVEL DE MANTENIMIENTO

CRITERIOS DE DECISION PARA JUSTIFICAR LA  
NECESIDAD DE EFECTUAR LA REHABILITACION  
DE UN PAVIMENTO

- NIVEL DE SERVICIO
- CALIDAD DE RODAMIENTO
- SEGURIDAD
- CAPACIDAD ESTRUCTURAL
- CONDICIONES SUPERFICIALES
- COSTOS DE OPERACION, MANTENIMIENTO, ETC.



PARAMETROS MEDIDOS AL EVALUAR EL PAVIMENTO

PARAMETROS NECESARIOS PARA EL ANALISIS ECONOMICO

SISTEMA DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS  
P.M.S. (PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS)

ES UN PROCEDIMIENTO SISTEMATICO Y CONSISTENTE PARA PROGRAMAR EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE LOS PAVIMENTOS, BASADO EN UN ENFOQUE QUE MAXIMICE LOS BENEFICIOS Y MINIMICE LOS COSTOS.

EL RETO DEL PMS RADICA EN CUANTIFICAR Y ACUMULAR LA INFORMACION NECESARIA PARA ESTABLECER RECOMENDACIONES ESPECIFICAS -- QUE TRADUCIDAS EN ACCIONES PERMITAN MANTENER UNA RED EN CONDICIONES DE SERVICIO ACEPTABLES, DENTRO DE LAS POSIBILIDADES PRESUPUESTALES.

LA SOLUCION DE ESTE DESAFIO REQUIERE NO SOLO DE LA PREPARACION Y EXPERIENCIA DE LOS INGENIEROS DE PAVIMENTOS SINO TAMBIEN DEL CONCURSO DE EXPERTOS EN ESTADISTICA, PROBABILIDADES, MODELADO E INVESTIGACION DE OPERACIONES.

UN INVENTARIO DE DATOS QUE RESUMA EL ESTADO DEL PAVIMENTO  
DIVERSOS CAMINOS NO ES EN SI UN PMS.

EL PMS REPRESENTA UN CONCEPTO INNOVADOR (1970) QUE  
PROCEDIMIENTOS VICIADOS EN DONDE EL INGENIERO TOMA DESI  
RA CONSERVAR Y REHABILITAR EL PAVIMENTO, EN BASE A SU A  
A EVALUACIONES DE CARACTER SUBJETIVO.

MAS RECIENTEMENTE EL INGENIERO SE HA VENIDO APOYA  
EVALUACIONES DE CARACTER ESTRUCTURAL PARA DETERMINAR LO  
MIENTOS DE SOBRE CARPETAS Y/O DE RECONSTRUCCIONES, AJUS  
LAS LIMITACIONES PRESUPUESTALES.

SIN EMBARGO ESTOS PROCEDIMIENTOS TIENEN LIMITACIONES SE

- TIENDEN A CONSIDERAR LAS NECESIDADES DE PROYECTOS IND.  
Y NO DE LA RED TOTAL.
- SON ALTAMENTE SUCEPTIBLES A LAS PREFERENCIAS DEL PERSON  
EXPERIENCIAS LIMITADAS DE QUIENES TOMAN LAS DECISIONES
- EL NUMERO DE ALTERNATIVAS CONSIDERADAS ES LIMITADO
- LOS DISEÑOS SE LIMITAN GENERALMENTE EN UN PERIODO FIJ
- EL COSTO DE LOS USARIOS NO SE CONSIDERA
- LAS POLITICAS POR INCONSISTENTES SE PUEDEN AFECTAR CO  
BIO DE PERSONAL.
- EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO ES DE EVALUACION DIFICIL
- LA INCERTIDUMBRES DE COMPORTAMIENTO SON IGNORADAS.

DOS CONDICIONES ENFATIZAN LA NECESIDAD DEL PMS

- EL INCREMENTO DEL KILOMETRAJE DE LOS PAVIMENTOS CON 15 A 25 AÑOS DE EDAD.
- LAS SEVERAS RESTRICCIONES PRESUPUESTALES PARA MANTENER Y REHABILITAR LOS PAVIMENTOS.
- PRIORITIZACION (NIVEL 1)
- IDENTIFICACION DEL TIPO DE REPARACION EN LOS TRAMOS PRIORITARIOS CONSTITUYE EL SIGUIENTE PASO (NIVEL 2)
- OPTIMIZACION (NIVEL 3)

P M S

ES UN INSTRUMENTO PERMANENTE, ACTUALIZADO Y SISTEMATICO PARA CONOCER LA REALIDAD, IDENTIFICAR Y FORMULAR OBJETIVOS DESEABLES, PROPONER Y ANALIZAR ALTERNATIVAS, APOYAR LA TOMA DE DECISIONES Y -- EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE LAS ACCIONES IMPLANTADAS, PARA ACTUALIZAR EL CONOCIMIENTO DE LA SITUACION REAL.

111

PMS ES EL PROCESO DE ORGANIZAR, COORDINAR Y CONTROLAR  
TODAS LAS ACTIVIDADES QUE AFECTAN EL COSTO Y VIDA DE  
LOS PAVIMENTOS.

LA MISION BASICA DE UN PMS ES PROPORCIONAR AL PUBLICO UN SISTEMA CARRETERO SEGURO Y EFICIENTE. INCLUYE LA CONSTRUCCION Y LA CONSERVACION PERPETUA DEL SISTEMA, PARA OBTENER LA MAYOR CALIDAD AL MENOR COSTO.

VENTAJAS DE LA APLICACION DE UN PMS

- SE AUMENTA LA POSIBILIDAD DE TOMAR DECISIONES CORRECTAS, AL CONSIDERAR TODOS LOS FACTORES RELEVANTES Y LAS ALTERNATIVAS EN FORMA COORDINADA.
- SE HACE MEJOR USO DE LA TECNOLOGIA DISPONIBLE, MEDIANTE COORDINACION Y RETROALIMENTACION.

EL EXITO DE UN PMS DEPENDE DE LAS ACCIONES DE COORDINACION,  
COMUNICACION, COOPERACION, INFORMACION Y RETROALIMENTACION.

48

## COMPONENTES BASICOS DE UN PMS

- PLANEACION
- DISEÑO
- CONSTRUCCION
- MANTENIMIENTO
- EVALUACION
- INVESTIGACION

TODAS ESTAS ACTIVIDADES ESTAN DIRECTAMENTE RELACIONADAS ENTRE SI Y CUALQUIERA DE ELLAS PUEDE, EN UN MOMENTO DADO, ADQUIRIR UNA IMPORTANCIA RELEVANTE.

## FUNCIONES BASICAS DE LOS SUB-SISTEMAS

- PLANEACION: INVOLUCRA UNA APRECIACION DE LAS DEFICIENCIAS O MEJORAS REQUERIDAS POR UNA RED, EL ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES PARA ELIMINAR O REDUCIR ESTAS DEFICIENCIAS, Y EL DESARROLLO DE PRESUPUESTOS Y PROGRAMAS PARA REALIZAR LOS TRABAJOS NECESARIOS.
- DISEÑO: INVOLUCRA LA ADQUISICION O SUMINISTRO DE UNA VARIADA INFORMACION, LA GENERACION DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO, -- LOS ANALISIS DE ESTAS ALTERNATIVAS, SU EVALUACION ECONOMICA Y LA OPTIMIZACION PARA SELECCIONAR LA MEJOR.
- CONSTRUCCION: LA CONSTRUCCION CONVIERTE UNA RECOMENDACION DE DISEÑO EN UNA REALIDAD FISICA. SU PRINCIPAL COMPONENTE DE ACTIVIDAD INCLUYE EL DETALLE DE LAS ESPECIFICACIONES Y DOCUMENTOS CONTRACTUALES, PROGRAMAS, OPERACIONES DE CONSTRUCCION, CONTROL DE CALIDAD, Y LA ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS PARA CANALIZARLOS AL BANCO --- (DE DATOS)

MANTENIMIENTO:

ESTA FASE INCLUYE EL ESTABLECIMIENTO DE UN--PROGRAMA Y LISTADO DEL TRABAJO DE REPARACION LAS OPERACIONES DE SELLADO DE GRIETAS, BA---CHEO ETC. Y LA ADQUISICION Y PROCESAMIENTO -DE DATOS PARA ALIMENTAR EL RESPECTIVO BANCO-DE DATOS.

EVALUACION:

CORRESPONDE A UNA DE LAS FASES QUE ULTIMAMENTE HA RECIBIDO CONSIDERABLE ATENCION E INCLUYE EL ESTABLECIMIENTO DE SECCIONES DE CON---TROL, MEDICIONES PERIODICAS DEL COMPORTAMIENTO REAL EN CUANTO A DETERIOROS, CAPACIDAD ESTRUCTURAL, RODABILIDAD, RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO, Y TRANSMITIR DICHA INFORMACION AL-BANCO DE DATOS.

LA INFORMACION ADQUIRIDA TIENE APLICACION EN:

- LA VERIFICACION DE LA EFICIENCIA CON QUE-EL PAVIMENTO CUMPLE CON SU FUNCION.
- LA PLANEACION Y PROGRAMACION DE LAS FUTURAS REHABILITACIONES REQUERIDAS
- LA INTRODUCCION DE MEJORAS TECNOLOGICAS DE-DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO.

INVESTIGACION:

- SURGE DE LAS PROPIAS NECESIDADES Y USUALMENTE UTILIZA EN FORMA EXTENSIVA LA INFORMA --CION DERIVADA DE LA ACCION ANTERIOR.  
(EVALUACION).

## BANCO DE DATOS

SUPONE BASICAMENTE LA COLECCION DE LA SIGUIENTE INFORMACION:

### FICHA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION

RESUME Y PONE AL DIA LA INFORMACION PERTINENTE CONCERNIENTE A LOS PARAMETROS ORIGINALES DE DISEÑO, TALES COMO TRANSITO, CONDICIONES SUPERFICIALES, MATERIALES, ESPESORES Y COSTOS - DE CONSTRUCCION.

### FICHA DE MANTENIMIENTO

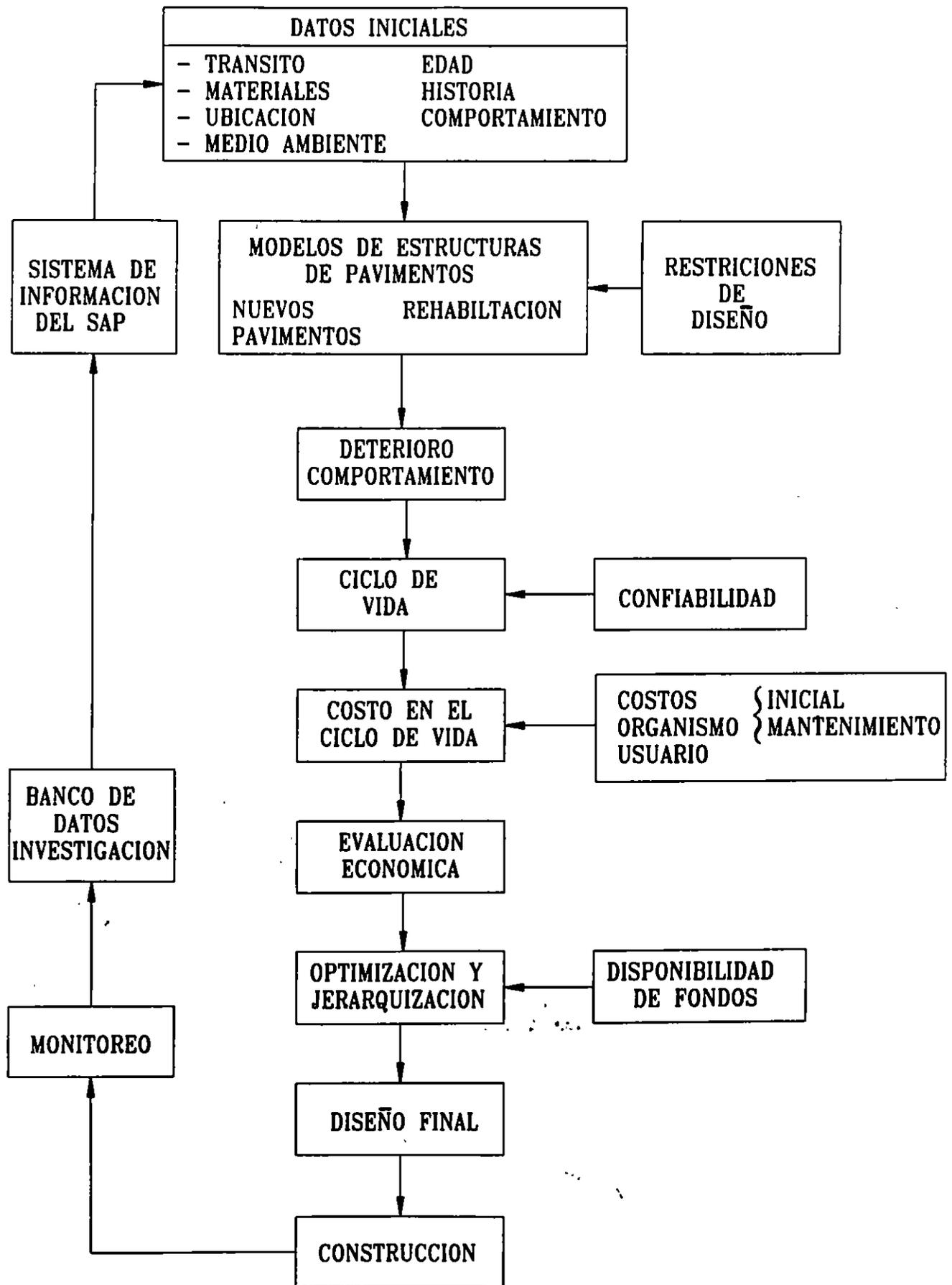
PROPORCIONA LA HISTORIA DEL MANTENIMIENTO Y LA REHABILITACION, INCLUYENDO LOS COSTOS DE CADA ACTIVIDAD, SE DEBE CONSIDERAR ADEMAS LOS COSTOS DEL USUARIO Y EL VALOR DE RESCATE.

### FICHA DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO

- 1) CONDICIONES FISICAS DEL PAVIMENTO, INCLUYENTO TIPO, SEVERIDAD Y EXTENSION DE LOS DETERIOROS
- 2) CAPACIDAD ESTRUCTURAL, USUALMENTE A PARTIR DE MEDICIONES NO DESTRUCTIVAS
- 3) CALIDAD DE RODAMIENTO, SUBJETIVA O CON MEDIDAS (ROAD MATERIAL)
- 4) COEFICIENTE DE FRICCION, (RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO)

CONducir y PONER AL DIA ESTE ACERBO SUELE SER LO MAS COSTOSO DEL SISTEMA.

ESTOS DATOS DEBEN COMPUTARIZARSE MEDIANTE LOS "SOFTWARE" DISPONIBLES.



## DATOS BASICOS

- UBICACION
- CLIMA
- DATOS GEOTECNICOS
- ANTIGUEDAD
- CONDICION
- ESTRUCTURAL (EVALUACION)
- NUMERO DE CAPAS
- ESPESOR
- MODULOS
- MATERIALES
- DEFLEXIONES
- HISTORIA DE CONSERVACION
- TOPOGRAFIA, ELEVACION, CURVATURA, PENDIENTE
- GEOMETRIA
- TRANSITO (PASADO Y FUTURO)      ESAL'S  
NUM. DE VEHICULOS COMERCIALES  
TASA DE CRECIMIENTO
- CONDICION SUPERFICIAL (PASADO Y FUTURO)      AGRIETAMIENTOS  
DEFORMACIONES  
RUGOSIDAD  
RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- COSTOS DE CONSERVACION
- ACCIDENTES

## EVALUACION DEL PAVIMENTO COMO PARTE DEL PMS

LA EVALUACION PROPORCIONA INFORMACION TANTO AL NIVEL DE PLANEACION PARA ESTIMAR DEFICIENCIAS DE LA RED EN SU CONJUNTO, COMO A NIVEL DISEÑO EN EL DESARROLLO DE LOS ANALISIS DETALLADOS.

TODAS LAS AREAS DEL PMS DEBEN ESTAR INTERESADAS EN LOS PARAMETROS DEDUCIDOS DE LA EVALUACION DE UN PAVIMENTO, A EFECTO DE:

- 1.- OBTENER DATOS QUE PERMITAN VERIFICAR LAS PREDICCIONES DEL DISEÑO Y AJUSTARLAS DE SER NECESARIO.
- 2.- REPROGRAMAR LAS MEDIDAS DE REHABILITACION PREVISTAS A NIVEL DISEÑO
- 3.- PROPORCIONAR INFORMACION PARA MEJORAR LOS MODELOS MISMOS - DE DISEÑO.
- 4.- PROPORCIONAR INFORMACION PARA MEJORAR TECNICAS DE CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO.
- 5.- PROPORCIONAR INFORMACION PARA ACTUALIZAR LOS PROGRAMAS AL NIVEL DE LA RED

POR CONSIGUIENTE SE CONVIERTE EN UNA DE LAS PARTES "CLAVES" DEL PMS.

## EVALUACION

MEDICION PERIODICA DE LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL PAVIMENTO:

- CAPACIDAD ESTRUCTURAL
- RUGOSIDAD
- DETERIOROS
- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

CAPTA Y TRANSMITE INFORMACION ACERCA DE LA FORMA EN QUE EL PAVIMENTO CUMPLE CON SUS FUNCIONES.

PERMITE: COMPROBAR LAS PREDICCIONES DEL PROYECTO-PROGRAMAR LOS TRABAJOS DE REHABILITACION-MEJORAR LOS MODE--LOS DE DISEÑO-MEJORAR TECNICAS DE CONSTRUCCION' Y DE MANTENIMIENTO, PRONOSTICAR LA VIDA UTIL DEL PAVIMENTO.

# EVALUACION

EVALUACION	METODO	PROCEDIMIENTO
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	CALAS Y POZOS	INVESTIGACION DIRECTA POR METODOS DESTRUCTIVOS
RESPUESTA INMEDIATA AL EFECTO DE CARGAS	MEDIDAS DE DEFLEXION	VIGA BENKELMAN DEFLECTOGRAFO LACROIX DINAFLECT ROAD RATER. WEIS DEFLECTOMETRO DE IMPACTO
COMPORTAMIENTO	HISTORIA DE SERVICIABILIDAD	GRUPO CALIFICADOR PERFILOMETRO CHLOE PERFILOMETRO RRL RUGOMETRO BPR ROAD METER PCA, MAYS
DETERIORO SUPERFICIAL	LEVANTAMIENTO DE DAÑOS	INSPECCION VISUAL GERPHO
SEGURIDAD	RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO	PENDULO MEDIDOR ASTM E 274 SCRIM MUMETER
COSTOS	REGISTRO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACION	INFORMACION PROVENIENTE DEL ORGANISMO RESPONSABLE
AP/ ENCIA	OPINION	INSPECCION VISUAL

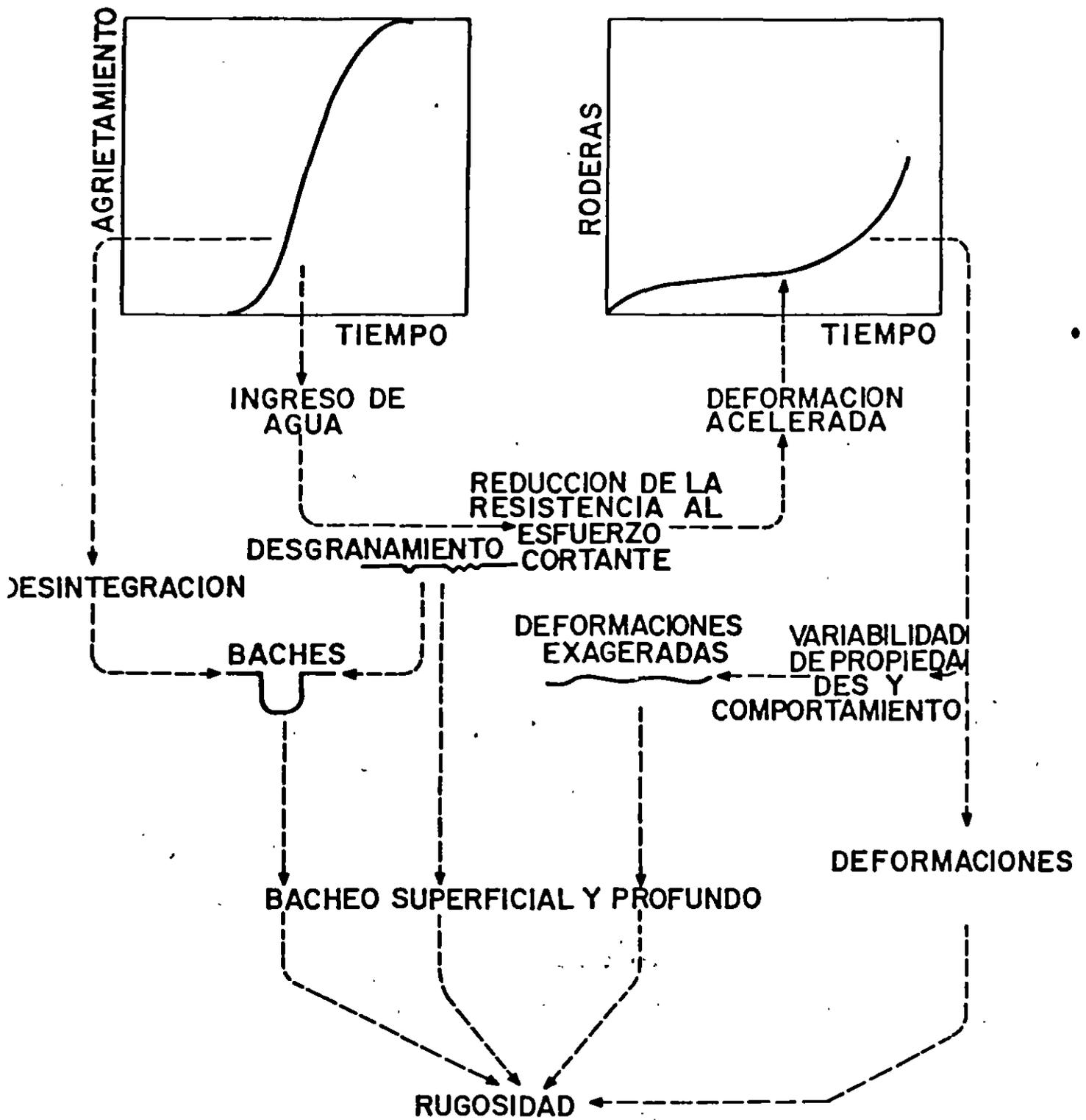
52

# CARACTERISTICAS DE EQUIPO DE EVALUACION

- COSTO
- OPERACION
- CONSERVACION
- VALOR DE RESCATE
- PRECISION
- RAPIDEZ DE OPERACION
- ESTANDARIZACION Y CALIBRACION
- TIPO DE REGISTRO DE DATOS

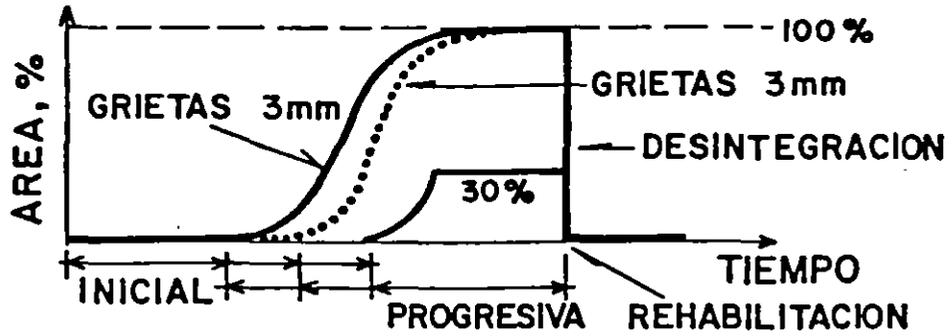
CONSIDERACIONES BASICAS PARA SELEC  
CIONAR EL METODO DE EVALUACION.

- 1.- IMPORTANCIA DEL COSTO INICIAL RESPECTO A LOS COSTOS DIFERIDOS
- 2.- COMPRESION DEL METODO Y SU MEJOR ADAPTACION A LAS NECESIDADES DEL ORGANISMO
- 3.- INCLUSION DE ANALISIS DE BENEFICIOS

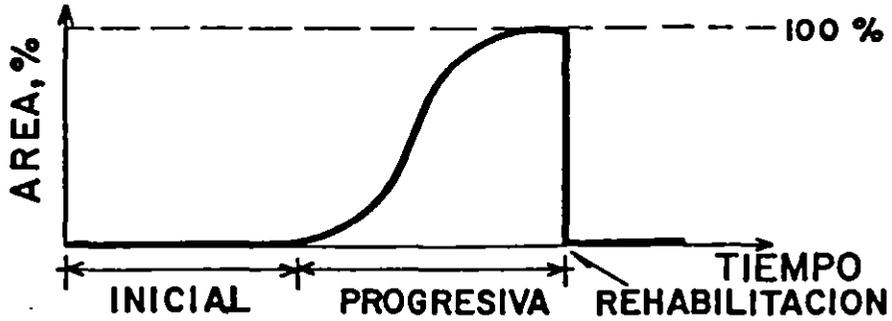


**MECANISMOS E INTERACCIONES DE LOS DETERIOROS**

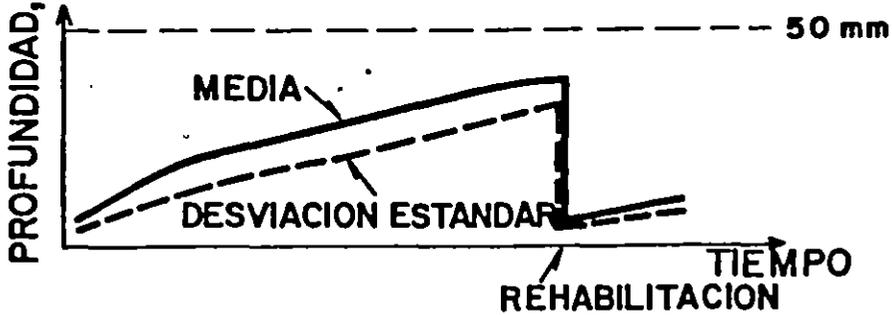
### AGRIETAMIENTO Y DESINTEGRACION



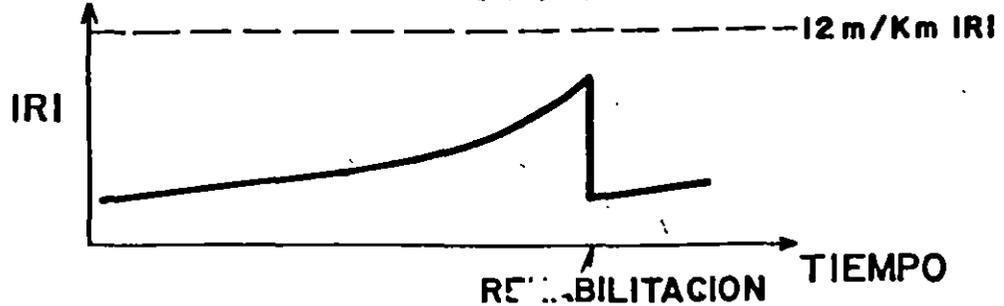
### DESPRENDIMIENTO



### RODERAS



### RUGOSIDAD



## METODOS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD

- 1.- PERFILOMETRO CHLOE (SLOPE INDICATOR)
- 2.- RUGOMETRO TIPO BUREAU OF PUBLIC ROADS (BPR)
- 3.- PERFILOMETROS TIPO ROAD RESEARCH LABORATORY (RRL) O HVEEN
- 4.- MEDIDORES DE CARRETERAS TIPO (CAR ROAD METER), PCA Y MAYS

## EVALUACION DEL PAVIMENTO EN CUANTO A SEGURIDAD

### COMPONENTES:

- 1 - RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO (SKID RESISTANCE)
- 2 - FORMACION DE SURCOS, EN RELACION A LA ACUMULACION DE AGUA O NIEVE (PELIGRO DE ACUAPLANEO)
- 3 - REFLECTIBILIDAD DE LA LUZ
- 4 - LINEAS DE DEMARCACION
- 5 - PARTICULAS SUeltas U OBJETOS EXTRAÑOS

## EVALUACION DE DETERIOROS: CONDICIONES SUPERFICIALES

NO CONSTITUYEN EN SI UNA RESPUESTA DEL USUARIO, SE UTILIZA MAS BIEN POR ESTIMAR LAS MEDIDAS DE MANTENIMIENTO PARA PREVENIR EFECTOS ACELERADOS DE DETERIORO O PARA PLANEAR LA REHABILITACION QUE DEBE MEJORAR AL PAVIMENTO.

AUNQUE ES DIFERENTE DE LO QUE ES LA VALUACION DEL COMPORTAMIENTO, AMBOS TIPOS DE EVALUACION SON COMPLEMENTARIOS Y NECESARIOS PARA CONOCER O EVALUAR LOS REQUERIMIENTOS DEL PAVIMENTO.

(VER MODELOS DE REGISTROS)

CLASIFICACION DE DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS

FORMA	TIPO	DESCRIPCION
AGRIETAMIENTO	COCODRILO	POLIGONOS MENORES DE 30 CM
	LONGITUDINAL	GRIETAS LINEALES A LO LARGO DEL PAVIMENTO
	TRANSVERSALES	GRIETAS LINEALES TRANSVERSALES AL PAVIMENTO
	IRREGULARES	GRIETAS NO CONECTADAS CON PATRON INDEFINIDO
	MAPA	POLIGONOS MAYORES DE 30 CM
	BLOQUE	GRIETAS INTERCONECTADAS CON PATRON RECTANGULAR, CON ESPACIAMIENTOS MAYORES DE UN METRO
DESINTEGRACION	DESGRANAMIENTO	PERDIDA DE PARTICULAS
	BACHES	CAVIDADES (MAYORES DE 15 CM DE DIAMETRO Y MAS DE 5 CM DE PROFUDIDAD)
	FRACTURAS EN LAS ORILLAS	PERDIDA DE FRAGMENTOS EN LA ORILLA DEL PAVIMENTO
DEFORMACION	RODERAS	DEPRESION LONGITUDINAL EN LAS RODADAS
	DEPRESION	DEFORMACION EN FORMA DE CUENCA
	PROTUBERANCIA	ELEVACION LOCALIZADA EN LA SUPERFICIE
	BORDO	ELEVACION LONGITUDINAL DE LA SUPERFICIE
	CORRUGACION	DEPRESIONES TRANSVERSALES POCO ESPACIADAS
	ONDULACION	DEPRESIONES TRANSVERSALES CON ESPACIAMIENTO MAYOR DE 5 M
	RUGOSIDAD	IRREGULARIDAD DE LA SUPERFICIE EN LAS RODADAS
BAJA RESISTENCIA AL DERR MIENTO	SUPERFICIE LISA	PULIMENTO DE AGREGADOS, EXPULSION DE ASFALTO, PRESENCIA DE HULE, - ARCILLA, ETC.

59

## DETERIOROS TIPICOS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

### 1.- AGRIETAMIENTOS

- 1.1.- PIEL DE COCODRILO
- 1.2.- GRIETAS EN ORILLA
- 1.3.- JUNTAS ENTRE PAVIMENTOS Y ACOTAMIENTOS
- 1.4.- JUNTAS DE CONSTRUCCION LONGITUDINALES
- 1.5.- GRIETAS DE REFLEXION
- 1.6.- GRIETAS DE CONTRACCION
- 1.7.- GRIETAS DE DESLIZAMIENTO DE CARPETA
- 1.8.- JUNTAS DE AMPLIACIONES DE PAVIMENTO

### 2.- DEFORMACIONES Y DISTORSIONES

- 2.1.- CANALIZACIONES O RODERAS
- 2.2.- CORRUGACIONES Y PROTUBERANCIAS
- 2.3.- DEPRESIONES
- 2.4.- EXPANSIONES
- 2.5.- DEPRESIONES O ASENTAMIENTOS EN RELLENOS

### 3.- DESINTEGRACION

- 3.1.- BACHES
- 3.2.- DISGREGACION

### 4.- BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

- 4.1.- SANGRADO O EXPULSION DE ASFALTO
- 4.2.- PULIMENTO DE AGREGADOS

### 5.- PROBLEMAS DERIVADOS DE LA APLICACION INCORRECTA DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

- 5.1.- DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS
- 5.2.- RAYADO LONGITUDINAL
- 5.3.- RAYADO TRANSVERSAL

## CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS

TIPOS DE FALLAS	FORMAS COMO SE MANIFIESTAN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES
I.- DISTORSIONES	<p>Baches</p> <p>Asentamientos</p> <p>Ondulaciones</p> <p>Corrugaciones de la carpeta</p> <p>Desplazamientos o corrimientos de la carpeta.</p> <p>Levantamientos del pavimento o bufamientos.</p> <p>Rodadas marcadas en la carpeta</p> <p>Surcos</p> <p>Depresiones en zanjas no bien rellenadas.</p>
II.- AGRIETAMIENTOS	<p>Grietas longitudinales en las orillas o en el centro.</p> <p>Grietas transversales por reflexión o por contracción.</p> <p>Grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo, limitando piezas pequeñas de carpeta (10 a 40 cm de lado) o piezas grandes (más de 40 cm)</p> <p>Grietas por corrimientos de la carpeta.</p> <p>Grietas parabólicas en la carpeta (zonas de desaceleración).</p>
III.- DESINTEGRACIONES	<p>Desprendimientos del material pétreo de la carpeta o del riego de sello.</p> <p>Desprendimiento de la película de <u>as</u>falto del material pétreo.</p> <p>Desprendimientos de la carpeta, como capa.</p> <p>Rompimientos de las partículas del material pétreo, que propicien su <u>des</u>prendimiento.</p>
IV.- DEFECTOS VARIOS	<p>Superficies lisas o derrapantes (afloramientos de asfalto o materiales que se pulen fácilmente).</p> <p>Zonas con asfalto descubierto en carpetas de riegos o en riegos de sello (desprendimientos del material pétreo o ausencia original de éste).</p> <p>Superficies "rayadas" en carpetas de riegos o en riegos de sello (falta de uniones correctas entre las fajas de riego o deficiencias en la aplicación del asfalto).</p>

CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS EN LOS PAVIMENTOS Y QUE NO  
PROVIENEN DIRECTAMENTE DE ESTOS.

PARTE FUNDAMENTAL DE LA OBRA  
EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS

C A U S A S

I.- TERRENO DE CIMENTACION

Mala calidad del material (suelos orgánicos, suelos expansivos, suelos resistentes, etc.), asociada a variaciones en el contenido de agua, que producen cambios volumétricos perjudiciales.

Baja capacidad de carga o falta de compactación del suelo.

II.- TERRACERIAS

CORTES

Inestabilidad de los materiales de los taludes, que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento (por mala calidad del material, cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad, materiales erosionables, presencia de estratos de suelos o mantos de roca con inclinación desfavorable, taludes no bien afinados o con poca inclinación para las condiciones del material, etc.)

Espesor insuficiente de la capa subrasante, mala calidad del material de ésta y/o baja compactación.

TERRAPLENES

Mala calidad de los materiales del cuerpo del terraplén y/o de la capa subrasante.

Acomodo inadecuado de los materiales o falta de compactación.

Materiales erosionables en los taludes, sin la adecuada protección.

Exceso en el contenido de agua de los materiales y/o cambios volumétricos -- perjudiciales con las variaciones de humedad.

Falta de escalones de liga cuando éstos son necesarios.

III.- OBRAS DE DRENAJE

Insuficiencia de alcantarillas y/o de puentes en cuanto a su capacidad o número. Ubicación incorrecta o inadecuada de las obras.

Uso de materiales de mala calidad o inadecuados en la construcción de estas obras.

Defectos de construcción de estas obras.

Falta de protección (recubrimiento) de cunetas y/o contracunetas o falta de estas obras.

Falta de conservación y limpieza de las obras para remover azolves u otras obstrucciones, rehacer canalizaciones, etc.

Falta de subdrenes donde se requieren o mal funcionamiento de los existen-

CUADRO 3

CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS U OTROS DEFECTOS EN LOS PAVIMENTOS Y QUE  
PROVIENEN DIRECTAMENTE DE ESTOS.

CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGINAN -- LAS FALLAS.	CAUSAS
SUB-BASE	Mala calidad del material utilizado Baja compactación Falta de espesor Contaminación con el material de las terracerías Defectos de construcción y/o de acabados.
BASE	Mala calidad del material utilizado Baja compactación Falta de espesor Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación. Falta de limpieza y/o barrido de la superficie de la base al momento de impregnar. Defectos de construcción y/o de acabados. Defectos de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito y a los efectos del clima, antes de protegerla con la carpeta.
RIEGO DE IMPREGNACION.	Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto. Cantidad excesiva de asfalto. Cantidad escasa de asfalto. Tránsito demasiado pronto sobre el riego de asfalto. Asfalto frío (viscosidad alta) que impide su penetración en la base. Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador). Exceso de arena de "poreo", cuando éste se usa.

CUADRO 3

CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS.	CAUSAS
<p>RIEGO DE LIGA EN -- CARPETAS DE MEZCLAS ASFALTICAS O DE RIE- GOS.</p>	<p>Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto. Cantidad excesiva de asfalto Cantidad escasa de asfalto. Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de tender la carpeta (de mezcla en el lugar) o de cubrirse con los materiales pétreos (carpetas de riegos). Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).</p>
<p>CARPETA DE RIEGOS.</p>	<p>Mala calidad de los materiales pétreos empleados o granulometrías defectuosas de éstos. Falta de afinidad de los materiales pétreos con el asfalto. Cantidades escasas de los materiales pétreos. Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de su aplicación Tránsito sobre el riego de asfalto antes de cubrir con el pétreo. Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas. Defectos de construcción de la carpeta (falta de rastreos, planchado o barrido de los materiales pétreos, traslapes incorrectos de -- los riegos, distribución no uniforme de los materiales, etc.)</p>
<p>CARPETA DE MEZCLA ASFALTICA EN EL LU- GAR.</p>	<p>Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría. Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. Exceso de asfalto en la mezcla. Cantidad escasa de asfalto en la mezcla. Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar el asfalto. Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado.</p>

07

CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS	CAUSAS
CARPETA DE MEZCLA - ASFALTICA EN EL LUGAR (Continuación)	<p>Contenido elevado de agua y/o de solventes en la mezcla, al momento de tender.</p> <p>Falta de uniformidad en la incorporación del asfalto en la mezcla.</p> <p>Baja temperatura del asfalto al aplicarlo al pétreo.</p> <p>Escaso espesor de la tapa.</p> <p>Baja compactación de la mezcla.</p> <p>Defectos de construcción en el tendido y/o de acabados.</p> <p>Baja resistencia de la mezcla.</p> <p>Mezcla asfáltica muy permeable, sin proteger con algún tratamiento de sellado.</p> <p>Rigidez relativamente alta de la carpeta.</p>
CARPETA DE MEZCLA EN CALIENTE (CONCRETO ASFALTICO)	<p>Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría.</p> <p>Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.</p> <p>Exceso de asfalto en la mezcla.</p> <p>Cantidad escasa de asfalto en la mezcla.</p> <p>Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado.</p> <p>Temperatura baja del asfalto y/o del material pétreo al elaborar la mezcla.</p> <p>Temperatura excesiva de calentamiento del cemento asfáltico y/o del material pétreo al elaborar la mezcla.</p> <p>Defectos de tendido y/o de acabado de la mezcla.</p> <p>Mezcla relativamente fría al tender y/o al compactar.</p> <p>Baja compactación de la mezcla.</p> <p>Espesor escaso de la capa.</p> <p>Baja estabilidad de la mezcla.</p> <p>Mezcla muy permeable (vacíos elevados), sin proteger con un tratamiento de sellado.</p> <p>Rigidez relativamente alta de la carpeta.</p>
RIEGO DE SELLO.	<p>Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría.</p> <p>Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.</p> <p>Exceso o escasez de material pétreo y/o de asfalto.</p> <p>Asfalto inadecuado o mala calidad del producto.</p> <p>Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de su aplicación</p> <p>Tránsito sobre el riego de asfalto, antes de cubrir con el pétreo.</p> <p>Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de cubrirlo con el material pétreo.</p> <p>Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora y/o al operador).</p> <p>Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a bajas velocidades.</p> <p>Defectos de construcción (distribución no uniforme del material pétreo, falta de rastreos, planchado o barrido del material, traslapes in totos de los riegos, etc.).</p>

· TABLA I - 1

CONDICIONES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO RIGIDO

Aeropuerto: \_\_\_\_\_

Elemento: \_\_\_\_\_

Observador: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

0: Ninguna 1: Menor 2: Moderada 3: Mayor 4: Severa	TIPO GRIETA	Longitudinal.																			
		Transversal.																			
		Escamosa o Costrosa.																			
		En Esquina.																			
		En Orilla																			
		Astillamiento o Desconchamiento.																			
		Desintegración del Concreto.																			
		Hundimientos Diferenciales																			
		Bombeo																			
				Losas que se botan																	
10 } 9 } 8 } 7 } 6 } 5 } 4 } 3 } 2 } 1 } 0 }	Muy Bien A	Pérdida del sello de la junta.																			
		Grietas sin Sellar.																			
	Bien B	Cortes en el Pavimento																			
		Parches																			
	Regular C	Reconstrucción Localizada.																			
		Rugosidad Superficial																			
	Pobre D	Drenaje Superficial.																			
		Subdrenaje.																			
	Muy Pobre E	Condiciones Generales																			
		Efectos de las turbinas en el Sello de las Juntas.																			
		Defectos en la Superficie																			
		Acumulación de Caucho.																			
		Trabajos Requeridos																			

Observaciones Drenaje: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



FIG 3.-CONDICION DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

DETERIORO	TIPO	SIMBOLO	EXTENSION	OBSERVACIONES
AGRIETAMIENTOS	<u>LONGITUDINALES EN LAS RODADAS</u>	A	%	ABERTURA
	<u>FORMA DE MAPA EN EL ANCHO DEL CARRIL</u>	B	%	< 3 mm —
	<u>PIEL DE COCODRILO EN RODADAS</u>	C	%	3-5 mm X
	<u>PIEL DE COCODRILO EN EL ANCHO DEL CARRIL</u>	D	%	> 5 mm XX
RODERAS	PROFUNDIDAD DE LA RODERA	E	mm	
BACHES	ESPORADICOS	F	✓	MALAS CONDICIONES X
	FRECUENTES	G	✓✓	
	MUY FRECUENTES	H	✓✓✓	
GRIETAS LONGITUDINALES FUERA DE LA RODADA	< 3 mm	J	%	
	3-5 mm	K	%	
	> 5 mm	L	%	
GRIETAS TRANSVERSALES	< 3 mm	M	NUM	
	3-5 mm	N	NUM	
	> 5 mm	P	NUM	
DESPRENDIMIENTOS EN CARPETA	LEVES	R	✓	
	MODERADOS	S	✓✓	
	INTENSOS	T	✓✓✓	
	CALAVERAS	U	✓✓✓✓	
ESTADO DEL RIEGO DE SELLO	BIEN	V	✓✓	
	REGULAR	W	✓✓✓	
	MAL	Y	✓✓✓✓	

h2

CARRETERA \_\_\_\_\_ TRAMO \_\_\_\_\_

SUBTRAMO \_\_\_\_\_ ANCHO CORONA \_\_\_\_\_ ANCHO CARPETA \_\_\_\_\_

PO DE PAVIMENTO \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

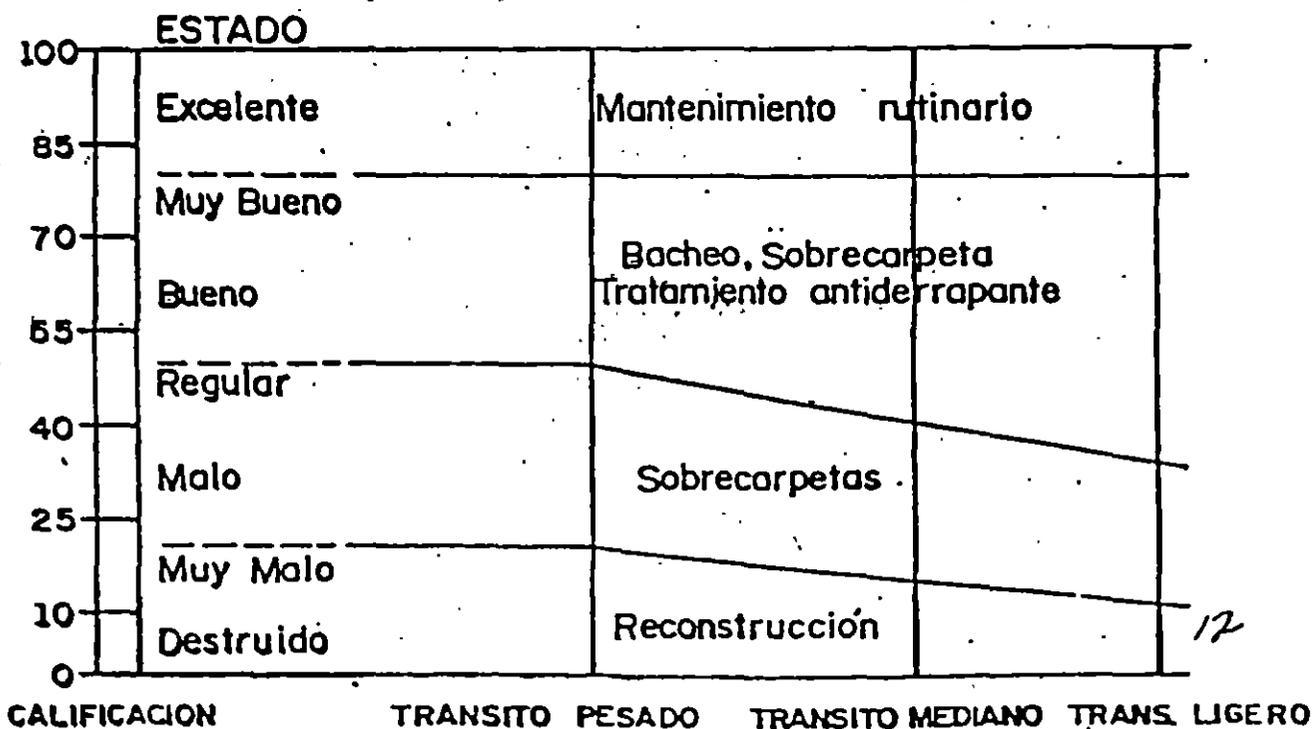
**DEFECTOS:**

**CALIFICACION**

Grietas Transversales _____	0-5	_____
Grietas Longitudinales _____	0-5	_____
Piel de cocodrillo _____	0-10	_____
Grietas de contracción _____	0-5	_____
Roderos _____	0-10	_____
Corrugaciones _____	0-5	_____
Desgranamiento _____	0-5	_____
Deformaciones plásticas _____	0-10	_____
Baches _____	0-10	_____
Exceso de asfalto _____	0-10	_____
Agregados pulidos _____	0-5	_____
Deficiencias de drenaje _____	0-10	_____
Calidad de Rodamiento (0 es excelente y 10 es muy malo) _____	0-10	_____
Suma de Defectos		_____

Calificación de Condición = 100 - Suma de Defectos  
= 100 - \_\_\_\_\_

Calificación de Condición del Pavimento = \_\_\_\_\_



E DO : CAMPECHE

R. A : 5 MEXICO - PTO. JUAREZ

CARRETERA : 186-261

TRAMO : LIM. TAB/CAMP - CHAMPOTON

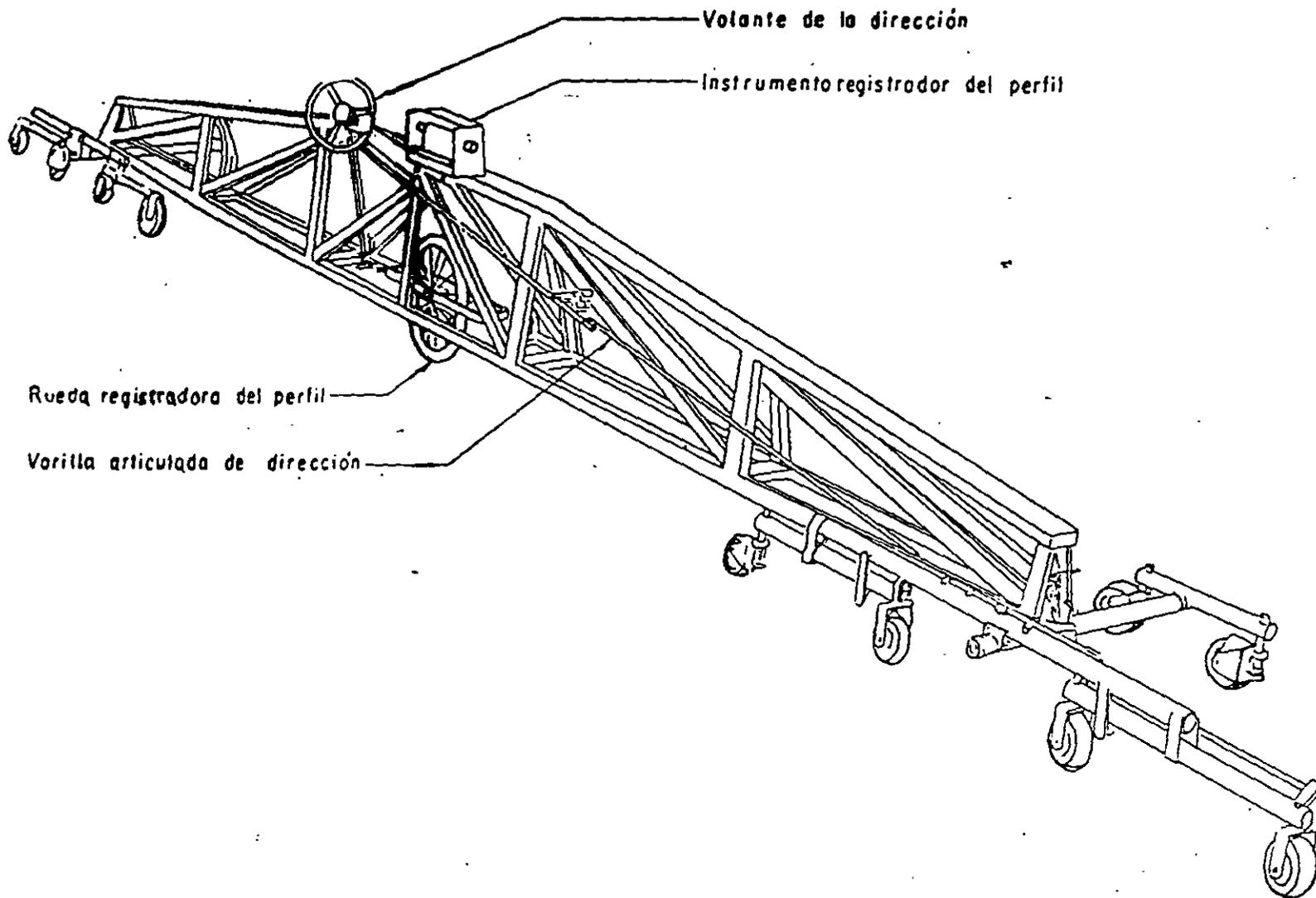
KM. \_\_\_\_\_ ORIGEN : \_\_\_\_\_

CONCEPTO	KILOMETRAJE															
	150+000	154+500	LIM. TAB./CAMP.				298+000	300+000	ESCARCEGA		350+000	355+000				
ANTIGUEDAD	MENOS DE 10 AÑOS															
T D P A	1500 - 5000															
VOLUMEN DE TRANSITO PESADO	500 - 1500															
CALIFICACION	2.5-3.5		3.5-5.0		2.5-3.5		3.5-5.0		2.5-3.5		0-2.5		3.5-5.0		0-2.5	
NIVEL SERVICIO																
1983 SELLO																
1983 CARPETA																
1984 SELLO																
1984 CARPETA																
1985 SELLO																
1985 CARPETA																
1986 SELLO																
1986 CARPETA																
1987 SELLO																
1987 CARPETA																

97

CARRETERA N° _____ NOMBRE _____										OBSERVADOR _____														
ORIGEN _____					FECHA _____																			
ANTECEDENTES	CALIFICACION INICIAL																							
	SUPERFICIE DE RODAMIENTO	SELLO																						
		CARPETA																						
	BASE N.																							
AÑOS DE SERVICIO																								
KILOMETRAJE																								
SECCION N°																								
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO	EXCELENTE	5																						
	MUY BUENO	4																						
	BUENO	3																						
	REGULAR	2																						
	MALO	1																						
	MUY MALO	0																						
	INTRANSITABLE		0																					
CALIFICACION ACTUAL																								
PAVIMENTO ACEPTABLE		SI																						
		NO																						
		DUDOSO																						
DESCRIPCION DAÑOS	N= Ninguno, L=Ligero, F=Fuerte		N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	
	DEFORMACION	Longitudinal																						
		Transversal																						
	GRIETAS																							
	BACHES	Abiertos																						
		Tapados																						
	ZONAS LLORADAS																							
DESPRENDIMIENTO SELLO																								
NOTA N°																								

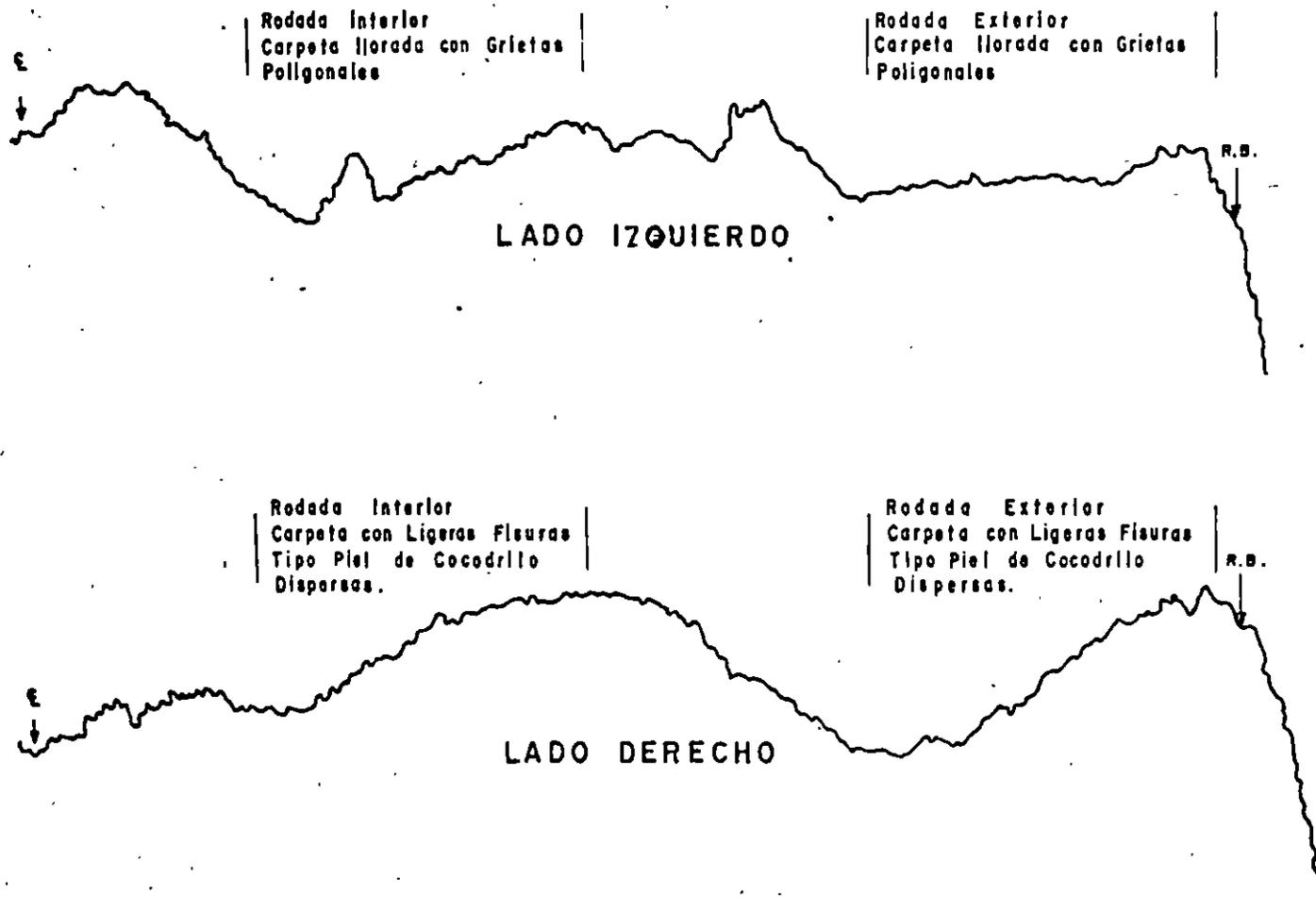
22



PERFILOGRAFO LONGITUDINAL TIPO HVEEM (400)

FIGURA Nº 19

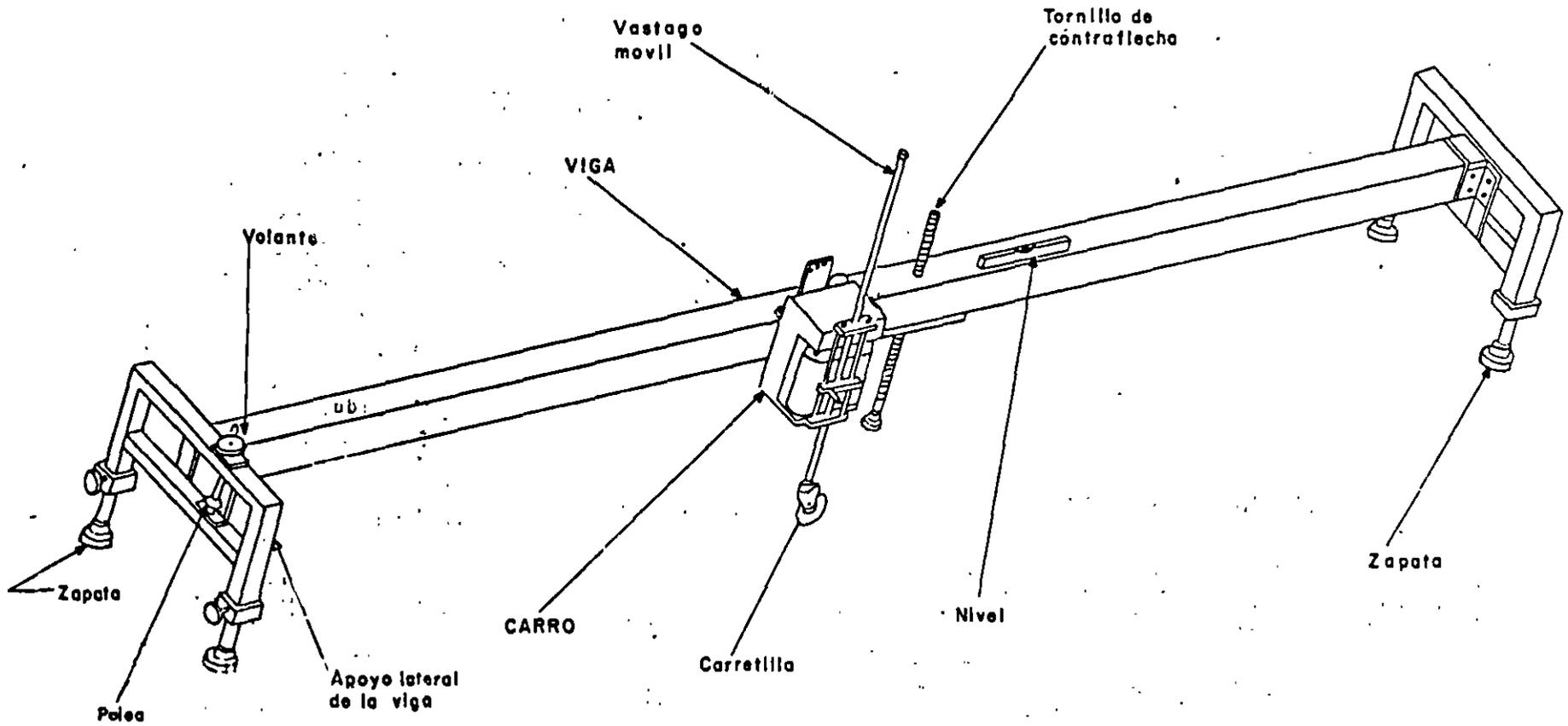
# PERFILES TRANSVERSALES



HORIZONTAL 1:20  
ESCALA VERTICAL : NATURAL

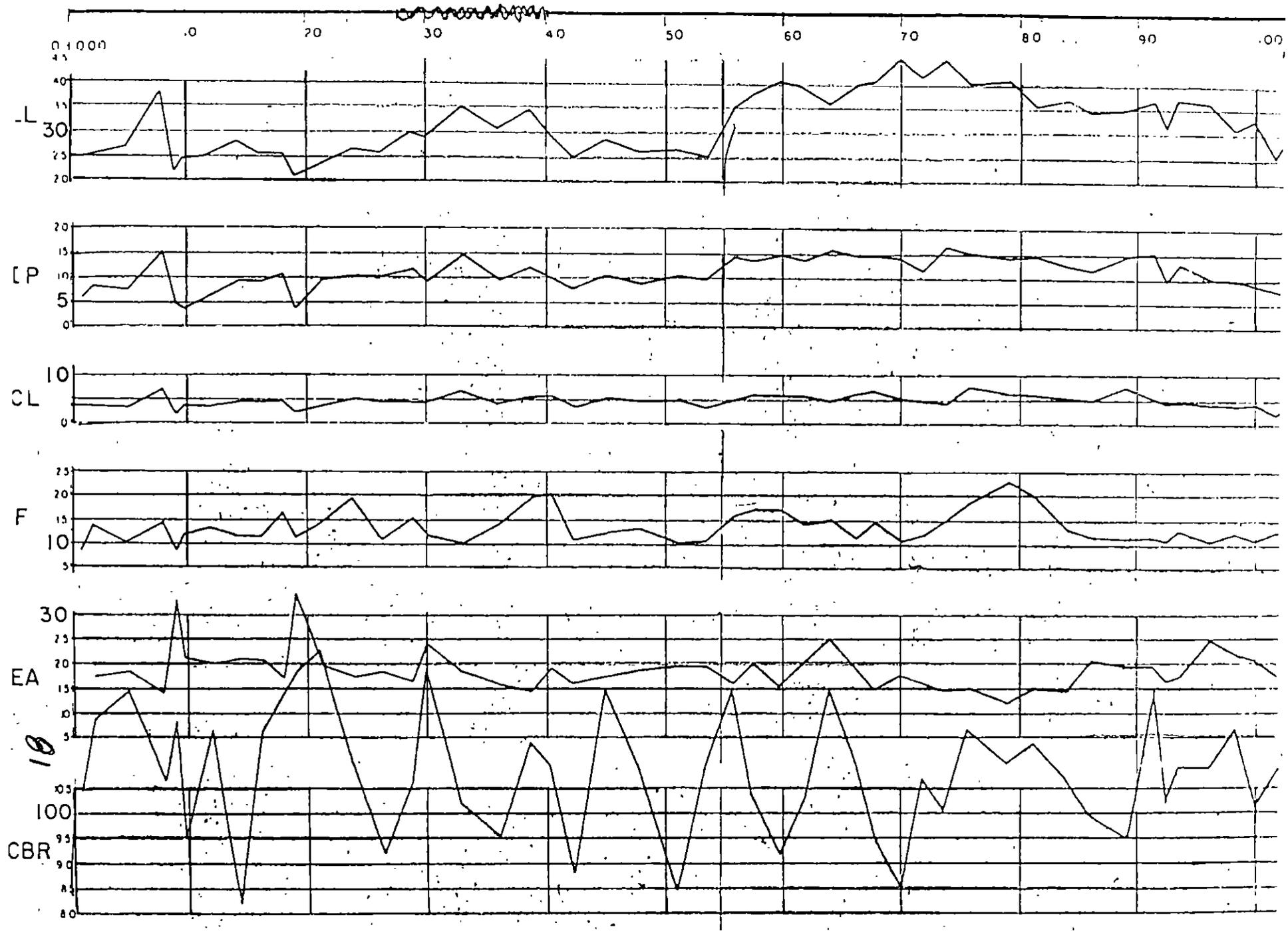
62

# PERFILOGRAFO TRANSVERSAL DE LABORATORIO CENTRAL DE PARIS <sup>(212)</sup>



28

FIGURA Nº 21



CUADRO 4

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS	
DEFECTOS VARIOS.	ZONAS CON ASFALTO DESCUBIERTO EN CARPETAS DE - RIEGOS DE SELLO.	Desprendimientos del material pétreo. Defectos de construcción (cantidad insuficiente de asfalto - regado, aplicación incorrecta o extemporánea de los pétreos, fallas de la petrolizada, etc.)	Dar nuevo tratamiento, que puede ser manual si el área es pequeña o difícil de corregir con máquina, consistente en nueva aplicación de asfalto y pétreos, a efecto de restaurar las condiciones originales o propuestas.

82

C U A D R O 4

EJEMPLOS SOBRE TIPOS DE FALLAS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES, SUS POSIBLES CAUSAS Y CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA DESCRIPCION	DE LA FALLA SUS POSIBLES CAUSAS	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
DISTORSIONES	BACHES (Deformaciones locales en que se ha destruido parcial o totalmente el pavimento. Se asociaban con agrietamientos y con altos contenidos de agua en los materiales)	<p>Baja compactación de las capas inferiores del pavimento.</p> <p>Penetración del agua a la parte inferior del pavimento por acumulaciones de la misma en zonas con defecto de acabado, o deformadas.</p> <p>Contaminaciones de la sub-base y/o base con el material de las terracerías.</p> <p>Pavimento sub-diseñado para las cargas que por el tránsito.</p>	<p>Cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas. Las paredes de la caja deben hacerse verticales y 2 de sus lados serán normales a la dirección del tránsito. La caja debe abarcar cuando menos 30 cm dentro de la zona aparentemente sana, adyacente al área fallada. Se procurará, mediante una regla, que el nivel superior del relleno quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal.</p> <p>Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias de drenaje.</p>
	ASENTAMIENTOS (Descensos en el nivel original de la superficie)	<p>Compactación o reacomodo local de una o varias capas del pavimento, o de las terracerías, que produce un descenso pequeño y más o menos uniforme de la superficie.</p>	<p>Renivelar con mezcla asfáltica, limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga.</p>

28

CUADRO 4

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS	
DISTORSIONES	ASENTAMIENTOS (Continuación)	Movimientos o deslizamientos locales de los terraplenes, -- que dan lugar a desniveles relativamente fuertes de la superficie del pavimento.	Reparar debidamente la zona de asentamiento, re-construyendo por capas la sección original. Es necesario revisar y corregir deficiencias en el anclaje de los terraplenes (falta de escalones de li- ga) y/o en el drenaje del área afectada.
	ONDULACIONES (Levantamientos de la superficie en forma de ondas más o menos pronunciadas, transversalmente al sentido de la circulación)	Movimientos plásticos de la carpeta en lugares donde se presentan fuertes esfuerzos de arranque y frenaje, como es el caso de zonas cercanas al cruce de carreteras con vías de ferrocarril.	Escarificar y eliminar la carpeta. Recompatar la base. Construir una nueva carpeta de espesor y resistencia adecuados.
		Carpeta con baja estabilidad, - por exceso de asfalto o de solventes en la mezcla, exceso de finos en el material pétreo, o por ser éste de naturaleza redondeada; también puede deberse a la baja estabilidad de la mezcla al empleo de un asfalto demasiado blando.	Levantar la carpeta y corregir la mezcla, si esto es posible, para aprovecharla nuevamente. La corrección puede consistir en orearla para hacer que pierda solventes, para agregarle material pétreo adicional de mejores características, etc. Si no es posible aprovechar la carpeta, será necesario eliminarla y construir una nueva de la calidad y espesor adecuados.

84

CUADRO 4

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA DESCRIPCION SUS POSIBLES CAUSAS		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
DISTORSIONES	DESPLAZAMIENTOS O CORRIENTES DE LA CARPETA. (principalmente en las orillas).	Baja estabilidad de la mezcla. Tránsito pesado antes de compactar debidamente la mezcla. Exceso en el asfalto del riego de liga.	Eliminar la carpeta desplazada, cajeando rectangularmente la zona afectada. Reponer la carpeta en forma adecuada y sellar la nueva capa.
	SURCOS O RODADAS MARCADAS.	Efecto de tránsito pesado en zonas subdiseñadas o deficientemente construídas del pavimento. Paso del tránsito de vehículos o del equipo de construcción sobre la carpeta recién tendida o sin la debida compactación.	Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas; previamente, delimitar el área, limpiarla de materias extrañas y dar un riego de liga.
	DEPRESIONES EN ZANJAS NO BIEN RELLENADAS.	Falta de acomodo adecuado o de compactación en los materiales del relleno o insuficiencia en el volumen de material.	Renivelar adecuadamente con mezcla asfáltica, previa limpieza de la superficie y aplicación de asfalto de liga.
AGRIETAMIENTOS.	GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS.	Cambios volumétricos de los materiales de terracerías con altos contenidos de arcilla, por efectos de humedecimiento y secado. Ampliación del camino o de la pista, no bien ligadas a la sección antigua. Ligeros movimientos o asentamientos de los terraplenes por su propio peso o de temblores.	Si las grietas son muy finas (de aberturas muy pequeñas), es bastante difícil rellenarlas y a veces sólo hay que limitarse a tenerlas en observación para ver la forma como progresan. Cuando es factible, se sellan con emulsión asfáltica o con asfaltos rebajados. Si las grietas tienen una abertura del orden de 30 mm. o más, se pueden calafatear con un mortero asfáltico o con una mezcla asfáltica con rebajado y arena o bien con un cemento asfáltico. Existen también en -

85

CUADRO 4

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS	
AGRIETAMIENTOS	GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS. (Continuación)		<p>el mercado productos especiales a base de asfalto, para el rellenado de grietas.</p> <p>La zona de las grietas por sellar debe barrerse con una escoba manual y de ser posible, conviene utilizar aire comprimido para limpiar mejor las aberturas por donde entrará el material sellante.</p> <p>El mortero asfáltico o la mezcla de asfalto rebajado y arena, se aplicarán manualmente y deben tener la fluidez adecuada para penetrar en las grietas. Puede ser necesario que sobre la superficie del sellante recién aplicado se riegue arena seca, para que el tránsito no lo levante.</p>
	GRIETAS LONGITUDINALES EN EL CENTRO.	<p>Defectos de tendido de la mezcla asfáltica, principalmente.</p> <p>Por reflexión de grietas en la capa subyacente, tratándose de una sobrecarpeta.</p>	Calafatear debidamente las grietas, de acuerdo con lo descrito en el caso anterior.
	GRIETAS TRANSVERSALES.	<p>Reflexión de defectos existentes en la capa subyacente, que en ocasiones es un pavimento rígido.</p> <p>Contracciones de la sub-base o base estabilizadas con cemento Portland.</p>	<p>Proceder en forma similar a los descritos en el caso del arreglo de grietas longitudinales.</p> <p>Puede ser conveniente aplicar un riego de sello abarcando toda el área agrietada.</p>

CUADRO 4

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO	IDENTIFICACION DE LA FALLA DESCRIPCION                      SUS PROBABLES CAUSAS		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
AGRIETAMIENTOS	GRIETAS EN FORMA DE MAPA O DE PIEL DE COCODRILO.	Deflexiones excesivas o deformaciones en la carpeta por acción del tránsito pesado. Carpeta rígida. Capa subrasante, sub-base y/o base inestables, generalmente por altos contenidos de agua. Espesor insuficiente del pavimento, para las cargas que soporta. Etc.	Si el agrietamiento no ha originado movimientos en los fragmentos de carpeta y el área no está muy deformada, podría procederse a un calafateo o tratamiento de las grietas, en la forma descrita anteriormente para el caso de las grietas longitudinales, pero las más de las veces esto constituye sólo un arreglo temporal, incluso cuando se aplica mortero asfáltico o mezcla de rebajado y arena a toda el área agrietada. Por lo general, es necesario cajear, eliminar la carpeta agrietada y los materiales de mala calidad o con exceso de humedad de las capas inferiores y reponer los materiales extraídos con otros adecuadamente colocados, en forma similar a lo descrito en el caso del arreglo de baches. Si este tipo de fallas tiende a abarcar áreas más o menos grandes, es necesario analizar el diseño y la construcción del pavimento y el drenaje.
	GRIETAS POR CORRIENTO DE LA CARPETA	Baja estabilidad de la mezcla a los esfuerzos laterales originados por el tránsito. Exceso de asfalto en el riego de liga. Tránsito demasiado pronto sobre la carpeta recién tendida.	Si el agrietamiento se ha detenido y no se presentan desplazamientos notables o corrugaciones en la carpeta, puede ser suficiente con calafatear o tratar las grietas en la forma descrita para casos anteriores. Si la carpeta, además de agrietada, está desplazada, corrida y/o deformada, tendrá que levantarse y reponerse adecuadamente.

CUADRO 4

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS	
AGRIETAMIENTOS	GRIETAS PARABOLICAS.	Corrimientos de la carpeta en zonas de desaceleración. Corrimientos de la carpeta por escaso o nulo asfalto de liga.	Proceder en forma similar al caso anterior.
DESINTEGRACIONES.	DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL PÉTREO DE LA CARPETA O DEL RIEGO DE SELLO.	Escasa cantidad de asfalto en la mezcla o en el riego de sello. Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. Falta de compactación de la mezcla o de planchado de los materiales pétreos, según el caso.	Previo barrido de la superficie, aplicar un riego ligero, bien distribuido y correctamente dosificado, de asfalto rebajado o de emulsión asfáltica, para evitar que el material se continúe desprendiendo. Si el desprendimiento es atribuible a la poca afinidad del material pétreo con el asfalto, se procurará que el material asfáltico que se emplee satisfaga esta propiedad, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo adecuado. Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede requerirse la aplicación de un nuevo riego de sello o de una sobrecarpeta y riego de sello, de características adecuadas.
	DESPRENDIMIENTOS DE LA PELÍCULA DE ASFALTO DEL MATERIAL PÉTREO (MEZCLA ASFÁLTICA)	Escasa o nula afinidad del material pétreo con el asfalto utilizado en la mezcla.	Dar un riego, en proporción adecuada, con un producto asfáltico, que tenga buena afinidad con el material pétreo, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo. Puede ser necesaria la aplicación de un riego de sello o de un mortero asfáltico, según el caso.

CUADRO 4

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FA- LLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS	
DESINTEGRACIONES	ROMPIMIENTO DE - LAS PARTICULAS -- DEL MATERIAL PE-- TREGO QUE PROPI-- GIAN SU DESPREN- DIMIENTO.	Material suave, que no resis- te la acción del tránsito.	Proceder como el caso citado anteriormente de "Desprendimientos del material pétreo de la - carpeta o del riego de sello".
	DESPRENDIMIENTO DE LA CARPETA, -- COMO CAPA.	Esfuerzos elevados en la inter- fase entre la carpeta y la ba- se. Riego de liga insuficiente o - anclaje deficiente de la car- peta con la base.	Cajear rectangularmente los límites de la zona en que se ha desprendido la carpeta y reponer ésta con una mezcla asfáltica adecuada, pre- via limpieza de la superficie y aplicación de - asfalto de liga. Puede ser necesario nivelar, reponiendo la - carpeta en las zonas en que se ha levantado - y construir una sobrecarpeta.
DEFECTOS VARIOS	SUPERFICIE LISA O DERRAPANTE.	Material es que se pulen fácil- mente. Afloramientos de asfalto.	Dar un nuevo riego de sello con materiales -- adecuados. Si la carpeta no presenta inestabilidad puede ser suficiente con calentar superficialmente - con quemadores y regar una cantidad adecuada con material pétreo de sello, fijándolo inme- diatamente mediante planchado. Puede dar resultado también en vez de calen- tar superficialmente, agregar o regar el pétreo caliente y fijarlo mediante planchado. Si la carpeta es inestable, puede ser neces- ario levantarla para retrabajarla y mejorarla y - después sellarla o de lo contrario, desecharla y reponerla por una nueva, a la que se aplica- rá un riego de sello.

## ANALISIS

- ESTRUCTURAL
- DETERIOROS
- VIDA REMANENTE (MODELO DE COMPORTAMIENTO)

## ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

- RIEGOS
- SELLADO DE GRIETAS
- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES  
(SLURRY SEAL)
- RENIVELACIONES
- SOBRECARPETAS
- GEOTEXILES + SOBRECARPETAS
- FRESADO + SOBRECARPETA
- RECICLADO
- RECUPERACION + SOBRECARPETA
- BASE HIDRAULICA + CARPETA
- RECONSTRUCCION
- WHITE TOPPING
- INLET
- ESPECIALIDADES  
(CARPETA POROSA, SILENCIOSA  
GLASS ASPHALT)

## EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

LA EVALUACION ESTRUCTURAL ES NECESARIA PARA JUZGAR LA CAPACIDAD PORTANTE DEL PAVIMENTO Y SU VIDA PREVISIBLE PARA EL TRANSITO ESPERADO. UN PAVIMENTO PUEDE REQUERIR DE UNA CAPA DELGADA PARA MEJORAR SU SERVICIABILIDAD, O PUEDE ADEMAS REQUERIR UN REFUERZO POTENTE O EN DEFINITVA UNA RECONSTRUCCION. LA EVALUACION ESTRUCTURAL PROPORCIONA RESPUESTAS

### M E T O D O S

DESTRUCTIVOS :

- 1.- MEDICIONES DE LA RESPUESTA A UNA CARGA ESTÁTICA O A UNA SOLA APLICACION DE CARGA LENTA
- 2.- RESPUESTA A UNA CARGA REPETIDA O DINAMICA
- 3.- RESPUESTA A UNA FUENTE CONTROLADA DE RADIACION

## METODOS DISPONIBLES PARA DETERMINAR LA RESPUESTA ESTRUCTURAL

- TEORIAS MULTICAPA (BURMISTER, ODEMARK Y OTROS)
- ELEMENTO FINITO.

## COMPARACION ENTRE PREDICCION Y MEDICIONES

- LAS DISCREPANCIAS NO SIEMPRE SE DEBEN A FALLAS EN LA TEORIA SINO A LAS SERIAS DIFICULTADES EN LA MEDICION DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES
- LA COMPARACION ENTRE AMBAS (TEORIA Y MEDICIONES) ESTA MUY INFLUIDA POR LA COMPLEJIDAD PARA MEDIR LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

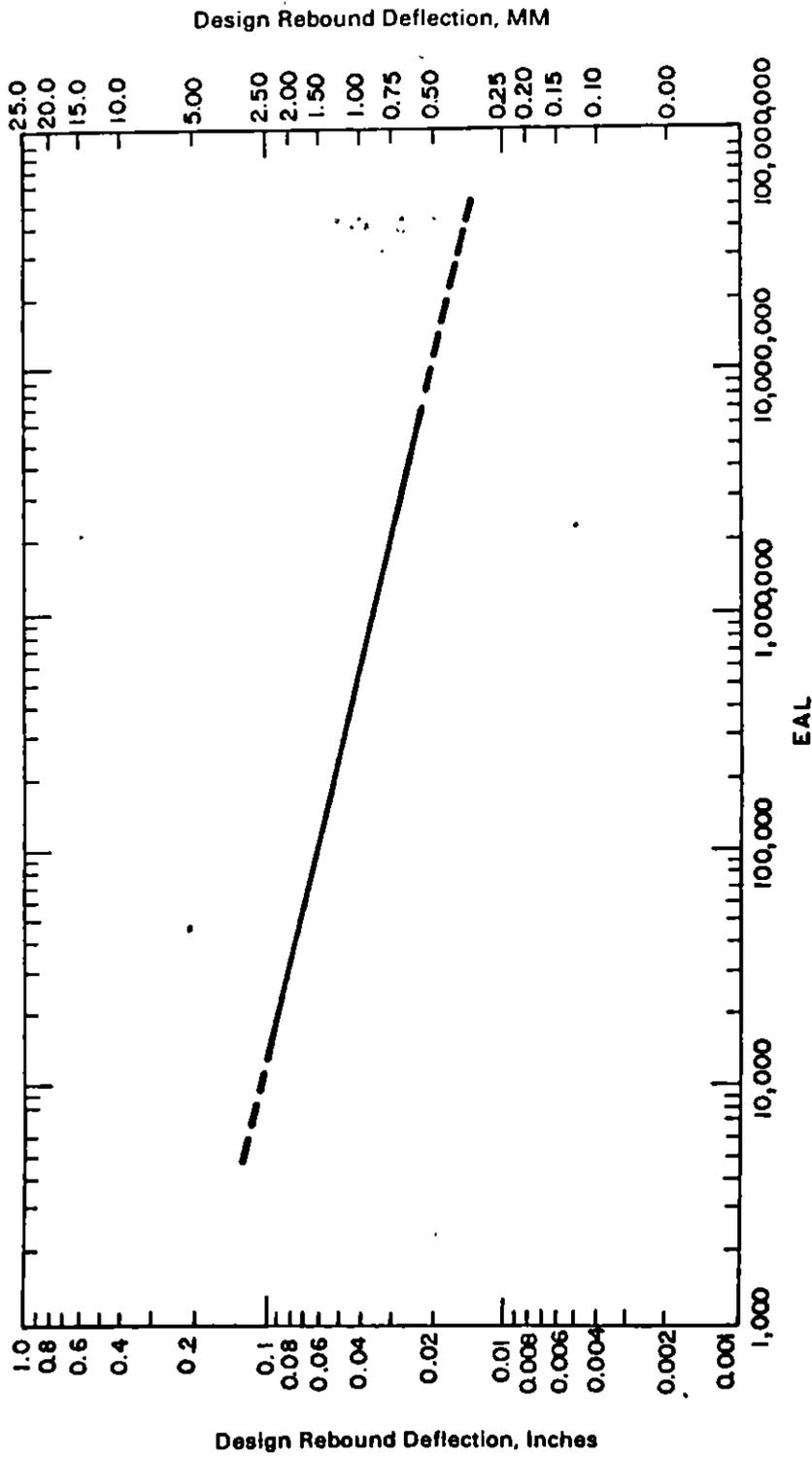


Figure 3.6. Design Rebound Deflection Chart

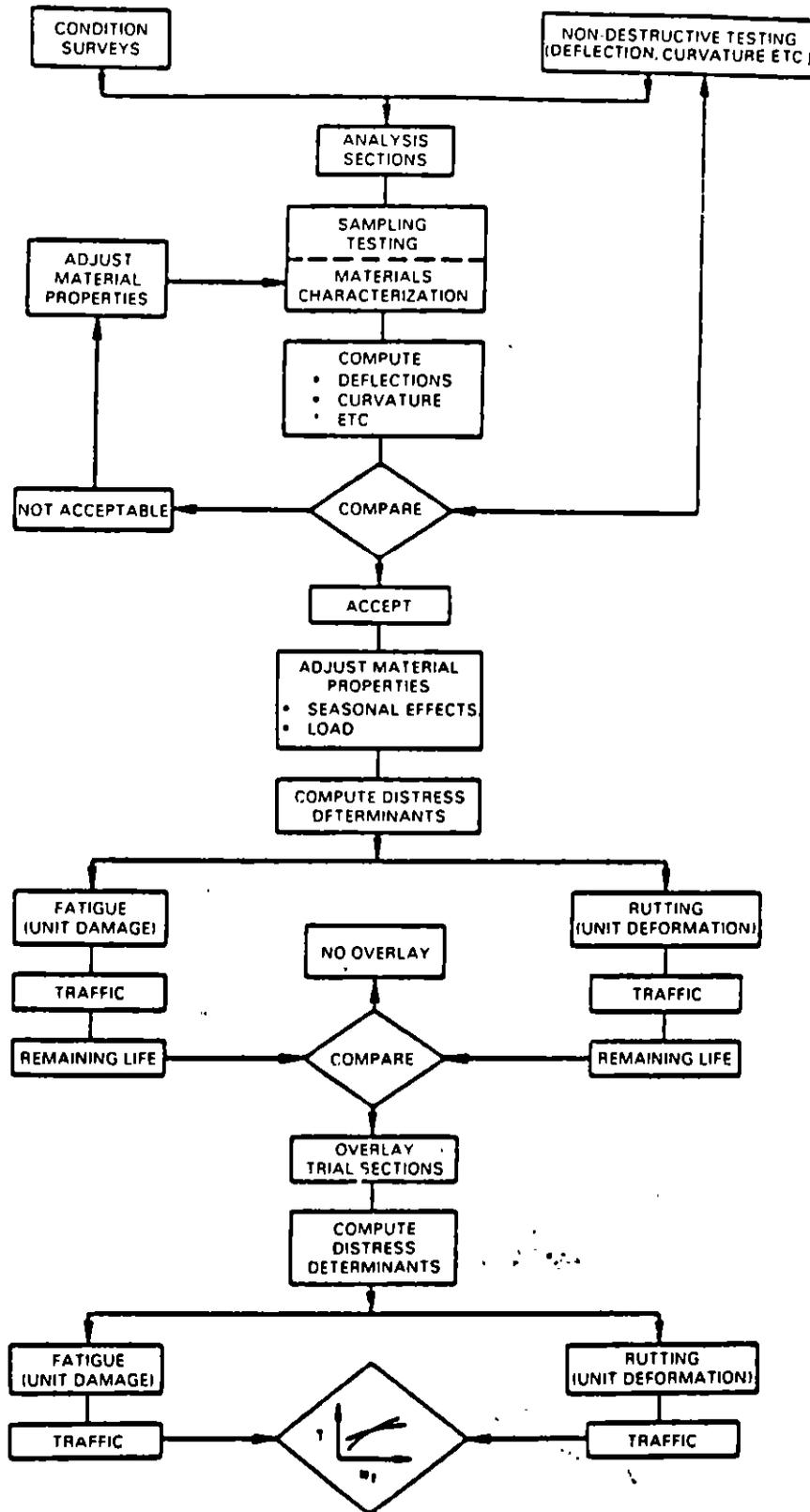


Figure 1.2. Overlay Design Procedure Using Elastic Layered Theory to Represent Pavement Response

## REVISED CHAPTER 5 AASHTO DESIGN GUIDE OVERLAY DESIGN

## SW-1 AC OVERLAY OF CONVENTIONAL AC PAVEMENT (PROJ. 6044)

## EXISTING PAVEMENT DESIGN

AC SURFACE	8.00 inches	SUBGRADE ?
GRAN BASE	3.00	
GRAN SUBBASE	10.40	
TOTAL THICKNESS	21.40	

Future design lane ESALs = 11,000,000 (FLEXIBLE ESALs)

DETERMINE  $SN_f$ 

Vary trial  $SN_f$  until computed ESALs equal future design ESALs.

$SN_f$	$M_R$ , psi	R	Z	$S_o$	$P_1$	$P_2$	ESAL
4.57	5,622	50	0	0.45	4.2	2.5	11,060,851
5.20	5,622	80	0.841	0.45	4.2	2.5	11,306,234
5.53	5,622	90	1.282	0.45	4.2	2.5	11,165,565
5.85	5,622	95	1.645	0.45	4.2	2.5	11,624,755
6.40	5,622	99	2.327	0.45	4.2	2.5	11,358,808
TRIAL			INPUT	INPUT	INPUT	INPUT	

DETERMINE  $SN_{eff}$  BY NDT METHOD

Vary trial  $E_p/M_R$  until computed  $D_0$  equals actual value.

	ACTUAL			SUBGRADE		TRIAL COMPUTED			
STATION	LOAD, lbs	$D_0$ , mils	$D_r$ , mils	$M_R$ , psi	C FACTOR	$E_p/M_R$	$D_0$ , mils	$E_p$ , psi	$SN_{eff}$
100	8,222	7.65	3.25	16,866	3	10.57	7.65	178,270	5.42

$r = 36$  inches

Check  $r > 0.7 ae = 33.13$  inches

DETERMINE  $SN_{eff}$  BY CONDITION SURVEY METHOD

LAYER	STR COEF	DRAIN m	$SN_{eff}$
AC SURFACE	0.35	1.00	2.80
BASE	0.14	1.00	0.42
SUBBASE	0.11	1.00	1.14

$SN_{eff} = 4.36$

DETERMINE  $SN_{eff}$  BY REMAINING LIFE METHOD

Past design lane ESALs = ??? (FLEXIBLE ESALs)

LAYER	THICK, in	NEW ST CF	$SN_o$						
AC SURFACE	8.00	0.44	3.52						
BASE	3.00	0.14	0.42						
SUBBASE	10.40	0.00	0						
TOTAL	21.40		3.94						
$SN_o$	$M_R$ , psi	Z	$S_o$	$P_1$	$P_2$	$N_{1.5}$	$R_L$ , %	CF	$SN_{eff}$
3.94	5,622	0	0	4.2	1.5	8,375,477			
		INPUT	INPUT	INPUT	INPUT				

## DETERMINE OVERLAY THICKNESS

AC OL structural coefficient = 0.44

DESIGN RELIABILITY	NDT METHOD, in	CONDITION METHOD, in	REM LIFE METHOD, in
50	0.00	0.47	
80	0.00	1.90	
90	0.25	2.65	
95	0.98	3.38	
99	2.23	4.63	

===== WHITETOPPING =====

Pavement Depth	=	11.21	inches
Design E 18's	=	40,811,300	
Reliability	=	80.00	percent
Overall Deviation	=	0.30	
Modulus of Rupture	=	660	psi
Modulus of Elasticity	=	4,455,000	psi
Load Transfer, J	=	4.30	
Mod. of Subgrade Reaction	=	896	psi/in
Drainage Coefficient	=	1.15	
Initial Serviceability	=	4.50	
Terminal Serviceability	=	2.25	

=====Solve For=====  
Whitetopping Thickness                      11.21

For k determination:

- Resilient Mod. Subgrade	=	0	psi
- Resilient Mod. Base	=	0	psi
- Base Thickness	=	.0	inches
- Depth to Rigid Foundation	=	.0	> 10 feet
- Loss of Support Value	=	0	

===== Existing Flexible Pavement Information =====

Layer Material	Existing Layer Thickness (inches) ==== t =====	Existing Drainage Coefficient ==== m =====	Existing Layer Coefficient ==== a =====	a*Cd*t
AC Surface	8	.95	.28	0.00
Stabilized Base	0	0	0	0.00
Stabilized Base	0	0	0	0.00
Granular Base	0	0	0	0.00
Granular Subbase	4.8	.8	.1	0.00
Granular Subbase	0	0	0	0.00

Total Thickness                      Effective SN (Condition Survey):    2.51

Existing Subgrade Soil Resilient Modulus:                      11,117 psi

Effective Modulus, Ep,  
of all pavement layers above the subgrade:                      12513  
psi

Effective SN (NDT):                      0.00

===== AC OVERLAY OF AC PAVEMENT =====

Structural Number for Future Traffic

Effective Structural Number

Future Structural Number 4.26  
 Future E 18's 24,884,040  
 Overlay Reliability 80.00  
 Overall Deviation 0.40

Effective SN (NDT) 0.00  
 or  
 Effective SN (Condition Survey) 2.51  
 -----  
 Effective SN for Analysis 0.35

Existing Soil  
 Resilient Modulus, psi 11,117  
 Initial Serviceability 4.50  
 Terminal Serviceability 2.25

AC Overlay  
 Layer Coefficient 4.99

===== AC OVERLAY THICKNESS  
 4.99 inches  
 =====

----- Solve For -----  
Future Structural Number 4.26

===== Existing Flexible Pavement Information =====

Layer Material	Existing Layer Thickness (inches) ==== t =====	Existing Drainage Coefficient ==== m' =====	Existing Layer Coefficient ==== a =====	a*Cd*t
AC Surface	8	.95	.28	0.00
Stabilized Base	0	0	0	0.00
Stabilized Base	0	0	0	0.00
Granular Base	0	0	0	0.00
Granular Subbase	4.8	.8	.1	0.00
Granular Subbase	0	0	0	0.00
Total Thickness				Effective SN (Condition Survey): 2.51

Existing Subgrade Soil Resilient Modulus: 11,117 psi

Effective Modulus, Ep,  
 of all pavement layers above the subgrade: 12513 psi

Effective SN (NDT): 0.00

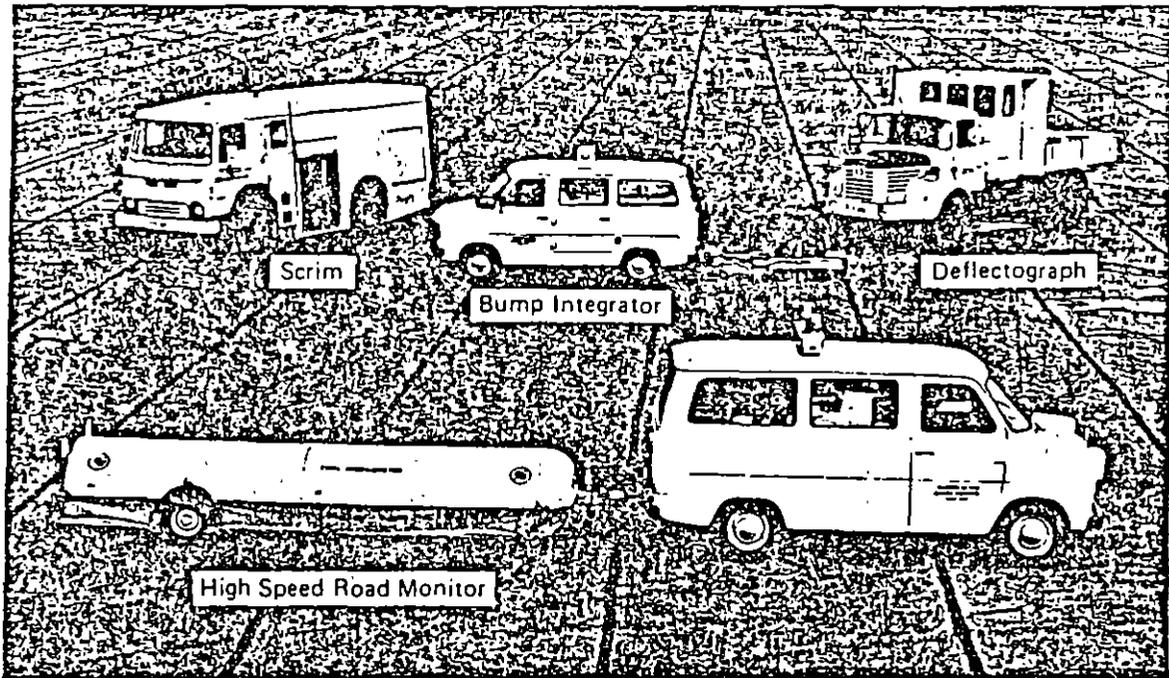


Fig. 3 Road condition monitoring equipment

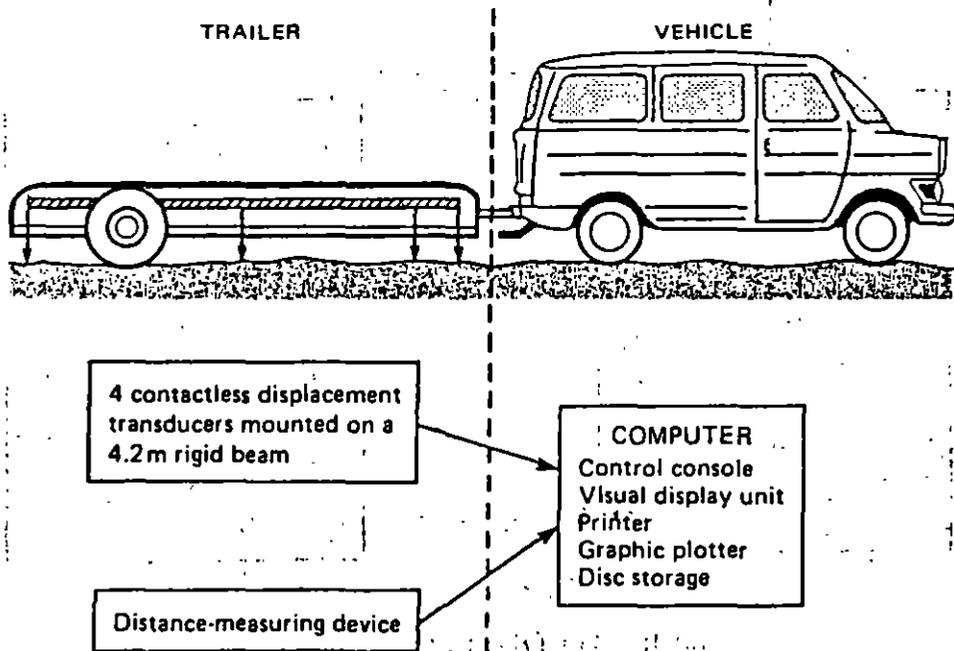
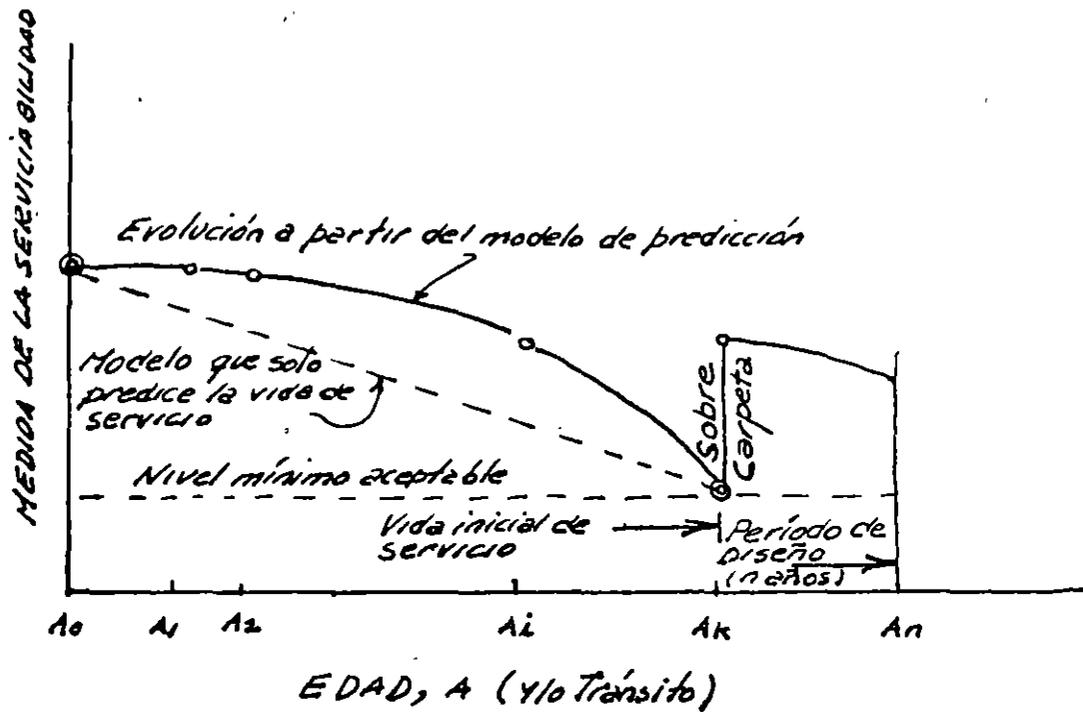


Fig. 4 The High Speed Road Monitor

# MODELOS DE PREDICCIÓN DE COMPORTAMIENTO



## ANALISIS DE ALTERNATIVAS

- PERIODO DE ANALISIS
- VIDA UTIL
- CURVAS DE DEGRADACION
- COSTOS DEL ORGANISMO, DEL USUARIO
- VALOR DE RESCATE, ALTERNATIVA BASE
- ANALISIS BENEFICIO/COSTO
- IMPACTO DE LAS RESTRICCIONES
- LAPSO ENTRE REPARACIONES
- ESPESOR MAXIMO
- TECHO FINANCIERO
- DISPONIBILIDAD DE MATERIALES
- DISPONIBILIDAD DE EQUIPO
- EXPERIENCIA

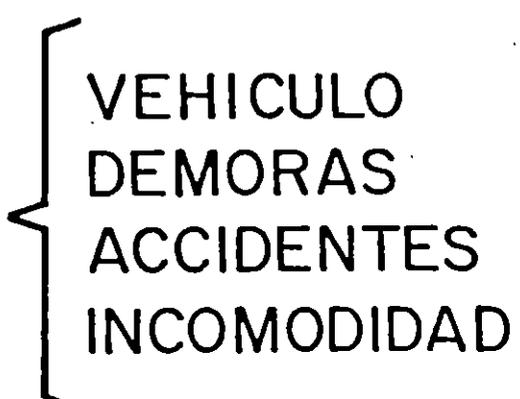
## OPTIMIZACION Y JERARQUIZACION

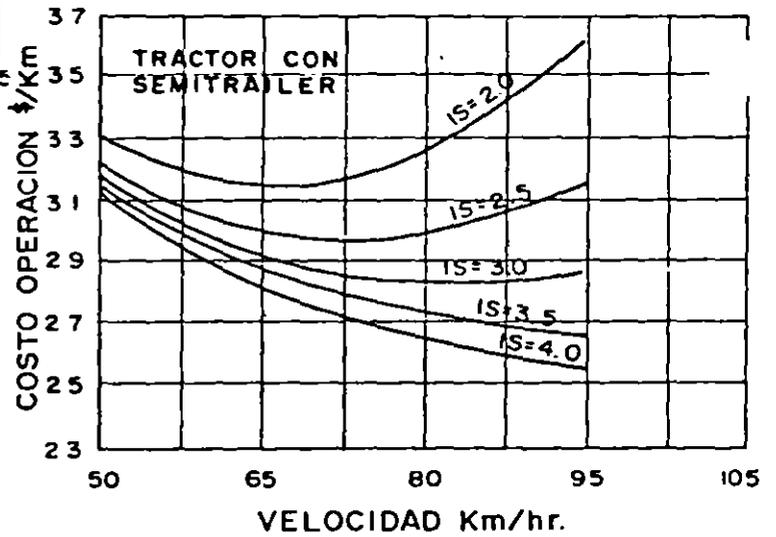
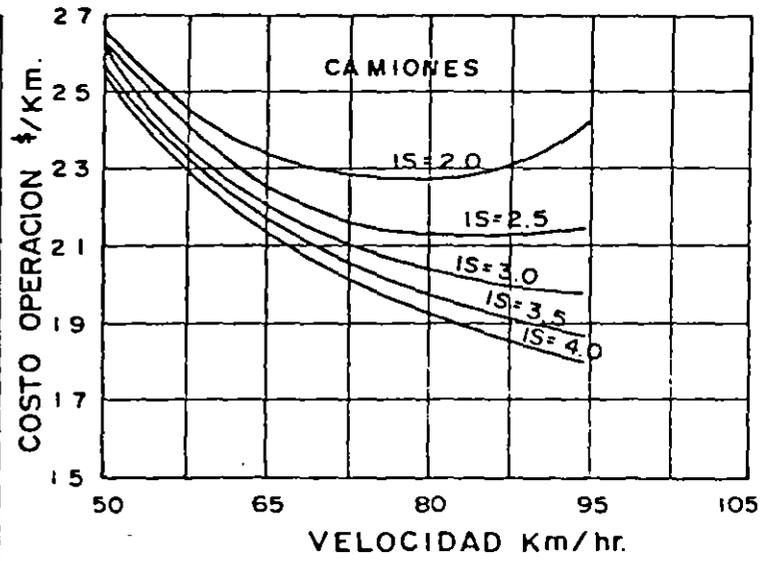
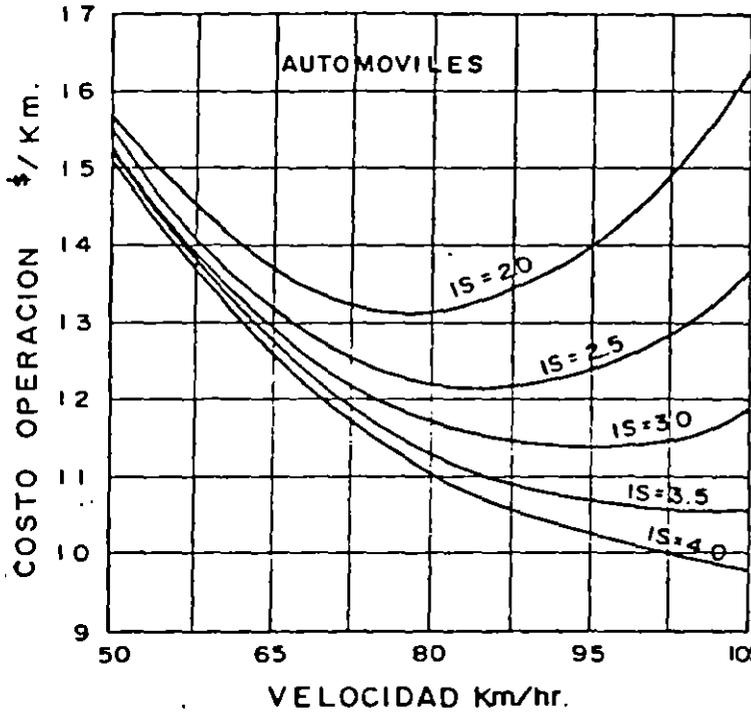
- ASPECTOS SOCIALES
- ASPECTOS ESTRATEGICOS
- VOLUMEN DE TRANSITO
- VALOR DE LA CARGA TRANSPORTADA

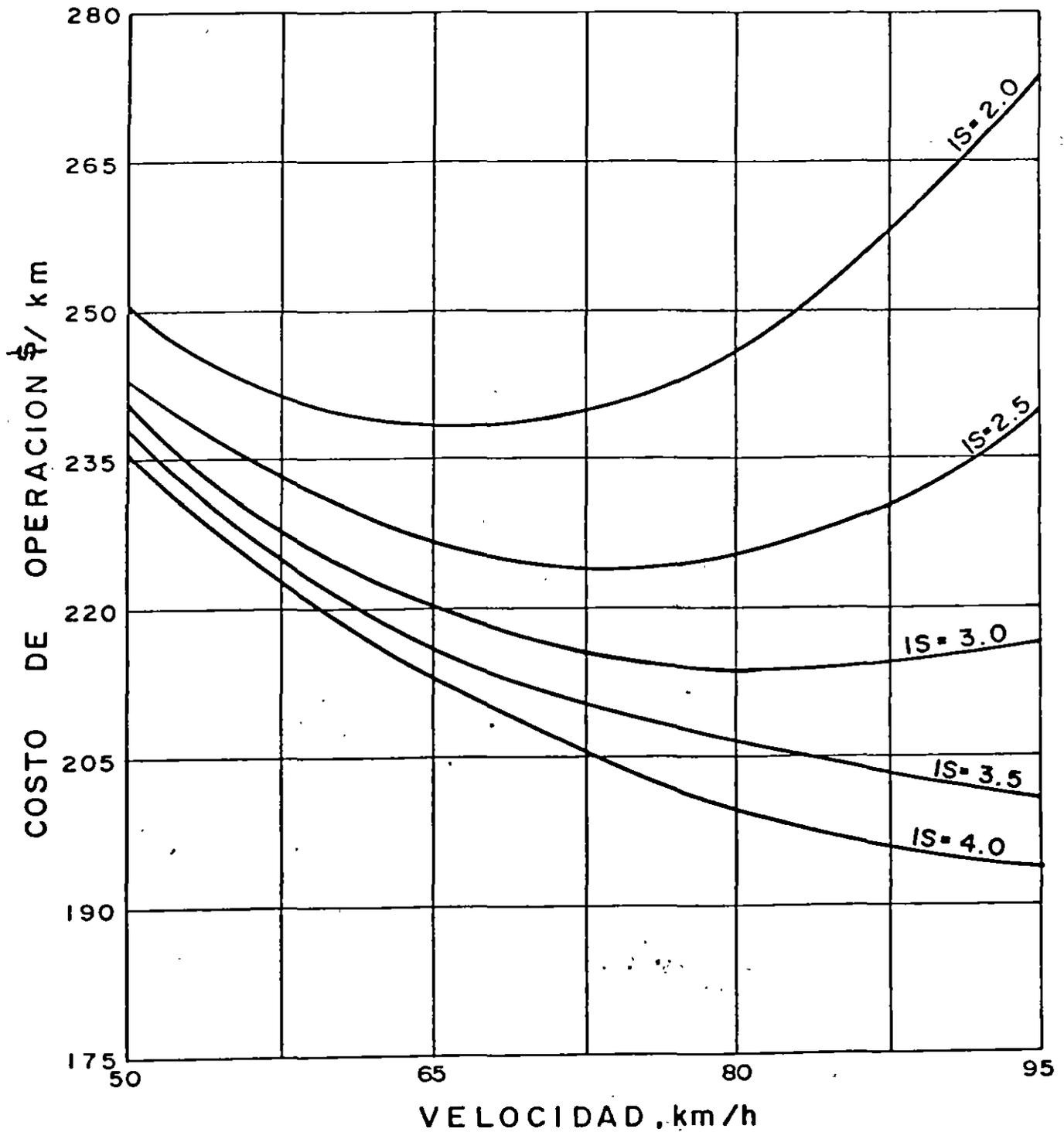
CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO QUE AFECTAN  
LOS COSTOS DE OPERACION

- 1.- RUGOSIDAD
- 2.- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- 3.- COLOR
- 4.- APARIENCIA
- 5.- REFLEXION DE LA LUZ

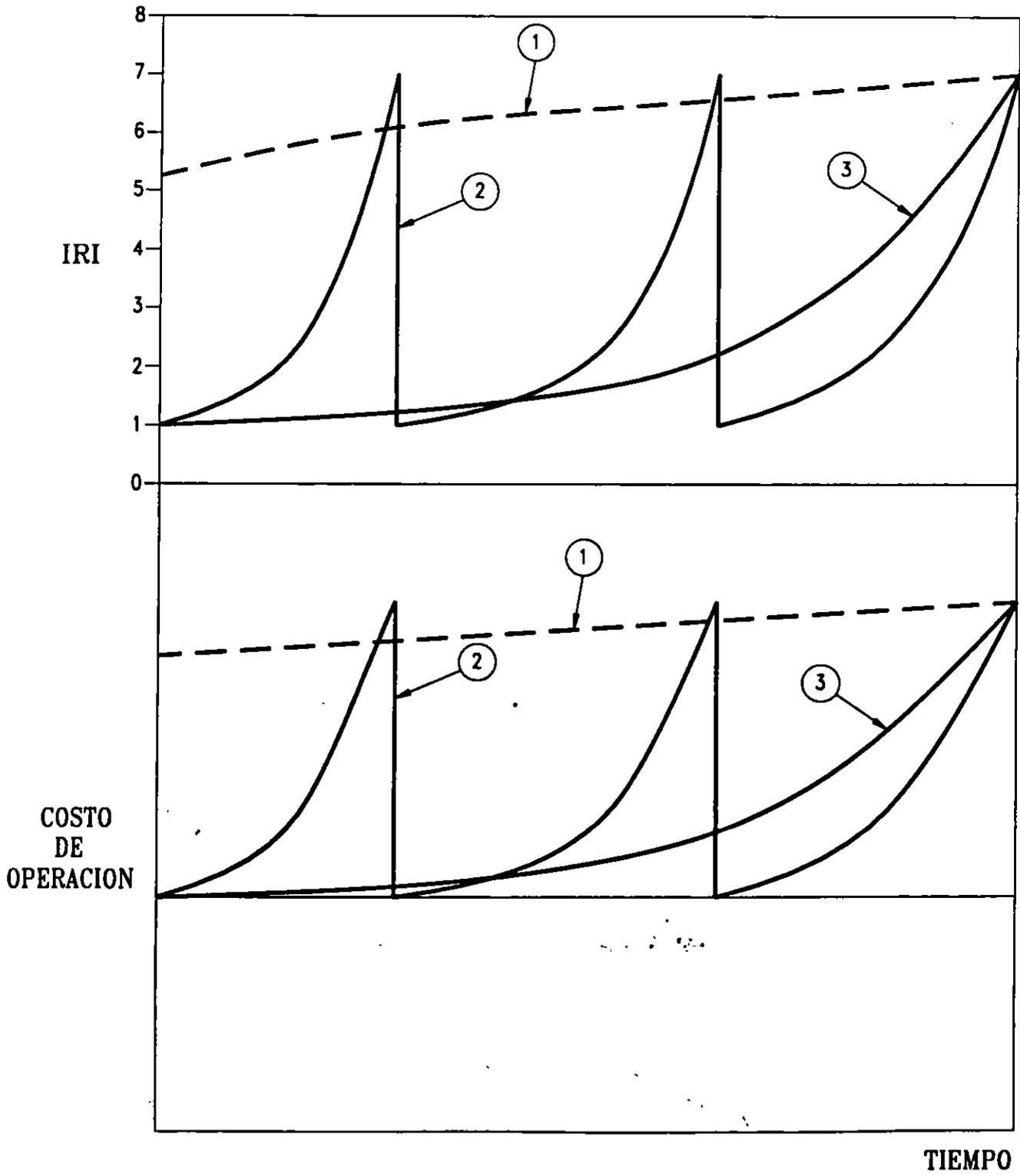
# COSTOS

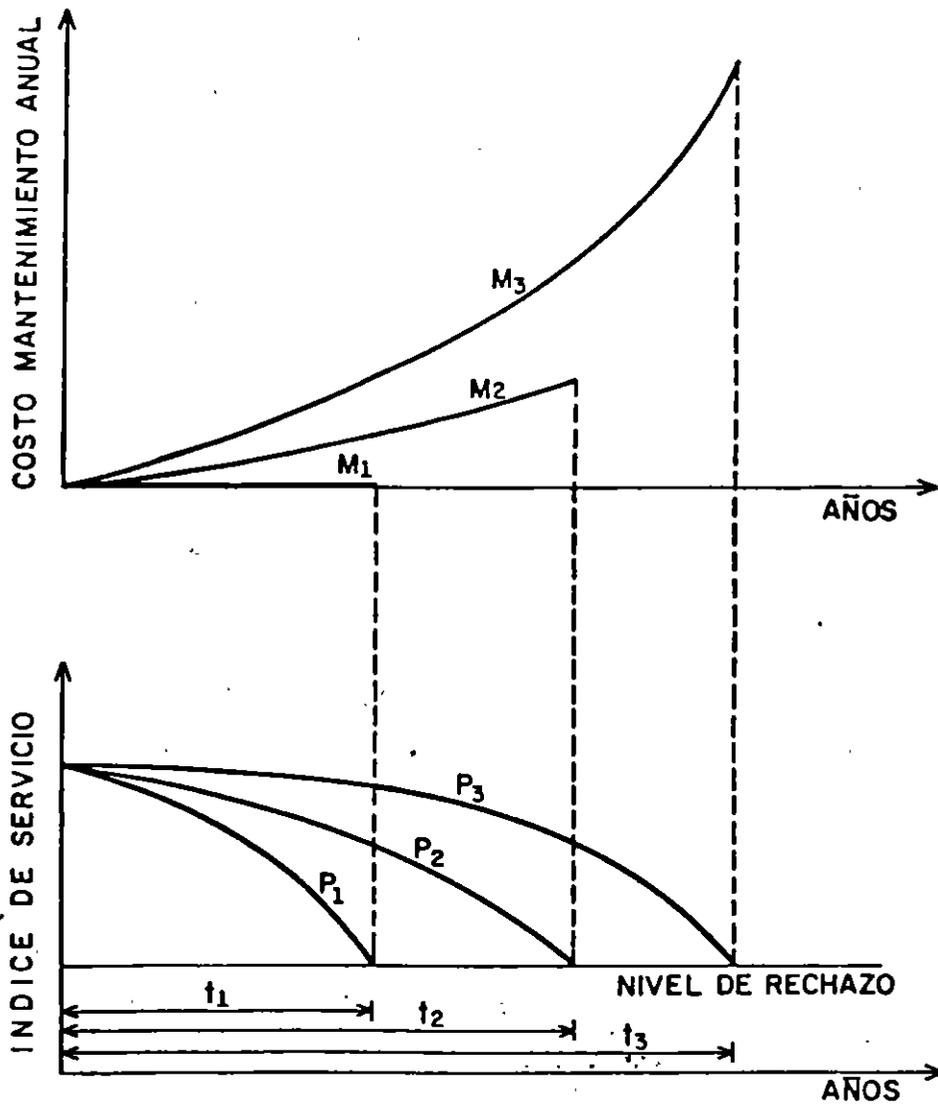
- COSTO INICIAL
  - COSTO DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACION
  - COSTO DE OPERACION
- 
- VEHICULO  
DEMORAS  
ACCIDENTES  
INCOMODIDAD



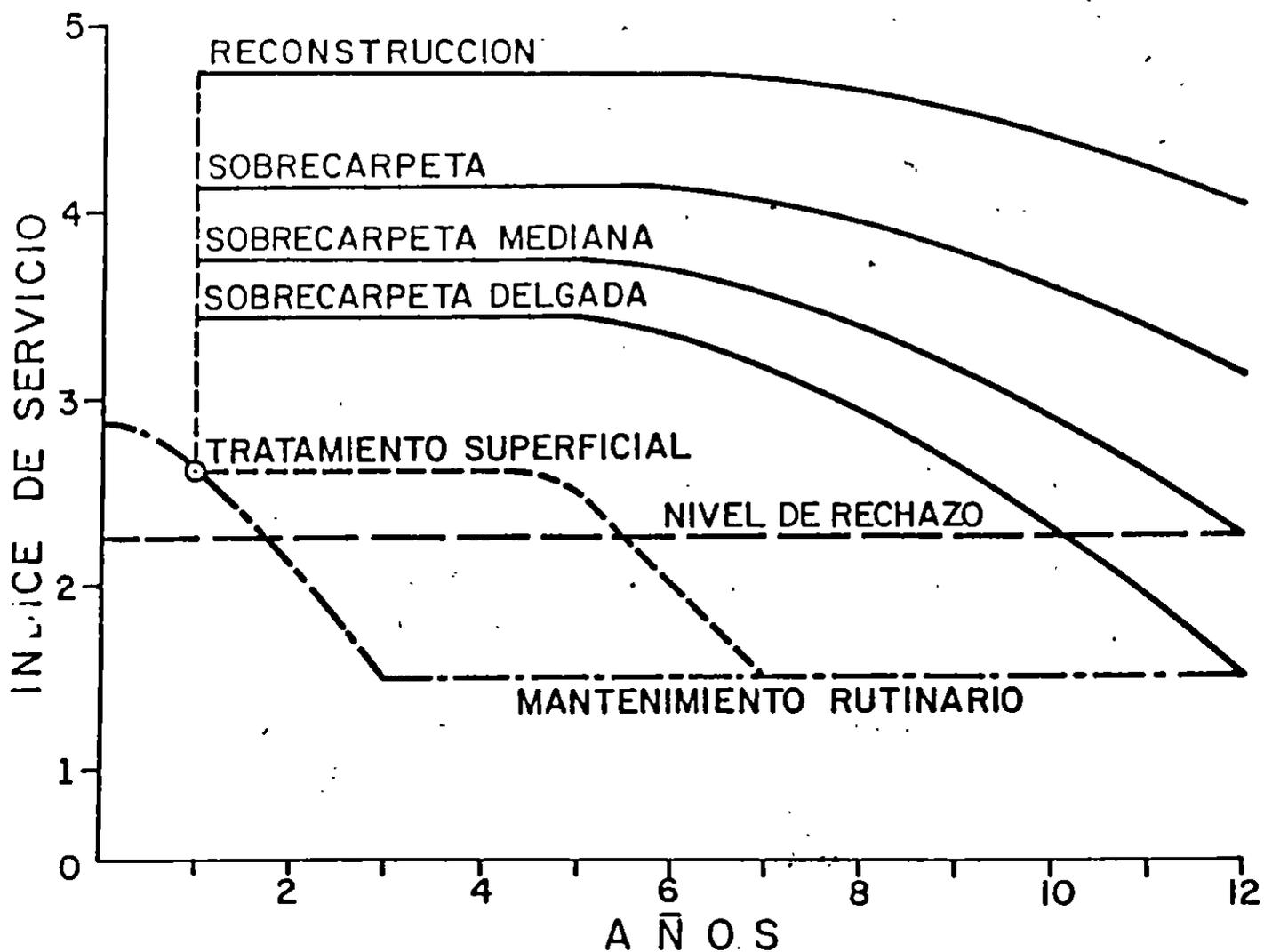


COSTO DE OPERACION DE UN TRACTOR  
 CON SEMIRREMOLQUE PARA DIFERENTES  
 VALORES DE INDICE DE SERVICIO

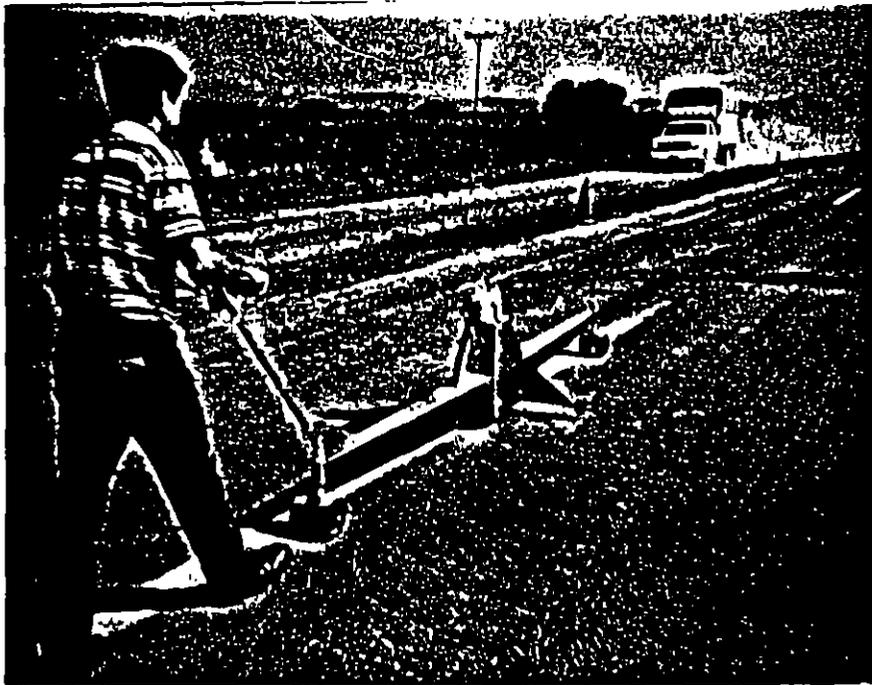
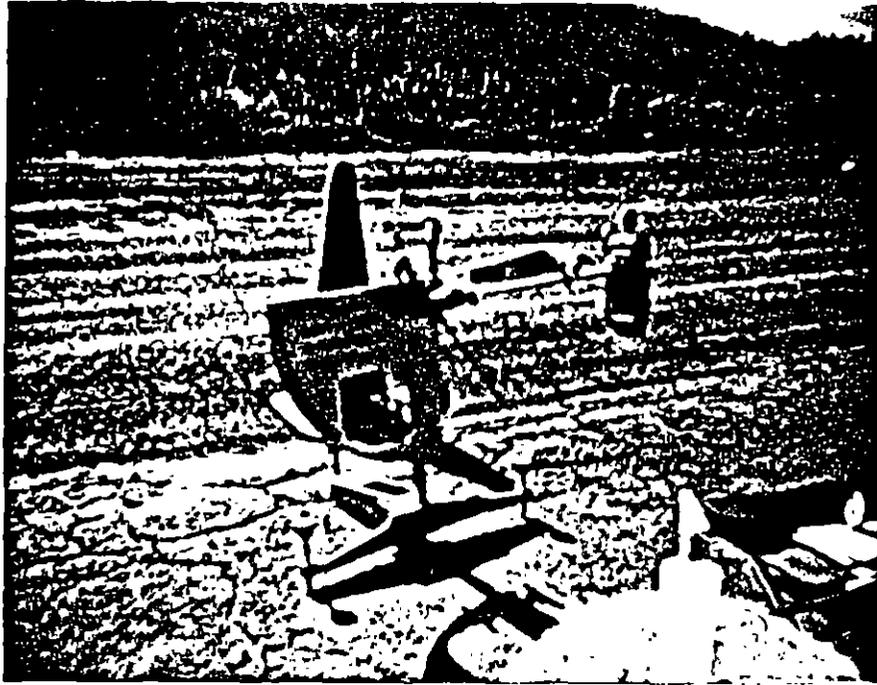


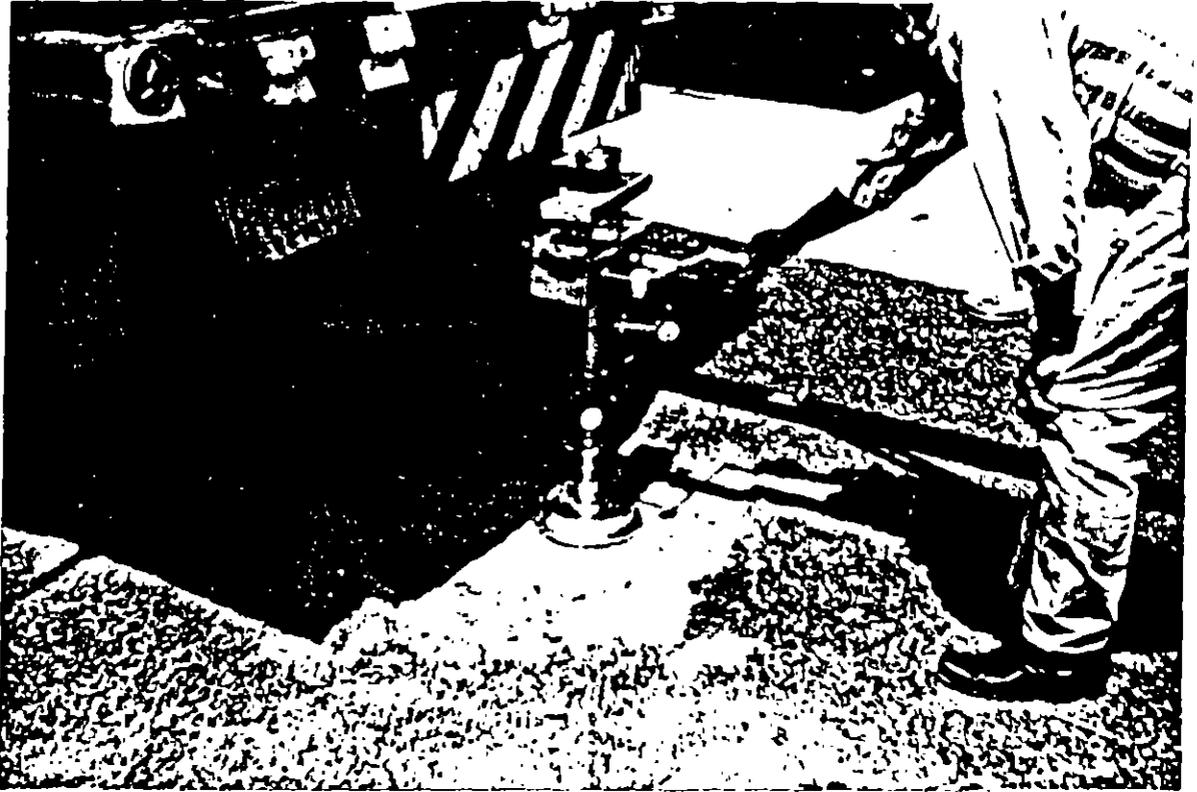


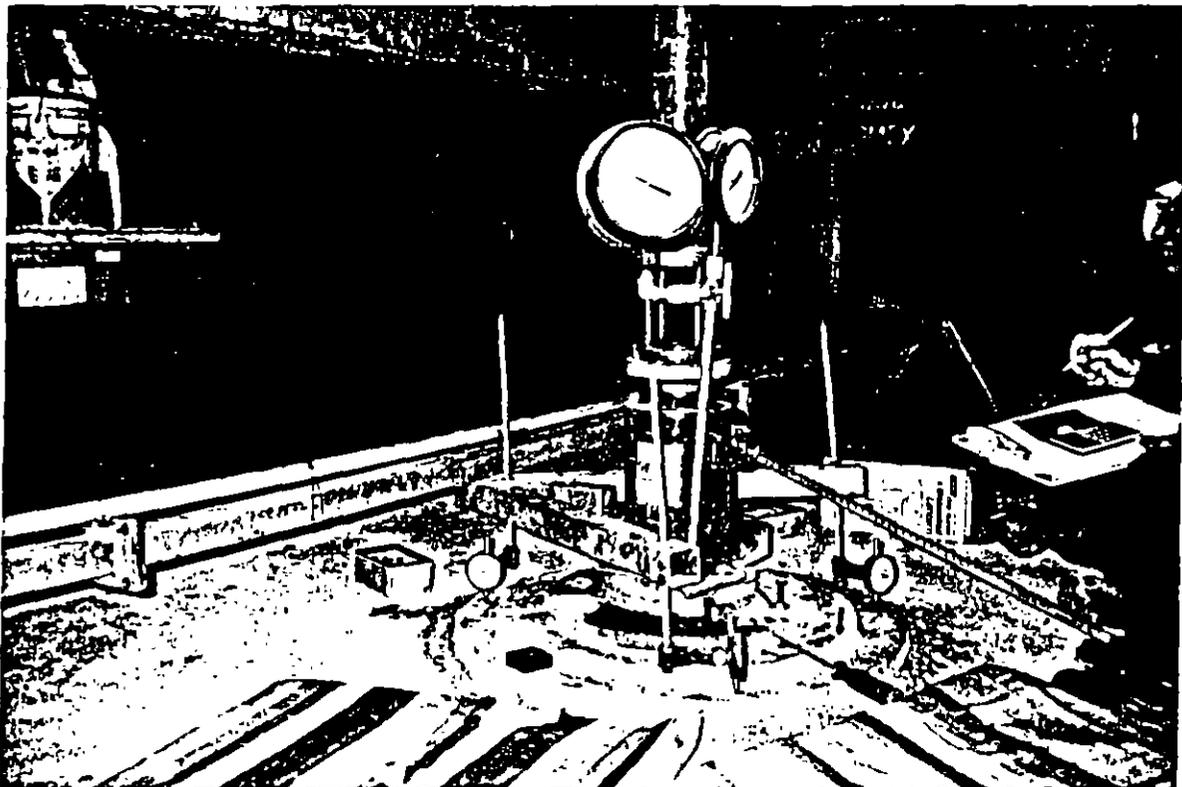
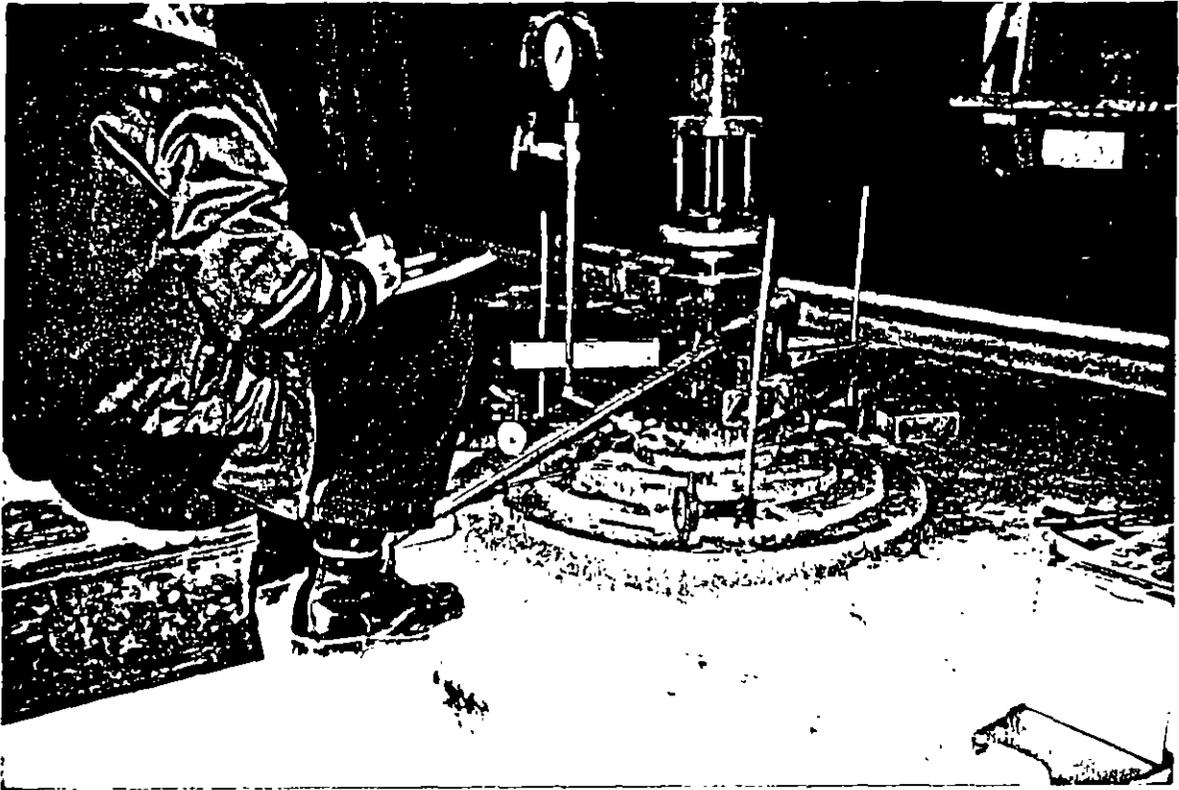
COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO COMO FUNCION DEL NIVEL DE MANTENIMIENTO



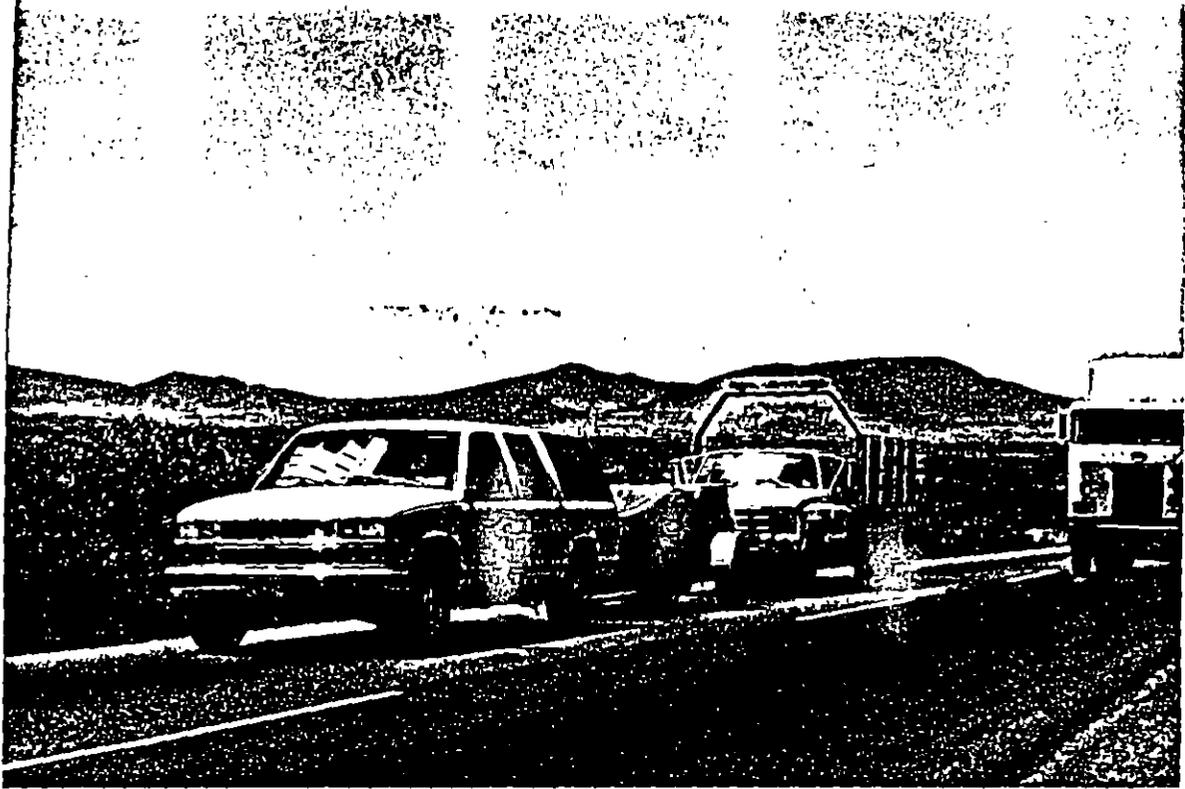
COMPORTAMIENTO TIPICO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE CONSERVACION Y REHABILITACION



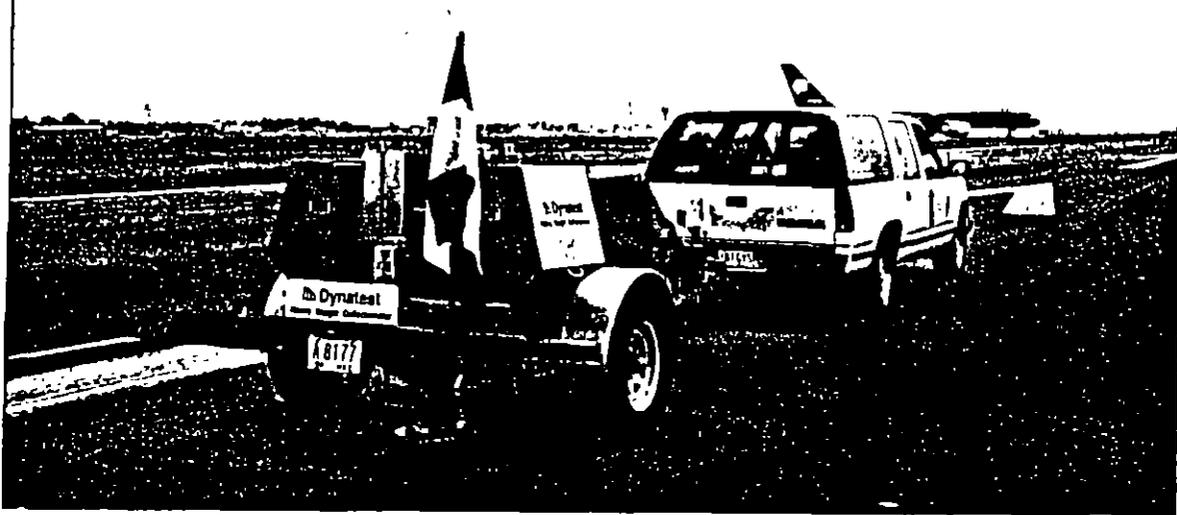




PRUEBA DE PLACA



///



CUADRO 1

VARIACION DEL COSTO DE OPERACION POR KM  
 PARA DIFERENTES TRAZOS Y TIPOS DE VEHICULOS  
 (\$/KM)

TIPO DE VEHICULO	MONTAÑA (7°, 550°/km)	LOMERIO (5°, 300°/km)	PLANO (3°, 100°/km)
Auto pequeño	294	279	270
Auto mediano	539	512	494
Auto grande	735	697	673
Utilitario	496	462	437
Camión liviano (gasolina)	855	705	583
Camión mediano	2121	1592	1166
Camión pesado	2812	2117	1545
Camión articulado	4752	3505	2482

CUADRO 2

VARIACION DEL COSTO DE OPERACION  
 TOTAL EN UN KILOMETRO DE  
 CARRETERA, PARA DISTINTOS TPDAs<sup>1</sup>  
 (miles de \$/km)

TIPO DE TRAZO	Costo de operación total por km si TPDA =				
	2000	3000	5000	7000	9000
Montaña 5,550°/km	2391.4	3587.0	5978.4	8369.8	10761.
Lomerío 5°,300°/km	1911.6	2867.5	4779.1	6690.7	8602.
Plano 3°,100°/km	1525.3	2287.8	3813.1	5338.4	6863.

NOTA: 1. Composición supuesta: automóviles pe-  
 queños 33%; medianos 13%; grandes, 13%; vehí-  
 culos utilitarios, 7%; camiones de gasolina  
 (livianos), 7%; camiones medianos, 11%; pesa-  
 dos, 8%; camiones articulados, 8%.

## IDENTIFICACION DE BENEFICIOS (DEL PAVIMENTO)

### PRINCIPALES:

- SERVICIABILIDAD (EN LA MEDIDA QUE ---  
FECTA LOS COSTOS DE OPERACION DEL VE-  
HICULO, COSTOS POR TIEMPO DE RECORRI-  
DO, COSTOS DE ACCIDENTES, COSTOS POR  
DESCONFORMIDADES,
  
- DERRAPAMIENTO (ACCIDENTES)

## METODOS DE EVALUACION ECONOMICA

- 1 - METODO DE COSTO ANUAL
- 2 - METODO DE VALOR PRESENTE
- 3 - METODO DE TASA DE RETORNO
- 4 - METODO DE LA RELACION COSTO-BENEFICIO
- 5 - METODO DE EFECTIVIDAD DE COSTO

# EVALUACION ECONOMICA DE ALTERNATIVAS DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

PRINCIPIOS Y SU INCORPORACION EN LOS MODELOS O METODOS DE EVALUACION ECONOMICA.

## PRINCIPIOS:

- 1.- EL NIVEL AL CUAL SE LLEVA LA EVALUACION DEBE SER CLARAMENTE IDENTIFICADO
- 2.- LOS ANALISIS ECONOMICOS PROPORCIONAN BASES PARA LAS DECISIONES PERO NO REPRESENTAN EN SI MISMO LA DECISION.
- 3.- UNA EVALUACION ECONOMICA DEBERA CONSIDERAR TODAS LAS ALTERNATIVAS POSIBLES.
- 4.- TODAS LAS ALTERNATIVAS DEBERAN COMPARARSE SOBRE LA MISMA BASE O PERIODO DE TIEMPO.
- 5.- LA EVALUACION ECONOMICA DEBERA CONSIDERAR TANTO LOS COSTOS DEL ORGANISMO COMO LOS DEL USUARIO Y LOS BENEFICIOS DE SER POSIBLE. ESTOS ULTIMOS PUEDEN SER CONSIDERADOS COMO REDUCCION EN LOS COSTOS

## METODO DE VALOR PRESENTE

$$pwf_{i,n} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$pwf_{i,n}$  = FACTOR DE VALOR PRESENTE

$i$  = TASA DE DESCUENTO

$n$  = AÑOS DE ANALISIS

$$TPWC_{x_1,n} = (ICC)_{x_1} + \sum_{t=0}^{t=n} pwf_{i,t} [(CC)_{x_1,t} + (MO)_{x_1,t} + (UC)_{x_1,t}] - (SV)_{x_1,n} pwf_{i,n}$$

$TPWC_{x_1,n}$  = COSTO TOTAL A VALOR PRESENTE

$(ICC)_{x_1}$  = COSTO INICIAL DE CONSTRUCCION

$(CC)_{x_1,t}$  = COSTO DE CONSTRUCCION EN EL TIEMPO  $t$

$pwf_{i,t}$  = FACTOR DE VALOR PRESENTE

$(MO)_{x_1,t}$  = COSTO DE MANTENIMIENTO Y OPERACION

$(UC)_{x_1,t}$  = COSTOS DEL USUARIO

$(SV)_{x_1,n}$  = VALOR DE RESCATE

## METODO RELACION COSTO - BENEFICIO

$$BCR_{x_j, x_k, n} = \frac{TPWB_{x_j} - TPWB_{x_k}}{TPWC_{x_j} - TPWC_{x_k}}$$

$BCR_{x_j, x_k, n}$  = RELACION COSTO-BENEFICIO  
ENTRE ALTERNATIVAS

$TPWB_{x_j}, TPWC_{x_j}$  = BENEFICIO Y COSTO A VALOR  
PRESENTE, ALTERNATIVA  $x_j$

$TPWB_{x_k}, TPWC_{x_k}$  = BENEFICIO Y COSTO A VALOR  
PRESENTE, ALTERNATIVA  $x_k$

# METODO DE COSTO ANUAL

$$AC_{x_1, n} = crf_{i, n} (ICC)_{x_1} + (AAMO)_{x_1} + (AAUC)_{x_1} - crf_{i, n} (SV)_{x_1, n}$$

$AC_{x_1, n}$  = COSTO ANUAL EQUIVALENTE

$crf_{i, n}$  = FACTOR DE RECUPERACION DE CAPITAL =  $i \frac{(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]}$

$(ICC)_{x_1}$  = COSTO INICIAL DE CONSTRUCCION

$(AAMO)_{x_1}$  = COSTO ANUAL PROMEDIO DE MANTENIMIENTO

$(AAUC)_{x_1}$  = COSTO ANUAL PROMEDIO DE OPERACION

611  
 $(SV)_{x_1, n}$  = VALOR DE RESCATE

$$TPWB_{x_1, n} = \sum_{t=0}^n p w f_{i, t} [(DUB)_{x_1, t} + (IUB)_{x_1, t} + (NUB)_{x_1, t}]$$

$TPWB_{x_1, n}$  = COSTO TOTAL DE BENEFICIOS A VALOR PRESENTE

$(DUB)_{x_1, t}$  = BENEFICIOS DIRECTOS DEL USUARIO

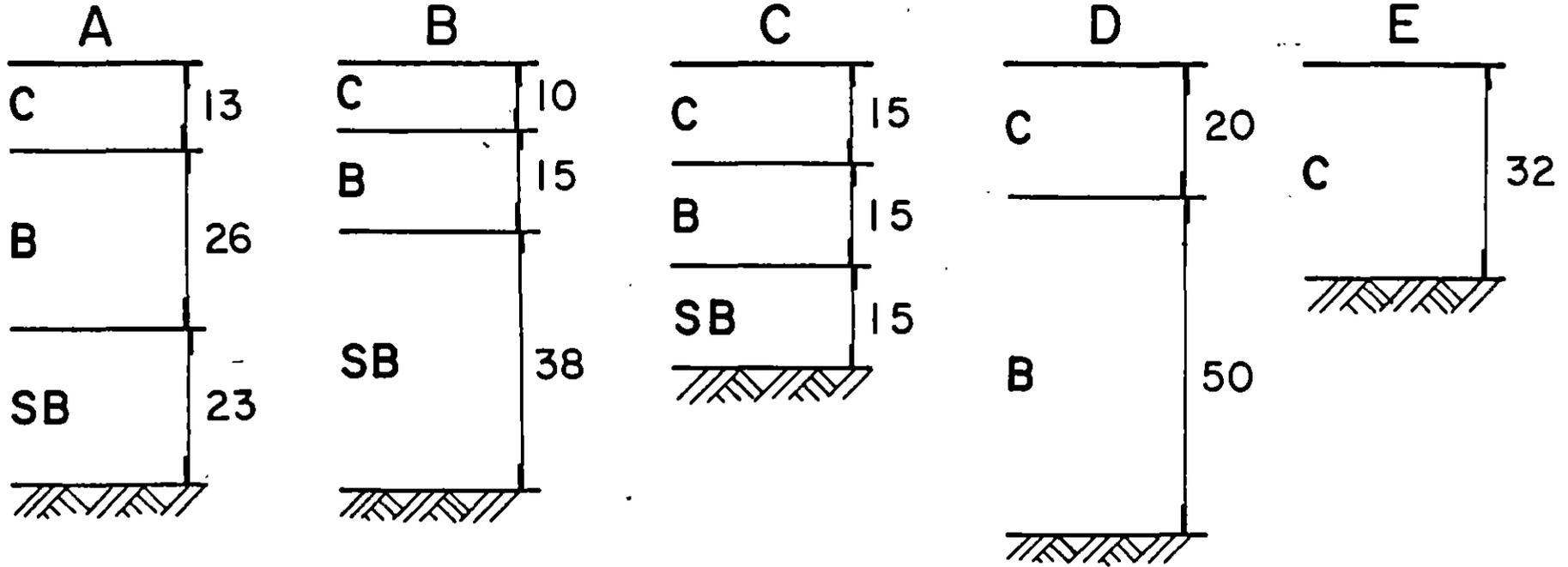
$(IUB)_{x_1, t}$  = BENEFICIOS INDIRECTOS DEL USUARIO

$(NUB)_{x_1, t}$  = BENEFICIOS NO APLICABLES AL USUARIO

$$NPV_{x_1} = TPWB_{x_1, n} - TPWC_{x_1, n}$$

$NPV_{x_1}$  = VALOR NETO PRESENTE

# DISEÑOS



**C = CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO**  
**B = BASE HIDRAULICA**  
**SB = SUBBASE**

**ESPESOR DE GRAVA EQUIVALENTE ,(cm )**

66

61

56

71

64

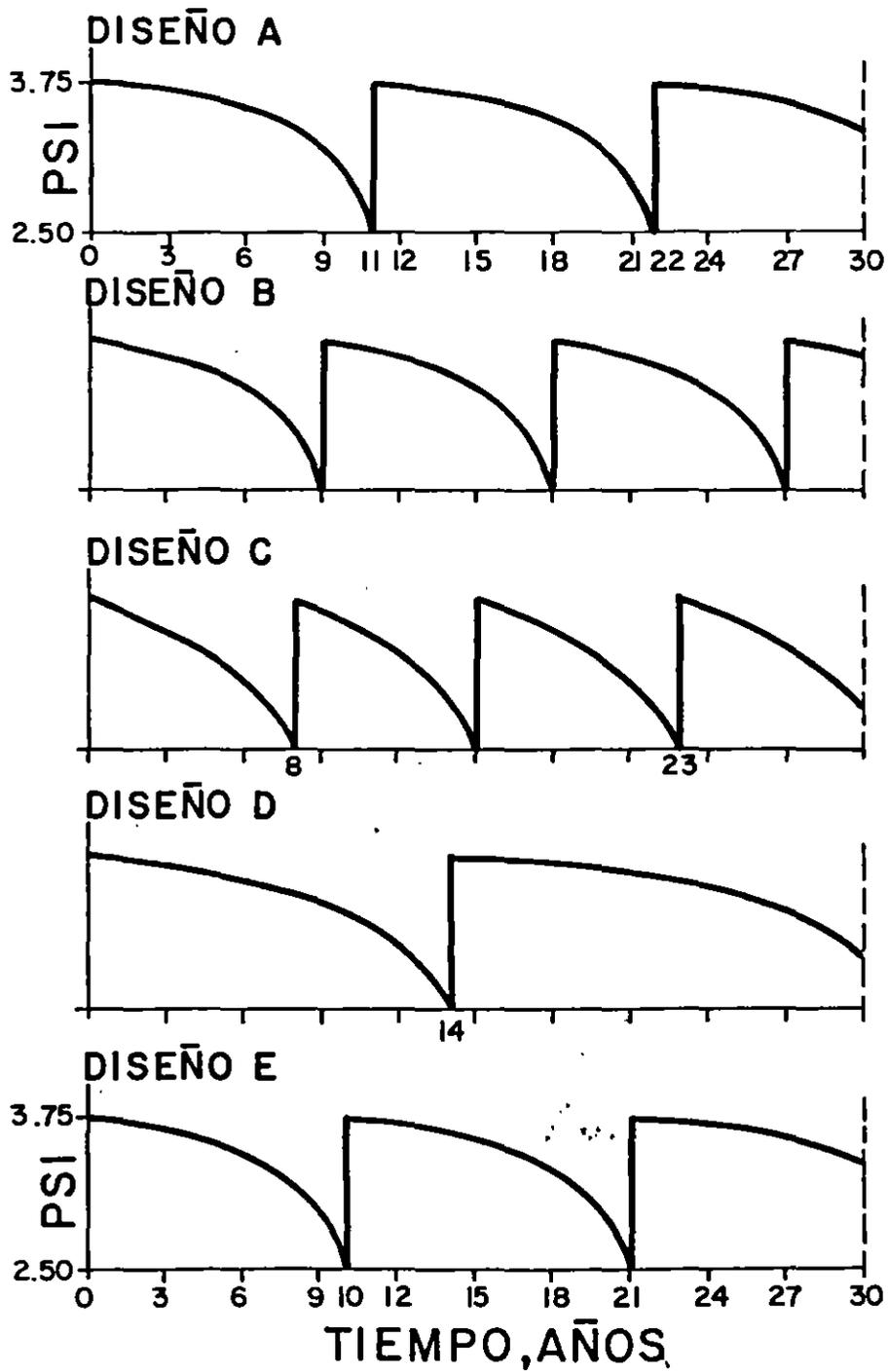
**TDPA = 10 000**

**TASA INCREMENTO = 5 %**

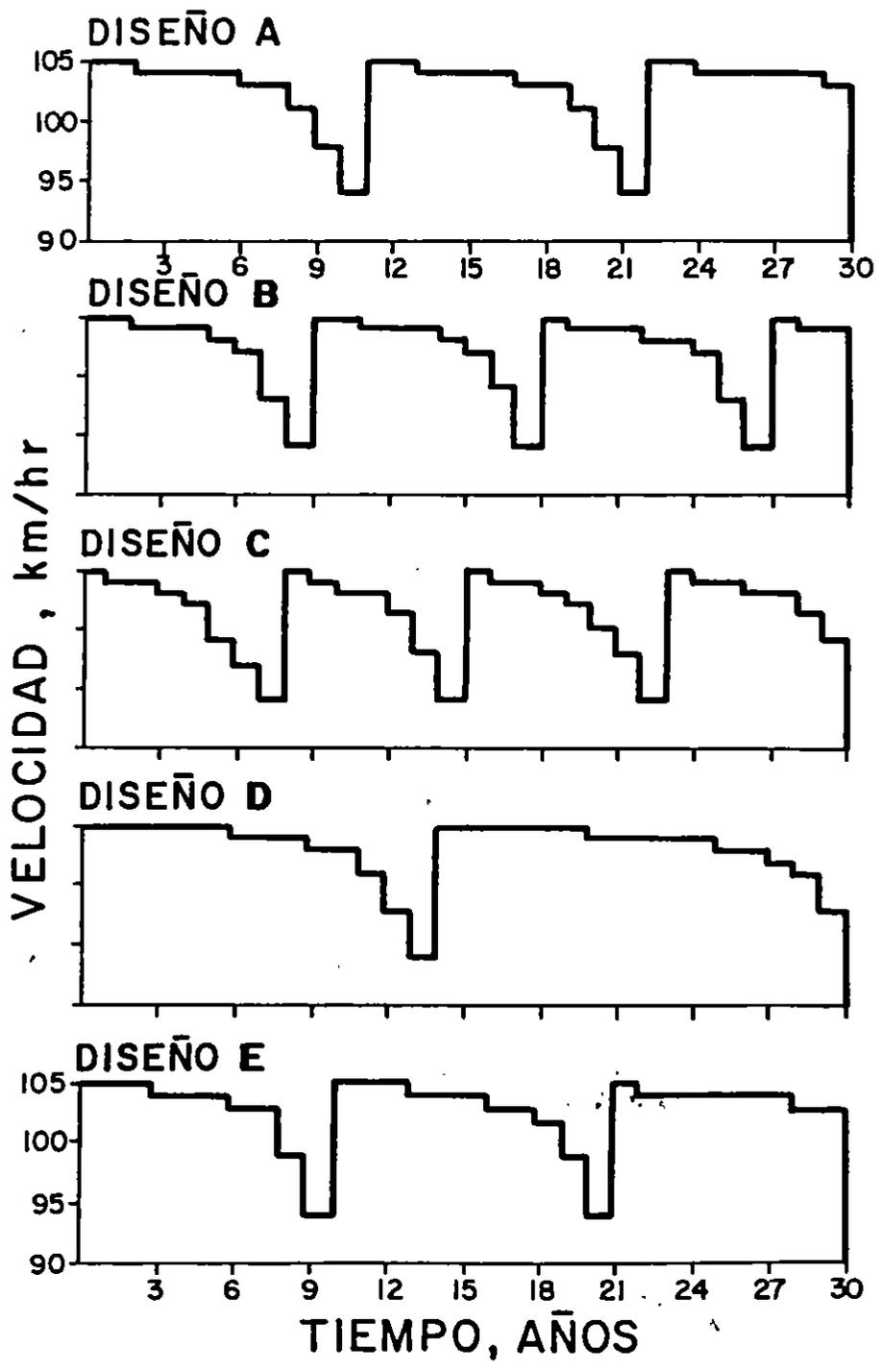
**PERIODO DE DISEÑO = 30 AÑOS**

**CUATRO CARRILES**

1/21

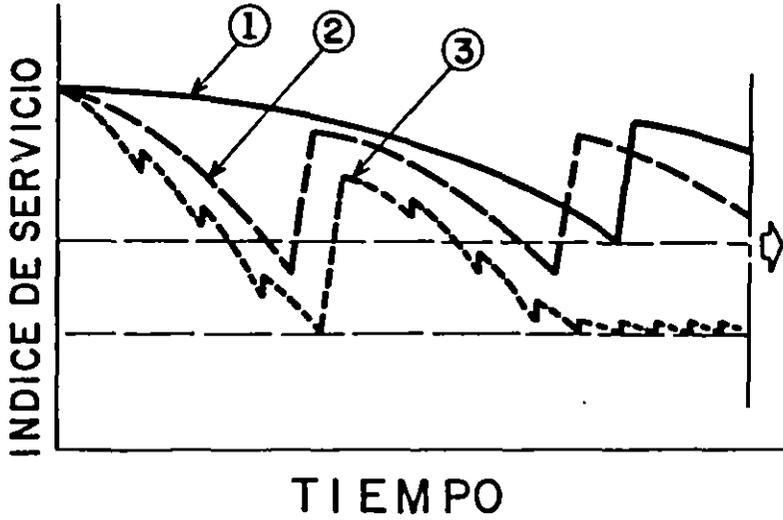


122

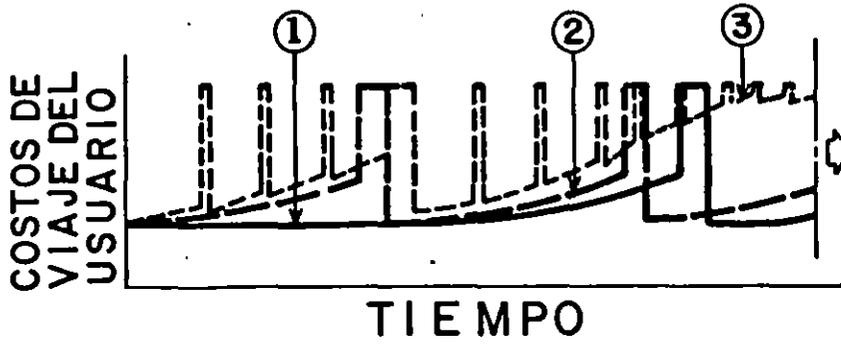


123

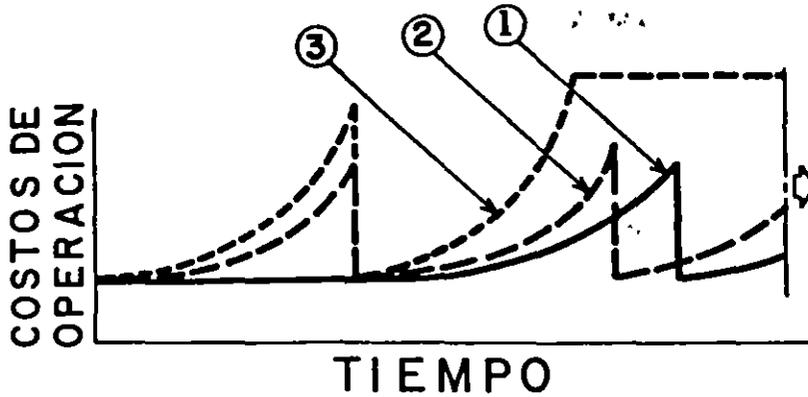
# ESTRATEGIAS



# ESTRATEGIAS



# ESTRATEGIAS



RESUMEN DE COSTOS \$/KM (x1000)

SEÑO	COSTO INICIAL	COSTO SOBRE CARPETA	SUBTOTAL	COSTO MANTENIMIENTO	SUBTOTAL	COSTO DE OPERACION DURANTE - SOBRECARPETAS	SUBTOTAL	VALOR DE RESCATE	SUBTOTAL	COSTO DE OPERACION	TOTAL
A	232,950	49,300	282,250	35,100	317,500	5,100	322,450	13,550	308,900	92,950	401,850
B	203,950	70,450	274,400	31,400	305,000	10,300	316,100	15,100	301,000	108,900	409,900
C	198,600	81,300	279,900	27,500	307,400	7,100	314,500	16,300	298,200	140,050	438,250
D	259,350	27,300	296,950	41,400	338,350	1,450	339,800	13,100	326,700	64,350	391,050
E	244,850	52,750	297,600	34,300	331,900	4,550	336,450	17,200	319,250	83,750	403,000

COSTO MINIMO

145

OPCIONES DE MANTENIMIENTO RECOMENDADAS PARA MINIMIZAR EL COSTO DEL TRANSPORTE EN CAMINOS PAVIMENTADOS

TRANSITO MEDIO DIARIO (NUMERO DE VEHICULOS)	ESTADO INICIAL DEL CAMINO <sup>a</sup>	MANTENIMIENTO RECOMENDADO
MENOS DE 200	DE BUENO A MALO	BACHEO HASTA QUE LA RUGOSIDAD ALCANCE UN NIVEL MUY ALTO (8,5 DEL IIR) Y EL TRANSITO HAYA AUMENTADO HASTA UN PUNTO (TMD > 200) EN QUE SE JUSTIFIQUE LA RECONSTRUCCION DEL PAVIMENTO.
200 A 500	DE BUENO A REGULAR	BACHEO Y REVESTIMIENTOS (HORMIGON ASFALTICO DE 40 MM CUANDO LA RUGOSIDAD LLEGA AL 4,2 A 5 DEL IIR). CUANDO HAY LIMITACIONES PRESUPUESTARIAS LOS REVESTIMIENTOS SE PUEDEN SUSTITUIR POR TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.
	MALO	RECONSTRUCCION INMEDIATA DEL PAVIMENTO. <sup>b</sup>
500 A 1000	BUENO	BACHEO Y REVESTIMIENTOS PERIODICOS (CONCRETO ASFALTICO DE 40 MM AL 3,5-4 DEL IIR)
	REGULAR	IGUAL A LA RECOMENDACION ANTERIOR, PERO CON UN REVESTIMIENTO INICIAL MAS GRUESO (CONCRETO ASFALTICO DE 80 MM) EN LOS CASOS EN QUE EL PAVIMENTO ES DEBIL.
	MALO	RECONSTRUCCION INMEDIATA DEL PAVIMENTO. <sup>b</sup>
1000 TO 2000	DE BUENO A REGULAR	BACHEO Y REVESTIMIENTOS PERIODICOS (DE CONCRETO ASFALTICO DE 40 MM AL 3,5 DEL IIR). CUANDO EL PAVIMENTO EXISTENTE ES DEBIL EL REVESTIMIENTO INICIAL DEBE SER DE MAYOR ESPESOR (80 MM); LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES PERIODICOS SON ECONOMICOS EN EL CASO DE LOS PAVIMENTOS RESISTENTES QUE ESTAN EN BUEN ESTADO.
	MALO	RECONSTRUCCION INMEDIATA DEL PAVIMENTO. <sup>b</sup>
MAS DE 2000	BUENO	BACHEO Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES PERIODICOS (CUANDO EL 25% DE LA SUPERFICIE ESTA DAÑADA), ADEMAS DE REVESTIMIENTOS PERIODICOS (DE 40 MM AL 3,5 DEL IIR).
	REGULAR	BACHEO Y REVESTIMIENTOS PERIODICOS (CONCRETO ASFALTICO 40 MM AL 3,5 DEL IIR). CUANDO EL PAVIMENTO EXISTENTE ES DEBIL EL REVESTIMIENTO INICIAL DEBE TENER UN ESPESOR MAYOR (80 MM).
	MALO	RECONSTRUCCION INMEDIATA DEL PAVIMENTO. <sup>b</sup>

a. BUENO = RUGOSIDAD INFERIOR A 3,5 SEGUN EL IIR; REGULAR = RUGOSIDAD DE 3,5 A 5,8 SEGUN EL IIR; MALO = RUGOSIDAD SUPERIOR AL 5,8 DEL IIR.

b. HAY QUE ASIGNAR FONDOS A BACHEO Y MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA CON EL OBJETO DE QUE EL CAMINO SIGA SIENDO TRANSITABLE DURANTE EL PERIODO DE RECONSTRUCCION.

## BASES PARA ADOPCION DE CRITERIO

1.- DATOS DE PLANEACION

2.- DATOS DE PROYECTO GEOMETRICO

3.- DATOS DE TRANSITO Y COSTOS

4.- DATOS DE EVALUACION DE PAVIMENTO

## CRITERIOS

- 1.- MANTENIMIENTO NORMAL, PREVENTIVO Y CORRECTIVO.
- 2.- REFUERZO ESTRUCTURAL Y POR FATIGA.
- 3.- RECONSTRUCCION DE TERRACERIAS.
- 4.- AMPLIACIONES LATERALES.
- 5.- CONSTRUCCION DE UN NUEVO CUERPO, PARALELO AL ACTUAL O INDEPENDIENTE.
- 6.- NUEVOS CUERPOS LATERALES AL ACTUAL, EL CUAL SE DESTINA A CAMELLON.
- 7.- NUEVO TRAZO EN MODIFICACIONES.

# TRABAJOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

TIPO		APLICACION
- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES		
	RAJURADO REBAJADO PRODUCTOS QUIMICOS	CORREGIR TEXTURA Y MEJORAR RESISTENCIA AL DERRAMAMIENTO.
	CALAFATEO	RELLENO DE GRIETAS
	SLURRY SEAL RIEGOS DE SELLO	CORREGIR TEXTURA Y DERRAMAMIENTO, IMPERMEABILIZAR, MEJORAR APARIENCIA.
- BACHEO	SUPERFICIAL	CORREGIR FALLAS DE CARPETA.
	PROFUNDO	CORREGIR AREAS DEBILES
- RENIVELACIONES		CORREGIR DEFORMACIONES
- RECICLADO		CORREGIR FALLAS DE CARPETA, REJUVENECERLA Y FORZARLA.
- SOBRECARPETA		REFUERZO, ESTRUCTURAL Y CONTRA FATIGA.
- MODERNIZACIONES		ADECUAR PARA TRANSITO -- MAS IMPORTANTE, AMPLIACIONES Y RECTIFICACIONES MEJORAR DRENAJE.
- RECONSTRUCCION		ADAPTACION PARA UN TRANSITO MAS PESADO.

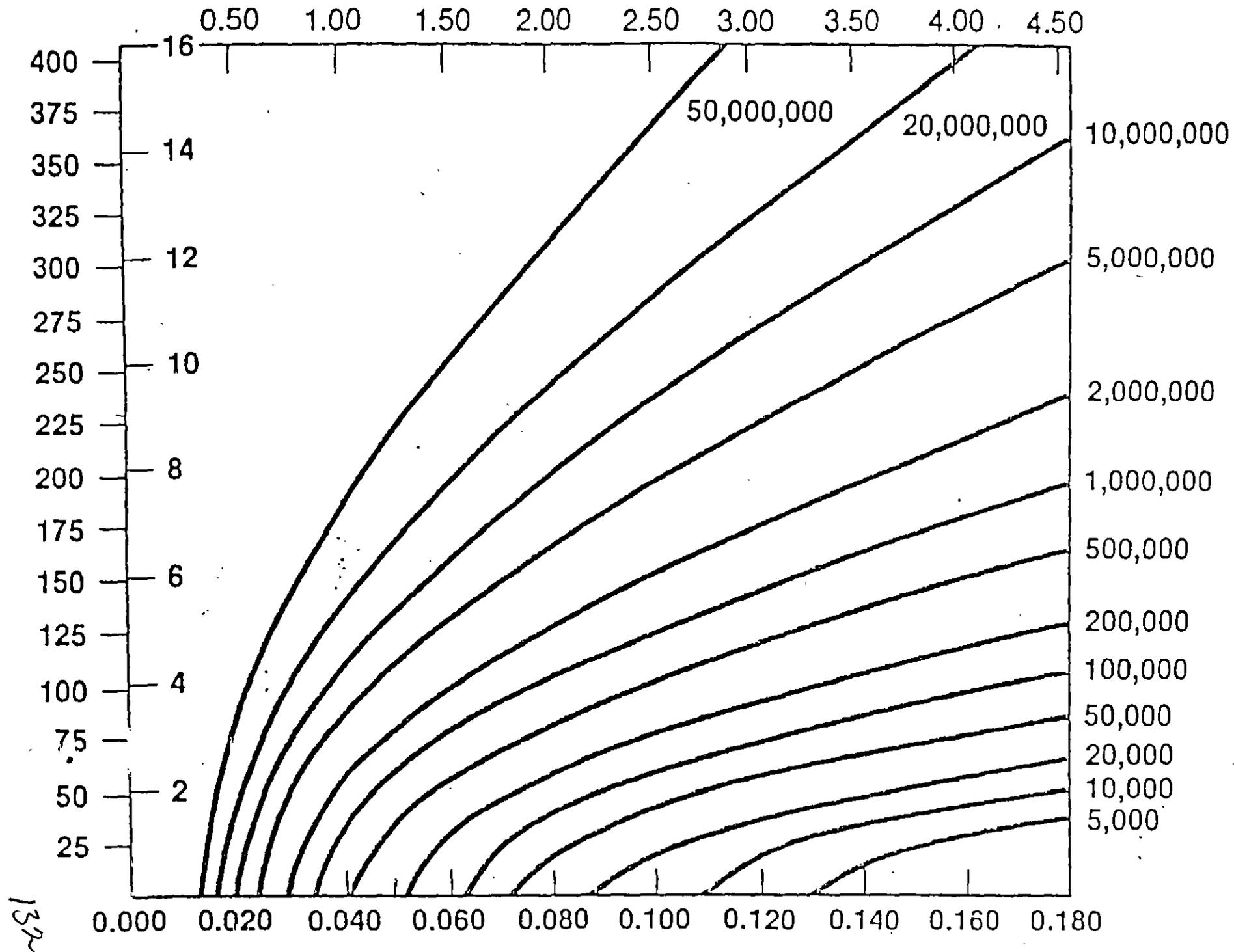
# TRABAJOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS RIGIDOS

TIPOS	APLICACION
- RESTAURACION DE JUNTAS - CALAFATEO DE GRIETAS	MEJORAR LA FUNCION DE LAS JUNTAS E IMPERMEABILIZAR
- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES  RANURADO REBAJADO PRODUCTOS QUIMICOS	CORREGIR TEXTURA Y MEJORAR RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO.
- RECONSTRUCCION DE LOSAS, INTEGRAL O PARCIAL	RESTITUIR ESTRUCTURA
- SOBRECARPETAS ASFALTICAS O REFUEZO DE CONCRETO HIDRAULICO	MEJORAR TEXTURA Y DERRAPAMIENTO, REFUEZO ESTRUCTURAL
- MODERNIZACIONES Y RECONSTRUCCION	ADECUAR PARA TRANSITO MAS PESADO Y MAS IMPORTANTE, MEJORAR ALINEAMIENTO Y DRENAJE.

ESPEORES EFECTIVOS SEGUN EL INSTITUTO DEL ASFALTO. (27)

CLASIFI- CACION.	DESCRIPCION DEL MATERIAL.	FACTORES DE CONVERSION.
I	Terreno natural en todos los casos	0.0
II	a).- Subrasantes construidas con materiales granulares, con algo de limo o arcilla e $IP \leq 10$ b).- Subrasante de suelos muy plásticos con $IP > 10$ ; estabilizadas con cal.	0.0-0.2
III	a).- Bases o subbases granulares bien graduadas con $CBR > 20$ , el limite superior se usa si el $IP \leq 6$ y el inferior si $IP > 6$ . b).- Subbase y bases de suelo cemento, con materiales con $IP \leq 10$ y poco cemento.	0.2-0.3
IV	a).- Base granular de alta calidad ( $CBR > 80$ ). b).- Carpetas asfálticas muy agrietadas y deformadas. c).- Pavimento de concreto hidráulico roto en piezas menores de 2 pies, se usa el rango superior cuando tiene subbase, limite inferior cuando sólo hay subrasante. d).- Bases de suelo cemento muy agrietadas.	0.3-0.5
V	a).- Carpeta y bases asfálticas muy agrietadas pero poco deformadas. b).- Pavimentos de concreto hidráulico agrietados y con algunas fallas. c).- Bases de suelo cemento poco agrietadas.	0.5-0.7
VI	a).- Carpetas de concreto asfáltico con pocas grietas y poca deformación. b).- Bases asfálticas poco agrietadas. c).- Concreto hidráulico poco agrietado.	0.7-0.9
VII	a).- Concreto asfáltico incluyendo bases de concreto asfáltico con muy pocas grietas y pocas deformaciones en las huellas de rodada. b).- Concreto hidráulico, sellado y pocas grietas. c).- Base de concreto hidráulico bajo carpeta asfáltica estable, sin bombeo y con pocas grietas reflejadas.	0.9-1.0

TABLA 6



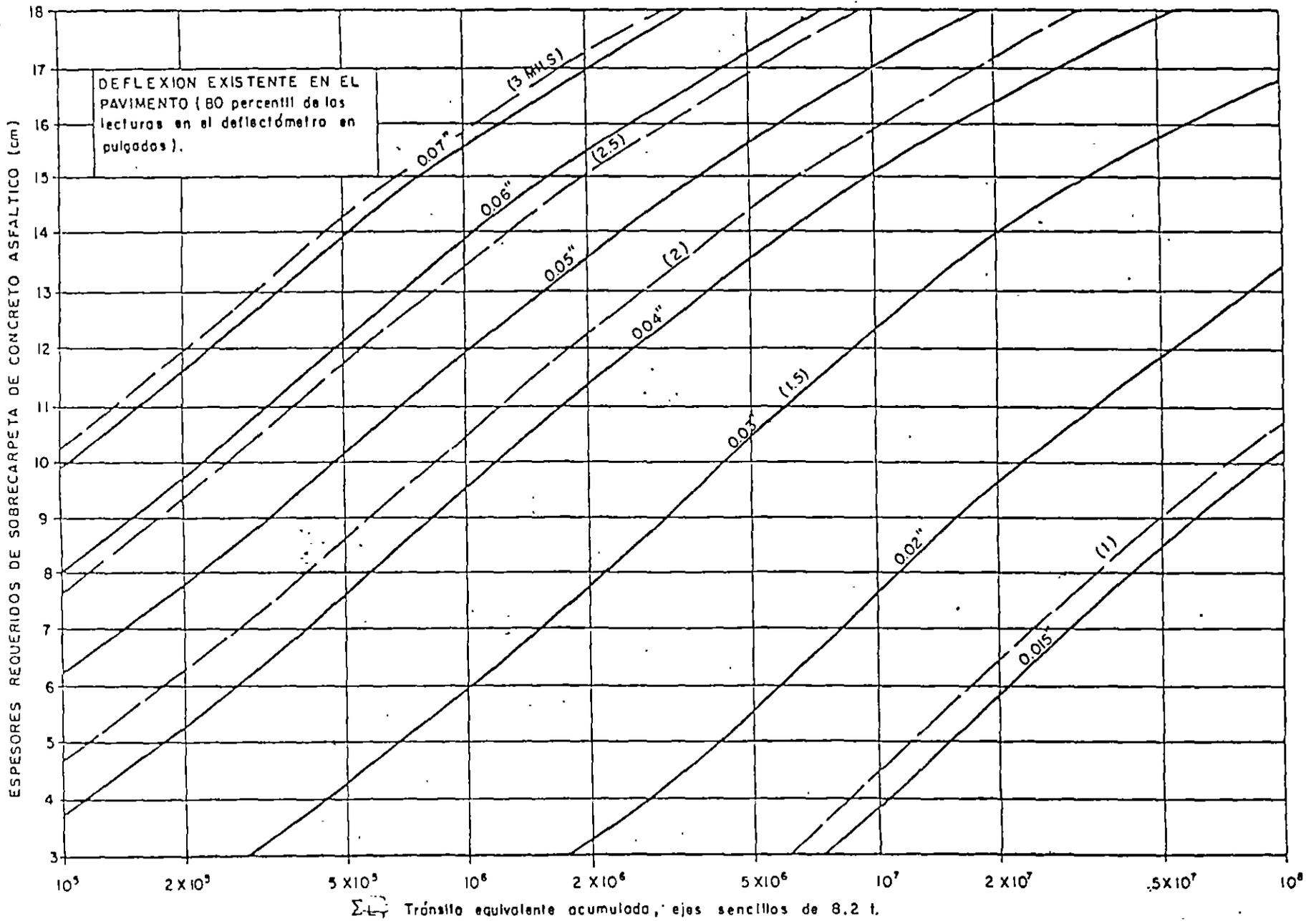


Fig. Gráfica guía para diseño de refuerzos en pavimentos asfálticos (Calif. Dept. of Trans., 1976)

## POLITICAS DE CONSERVACION

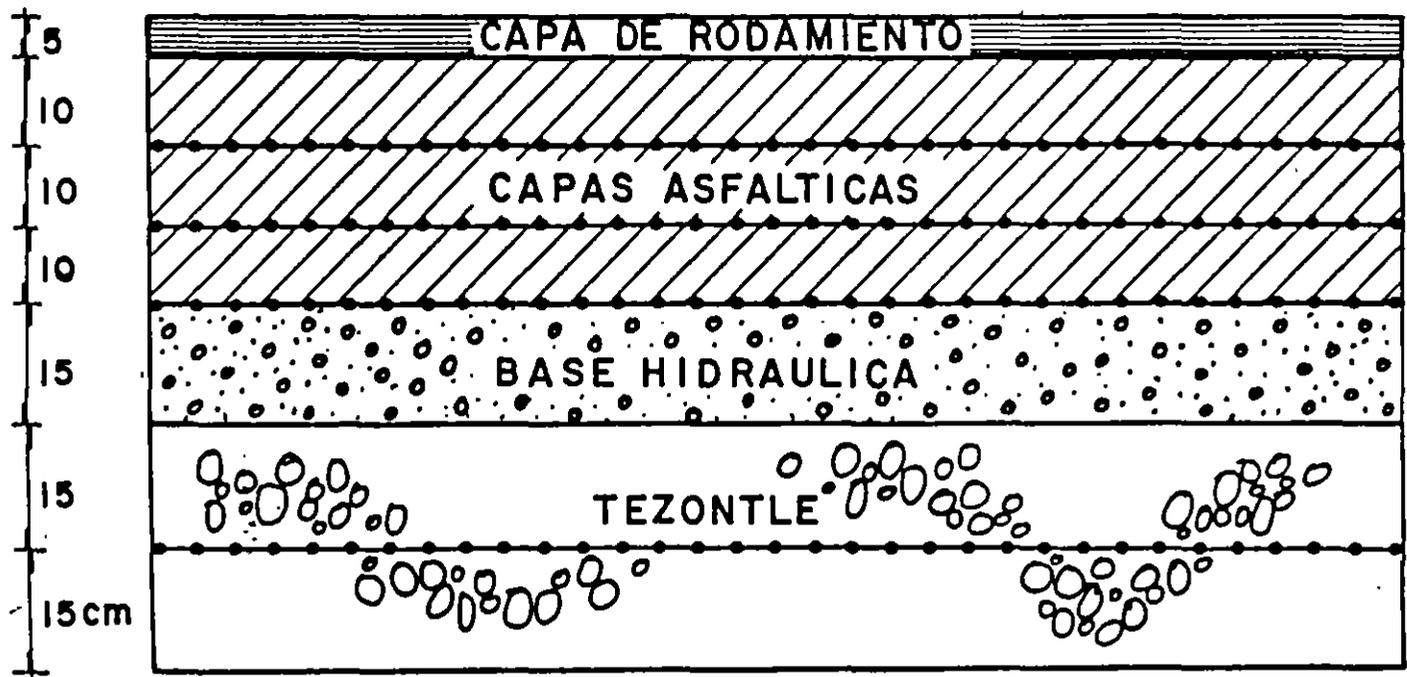
- 1.- ELECCION DEL NIVEL DE SERVICIO
- 2.- DEFINICION DE VALORES CRITICOS O TERMINALES
- 3.- DISPONIBILIDAD DE FONDOS
- 4.- IMPORTANCIA DE LA CARRETERA
- 5.- VOLUMEN DE TRANSITO Y SU MANEJO
- 6.- RELACIONES CON EL USUARIO
- 7.- COSTO Y VIDA UTIL DE LAS ALTERNATIVAS

## PROCEDIMIENTO

- 1.- EFECTUAR UNA EVALUACION DEL PAVIMENTO, INVESTIGANDO SU ESTADO, TIPOS DE FALLAS Y CAUSAS PROBABLES.
- 2.- DEFINIR SI LAS FALLAS SON ESTRUCTURALES, FUNCIONALES O DE -- FATIGA.
- 3.- DEFINIR ESPESORES PARA CADA CASO.  
PROPONER ALTERNATIVAS.
- 4.- HACER UN ANALISIS DE PREDICION DE COMPORTAMIENTO.
- 5.- HACER ANALISIS ECONOMICO
- 6.- ELEGIR LA MEJOR ALTERNATIVA.

## R E C O M E N D A C I O N E S

- 1.- CORREGIR FALLAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE
- 2.- REVISAR CONDICIONES DE ACOTAMIENTOS
- 3.- CORREGIR GRIETAS Y EFECTUAR BACHEO Y RENIVELACIONES
- 4.- DIMENSIONAR ESPESORES, CONSIDERANDO ADEMÁS ASPECTOS DE PENDIENTES Y REFLEXION DE GRIETAS
- 5.- DISEÑO ADECUADO DE LA MEZCLA Y CONSTRUCCION CORRECTA.



137

**FIG 5.- REFUERZO DE UNA SECCION COMPENSADA PARA REHABILITACION DE LA PISTA 05D - 23I DEL AICM**

VENTAJAS DEL USO DE GEOSINTETICOS EN PAVIMENTOS:

- A) RAPIDEZ Y FACILIDAD DE INSTALACION
- B) AHORRO DE MATERIALES DE PAVIMENTACION Y PROLONGACION DE LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS
- C) POSIBILIDAD DE RESOLVER PROBLEMAS COMPLICADOS, CON MATERIALES CONVENCIONALES
- D) AMPLIO CAMPO DE APLICACIONES, POSIBILIDAD DE UTILIZAR GEOCOMPUESTOS CON NUEVOS MATERIALES, FORMAS Y COMBINACIONES
- E) POSIBILIDAD DE USARSE COMO REFUERZO EN PAVIMENTOS RIGIDOS

## PAVIMENTOS RIGIDOS

- A) USO DE SOBRECARPETAS ASFALTICAS
- B) COLOCACION DE UNA CAPA DE BASE CON O SIN ASFALTO, ENTRE EL PAVIMENTO DAÑADO Y UNA SOBRECARPETA ASFALTICA
- C) CONSTRUCCION DE UNA SOBRECARPETA ASFALTICA DE ESPESOR ADECUADO
- D) USO DE BANDAS DE GEOTEXTIL DE 300 A 450 MM DE ANCHO SOBRE JUNTAS O GRIETAS
- E) EMPLEO DE CAPAS DE ASFALTO AHULADOS
- F) CONSTRUCCION DE UNA SOBRE LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO
- G) COLOCACION DE GEOTEXTILES SOBRE LA SUPERFICIE DANADA

## A P L I C A C I O N E S

- 1.- TRATAMIENTO DE GRIETAS
  - 1.1.- RIEGOS
  - 1.2.- RELLENOS
  
- 2.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
  - 2.1.- ASFALTO
  - 2.2.- ASFALTO Y AGREGADOS
  - 2.3.- MORTEROS
  
- 3.- MEZCLAS ELABORADAS EN EL LUGAR O EN PLANTA
  - 3.1.- RENIVELACIONES
  - 3.2.- SOBRECARPETAS DELGADAS
  - 3.3.- REPOSICION DE CARPETAS EN BACHES

## TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

- 1.- RIEGOS ASFALTICOS
- 2.- CARPETAS DE UNO O VARIOS RIEGOS
- 3.- MORTEROS (SLURRY SEAL)
- 4.- CARPETAS DELGADAS DE CONCRETO ASFALTICO O MEZCLA EN EL LUGAR

## SELECCION DEL ASFALTO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

- 1.- TEMPERATURA AMBIENTE Y DE LA SUPERFICIE
- 2.- VIENTO Y HUMEDAD
- 3.- TEXTURA Y CONDICION DE LA SUPERFICIE
- 4.- TIPO Y CONDICION DEL AGREGADO POR COLOCAR
- 5.- EQUIPO

## PROPIEDADES DEL ASFALTO

- 1.- FLUIDEZ PARA CUBRIR UNIFORMEMENTE EL AREA
- 2.- CONSISTENCIA PARA CUBRIR AL AGREGADO
- 3.- DESARROLLO RAPIDO DE PROPIEDADES ADHESIVAS
- 4.- RETENER A LOS AGREGADOS A PESAR DEL TRANSITO
- 5.- NO DESPRENDERSE DEL AGREGADO NI AFLORAR EN EL TRANCURSO DEL TIEMPO

## RIEGO DE IMPREGNACION

### OBJETIVOS

- 1.- IMPERMEABILIZAR LA SUPERFICIE
- 2.- RELLENO DE HUECOS CAPILARES
- 3.- CUBRIR Y RETENER PARTICULAS SUELTAS
- 4.- ENDURECIMIENTO DE LA SUPERFICIE
- 5.- ADHERIR A LA BASE EL TRATAMIENTO POSTERIOR

### CANTIDAD DE ASFALTO

1 A 2 LT/M<sup>2</sup>

### TIEMPO DE PENETRACION Y CURADO

24 HR

### CUIDADOS

LIMPIEZA CUIDADOSA DE LA SUPERFICIE, VIGILAR LA CANTIDAD DE ASFALTO APLICADA, ELIMINAR EXCESOS, IMPEDIR EL TRANSITO.

## PALIATIVO CONTRA EL POLVO

### OBJETIVOS

- 1.- ELIMINAR EL POLVO EN SUPERFICIES DE TIERRA FORMANDO UNA COSTRA ENDURECIDA, ESTABILIZANDO EL MATERIAL, CON APLICACIONES ANUALES SUCESIVAS

### CANTIDAD DE ASFALTO

3 A 4.5 LT/M<sup>2</sup>, EN TRES APLICACIONES

### TIEMPO DE PENETRACION Y CURADO

VARIAS SEMANAS.

### CUIDADOS

CONFORMAR Y COMPACTAR LA SUPERFICIE  
IMPEDIR EL TRANSITO DURANTE UN DIA

## RIEGO DE LIGA

### OBJETIVOS

- 1.- PROPORCIONAR ADHERENCIA ENTRE UNA SUPERFICIE Y UNA NUEVA CAPA

### CANTIDAD DE ASFALTO

0.25 A 0.8 LT/M<sup>2</sup>

### TIEMPO DE CURADO

SUFICIENTE PARA EL ROMPIMIENTO DE LA EMULSION O EVAPORACION DE SOLVENTES

### CUIDADOS

LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE, VIGILAR LA UNIFORMIDAD Y CANTIDAD APLICADA, EVITAR EL TRANSITO Y CIRCULACION LENTA CUANDO SE PERMITA EL PASO

## RIEGO TAPON

### OBJETIVOS

- 1.- IMPIDE LA ENTRADA DE AIRE Y AGUA AL PAVIMENTO
- 2.- PREVIENE DESPRENDIMIENTOS DEL AGREGADO DE UNA CARPETA
- 3.- REJUVENECE CARPETAS ANTIGUAS

### CANTIDAD DE ASFALTO

0.5 A 1.0 LT/M<sup>2</sup>

### TIEMPO DE PENETRACION Y CURADO

UNA A DOS HORAS

### CUIDADOS

LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE, IMPEDIR EL TRANSITO EN EL LAPSO DE PENETRACION Y CURADO

## SLURRY SEAL

### OBJETIVOS

- 1.- IMPERMEABILIZAR LA SUPERFICIE
- 2.- RELLENAR GRIETAS Y HUECOS DE DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS
- 3.- MEJORAR LA TEXTURA DE CARPETAS ANTIGUAS
- 4.- MEJORAR LA APARIENCIA DE LA SUPERFICIE

### PROPORCION DE ASFALTO Y AGREGADOS

MATERIAL PETREO	100 KG
EMULSION ASFALTICA	15 - 30 LT
AGUA	10 - 15 LT

### GRANULOMETRICA TIPICA (NSSA)

MALLA	POR CIENTO QUE PASA %
N° 8	100
N° 16	55-85
N° 30	35-60
N° 50	20-45
N°100	10-30
N°200	5-15

### CUIDADOS

- 1.- LIMPIEZA Y TRATAMIENTO DE GRIETAS DE LA SUPERFICIE
- 2.- TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE MAYOR DE 25°C Y SUSPENDER SI AMENAZA LLUVIA
- 3.- HUMEDECER LA SUPERFICIE Y APLICAR UN RIEGO DE LIGA SOBRE CARPETAS RESECAS Y ENVEJECIDAS (EMULSION DILUIDA A 1.3, 0.2 A 0.4 LT/M<sup>2</sup>)
- 5.- DEJAR CURAR HASTA QUE ADQUIERA FIRMEZA Y COMPACTAR CON ROLLO NEUMATICO. A CONTINUACION PODRA PERMITIRSE EL TRANSITO.

## CARPETAS DE RIEGOS Y RIEGOS DE SELLO

### OBJETIVOS

- 1.- IMPERMEABILIZAR LA SUPERFICIE
- 2.- MEJORAR LA TEXTURA DE CARPETAS ANTIGUAS
- 3.- MEJORAR LA APARIENCIA DE LA SUPERFICIE

### PROPORCION DE ASFALTO Y AGREGADOS

- 1.- EL VOLUMEN DE VACIOS ENTRE LOS AGREGADOS RECIEN COLOCADOS ES DEL ORDEN DE 50%, DESPUES DE COMPACTAR SE REDUCE A 30% Y EL TRANSITO LO REDUCE A 20%
- 2.- CON EL TIEMPO LOS AGREGADOS SE ACOMODAN SEGUN SU FORMA (MINIMA DIMENSION PROMEDIO)
- 3.- EL ASFALTO UTILIZADO DEBE OCUPAR EL 70% DEL VOLUMEN DE VACIOS FINAL O EL 60% CUANDO EL TRANSITO ES INTENSO
- 4.- EL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO DEBE SER DE 1.27 A 0.63 CM ( $\frac{1}{2}$  A  $\frac{1}{4}$  PULG) CON RELACION 2:1 ENTRE TAMAÑOS MAXIMO Y MINIMO
- 5.- VER PROCEDIMIENTO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO. (MS-13)

### FORMULAS

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1) $S = 7.985 \text{ GM } H_1 \text{ E}$ | 3) $S = 0.0272 \text{ MW}$   |
| 2) $A = 2T H_1 + V$                      | 4) $A = 5.08 \text{ MT} + V$ |
| $S, \text{ KG/M}^2$                      | $W, \text{ KG/M}^3$          |
| $H_1, \text{ CM}$                        |                              |
| $A, \text{ LT/M}^2$                      |                              |
| $V, \text{ LT/M}^2$                      |                              |

$$5) \quad SM = \frac{0.06 \quad G_T}{WR} \quad \begin{array}{l} SM, \text{ KM/HR} \\ GT, \text{ LT/MIN} \end{array}$$

$$6) \quad L = \frac{T}{WR} \quad \begin{array}{l} W, \text{ M} \\ R, \text{ LT/M}^2 \\ L, \text{ M} \\ T, \text{ LT} \end{array}$$

### CUIDADOS

- 1.- REPARACION DE DETERIOROS Y LIMPIEZA
- 2.- ADECUADO MANEJO DE MATERIALES Y EQUIPO
- 3.- COMPACTAR CON RODILLO NEUMATICO Y BARRER PARA ELIMINAR EL -  
AGREGADO SUELO
- 4.- CONTROL DE TRANSITO

# CARPETAS DE MEZCLA ASFALTICA ELA BORADAS EN PLANTA O EN EL LUGAR

## OBJETIVOS

- 1.- RENIVELAR Y SUSTITUCION DE CARPETA EN BACHEOS
- 2.- IMPERMEABILIZAR
- 3.- MEJORAR LAS CARACTERISTICAS DE RUGOSIDAD, RESISTENCIA AL DE  
RRAPAMIENTO, APARIENCIA
- 4.- PROLONGAR LA VIDA DE UN PAVIMENTO, Y AUMENTAR SU CAPACIDAD  
ESTRUCTURAL A BAJO COSTO
- 5.- REPARACIONES URGENTES

## PROPORCION DE ASFALTO Y AGREGADOS

### FORMULAS

SCT  $A = 0.20 a + 0.045b + cd$

A = CONTENIDO DE ASFALTO, PORCIENTO EN PESO DEL AGREGADO

a = PORCENTAJE RETENIDO EN MALLA 10.

b = PORCENTAJE QUE PASA MALLA 10 Y ES RETENIDO EN LA MALLA  
200

c = PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200

d = FACTOR QUE DEPENDE DE LA ABSORCION DE LOS AGREGADOS --  
(0.15 - 0.35)

INSTITUTO DEL ASFALTO  $P = 0.02 A + 0.07b + 0.15c + 0.20d$

P = CONTENIDO DE ASFALTO, PORCIENTO EN PESO DEL AGREGADO

a = PORCENTAJE RETENIDO EN MALLA 50

b = PORCENTAJE QUE PASA MALLA 50 Y SE RETIENE EN LA 100

c = PORCENTAJE QUE PASA MALLA 100 Y SE RETIENE EN LA 200

d = PORCENTAJE QUE PASA MALLA 200

METODO CKE

PROPORCIONAMIENTO SEGUN RESULTADOS DE PRUEBAS  
MARSHALL, HVEEM, HUBBARFIELD, ETC.

VIGILAR:

ESTABILIDAD  
DURABILIDAD  
FLEXIBILIDAD  
RESISTENCIA A FATIGA  
IMPERMEABILIDAD  
TRABAJABILIDAD

CUIDADOS

VIGILAR TEMPERATURAS DE AGREGADOS, ASFALTO Y MEZCLA CONDI--  
CIONES AMBIENTALES  
DOSIFICACION DE ASFALTO Y SU CORRECTA MEZCLA CON AGREGADOS  
CALIDAD DE AGREGADOS  
COMPACTACION Y ACABADO FINAL

CASOS EN QUE PUEDE RECOMENDARSE LAS  
SOBRECARPETAS CON EXITO.

- 1.- PARA CORREGIR FALLAS FUNCIONALES
- 2.- PARA REFORZAR UN PAVIMENTO ESTRUCTURALMENTE ADECUADO,  
QUE DEBE ADECUARSE PARA UN VOLUMEN DE TRANSITO MAYOR.  
PUEDE CONSIDERARSE CONSTRUCCION POR ETAPAS.
- 3.- PARA REFORZAR UN PAVIMENTO CON PROBLEMAS ESTRUCTURALES  
EN LA BASE O CARPETA.
- 4.- PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS DE FATIGA
- 5.- PARA REHABILITAR CARPETAS ENVEJECIDAS.
- 6.- EN CASOS DE SOLUCIONES TEMPORALES.

## PRINCIPALES ACTIVIDADES

- 1.- COLOCACION DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRANSITO
- 2.- LIMPIEZA DEL AREA
- 3.- EJECUCION DE CORTES
- 4.- REMOCION DE MATERIALES Y TRATAMIENTO DE LA ZONA DESCUBIERTA
- 5.- RIEGOS ASFALTICOS DE IMPREGNACION Y/O LIGA, CALAFATEO DE --  
GRIETAS
- 6.- RIEGOS DE AGREGADOS O COLOCACION DE MEZCLAS ASFALTICAS
- 7.- COMPACTACION, BARRIDO, ETC.
- 8.- VIGILANCIA DEL ACABADO
- 9.- RETIRO DE DISPOSITIVOS Y REANUDACION DEL TRANSITO

## REHABILITACION

### - FINALIDAD:

- 1.- CORREGIR LOS DETERIOROS EXISTENTES EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.
- 2.- PREVENIR DETERIOROS FUTUROS EN EL PAVIMENTO.
- 3.- ADAPTACION A NECESIDADES DEL TRANSITO FUTURO.

### - PROCEDIMIENTOS MAS GENERALES

- 1.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.
- 2.- SOBRECARPETAS ( ASFALTICAS, CONCRETO HIDRAULICO, BASE HIDRAULICA Y CARPETA)
- 3.- AMPLIACIONES
- 4.- OBRAS DE DRENAJE.

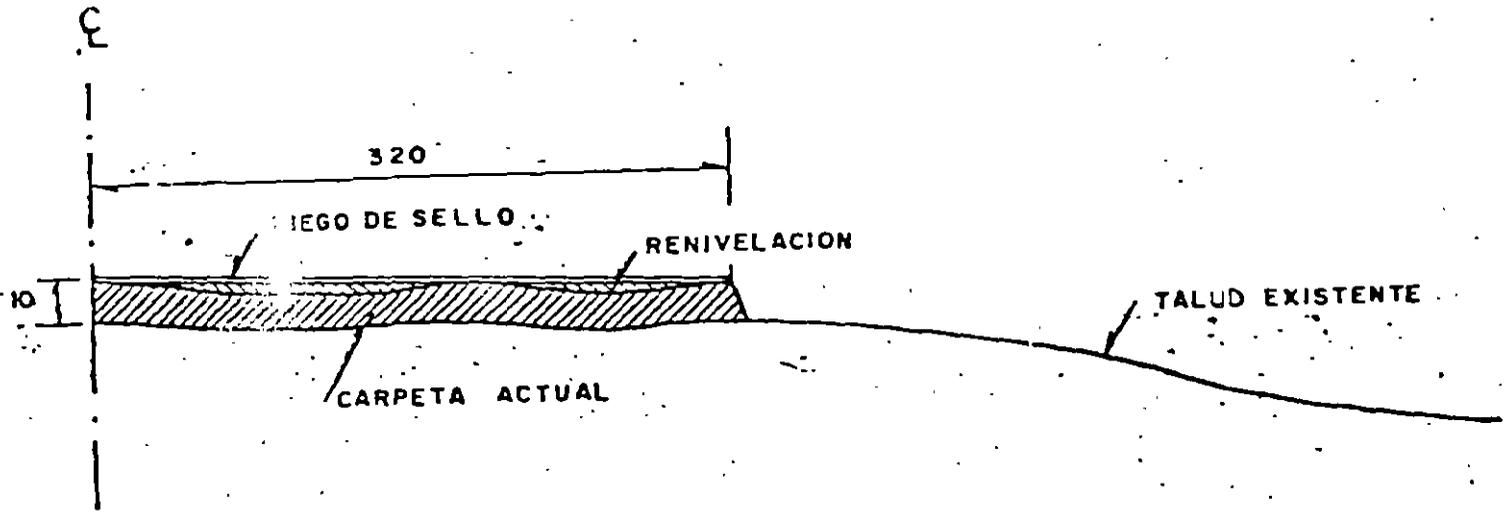
### - FUNCION

- 1.- PROPORCIONAR UNA ADECUADA CALIDAD DE RODAMIENTO.
- 2.- PROPORCIONAR LA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO NECESARIA.
- 3.- PROPORCIONAR LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL ADECUADA PARA SOPORTAR EL TRANSITO FUTURO.
- 4.- MEJORAR LAS CONDICIONES GEOMETRICAS DEL CAMINO.

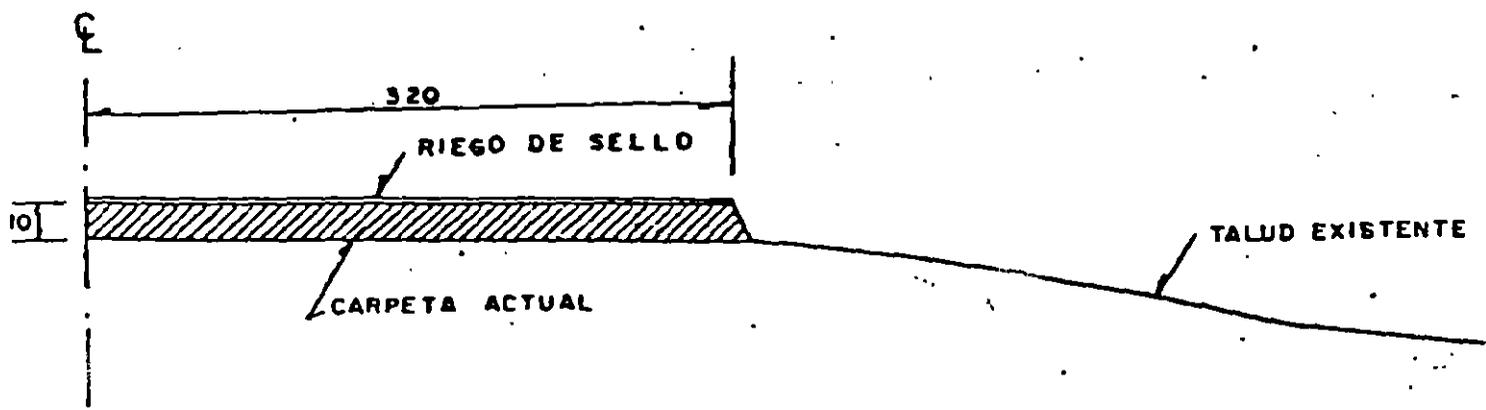
### - CARACTERISTICAS

- ADECUADA
- OPORTUNA

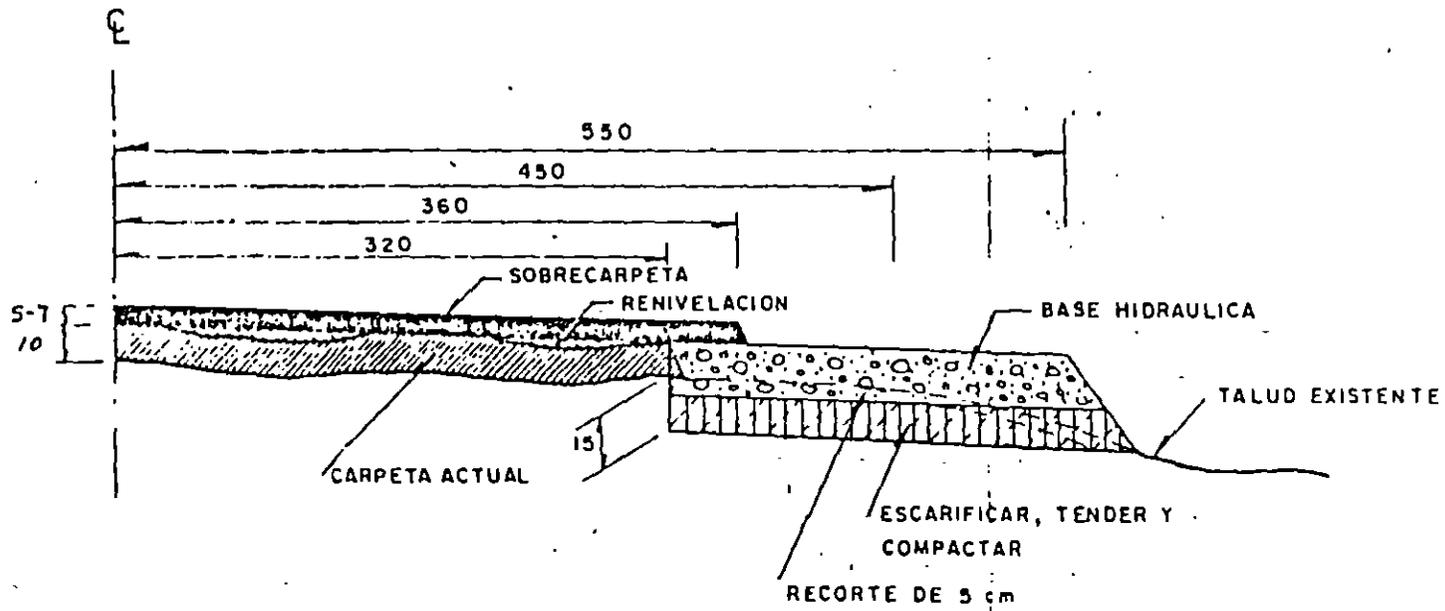
# SECCION II



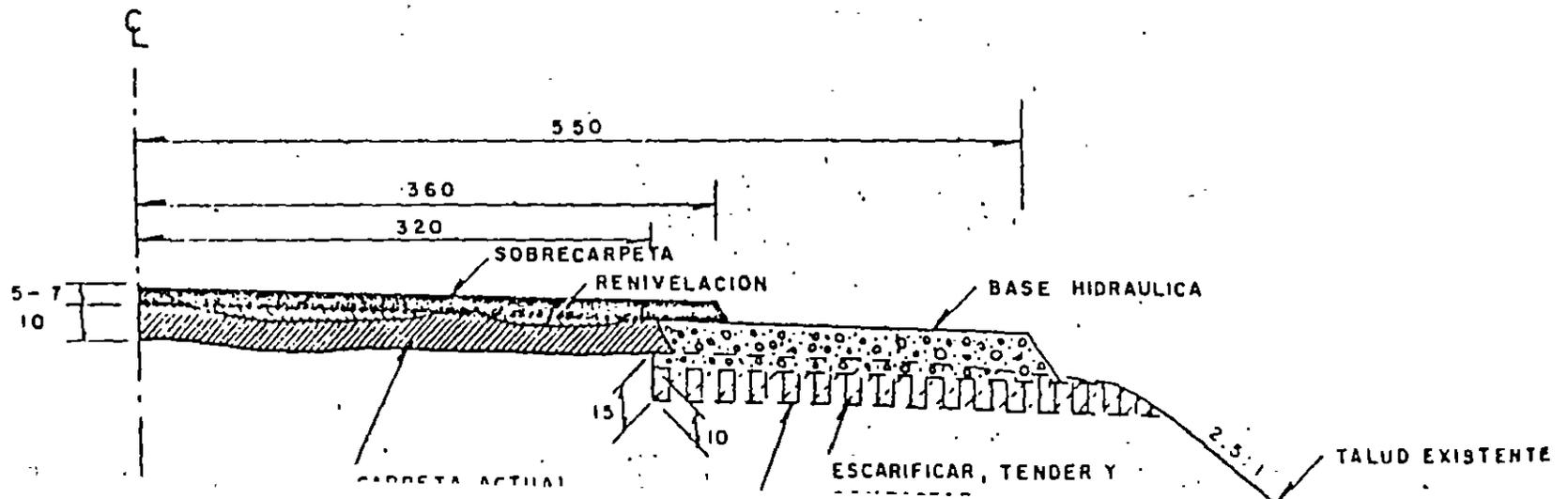
# SECCION III



SECCION II



SECCION III



156

PROCEDIMIENTO I

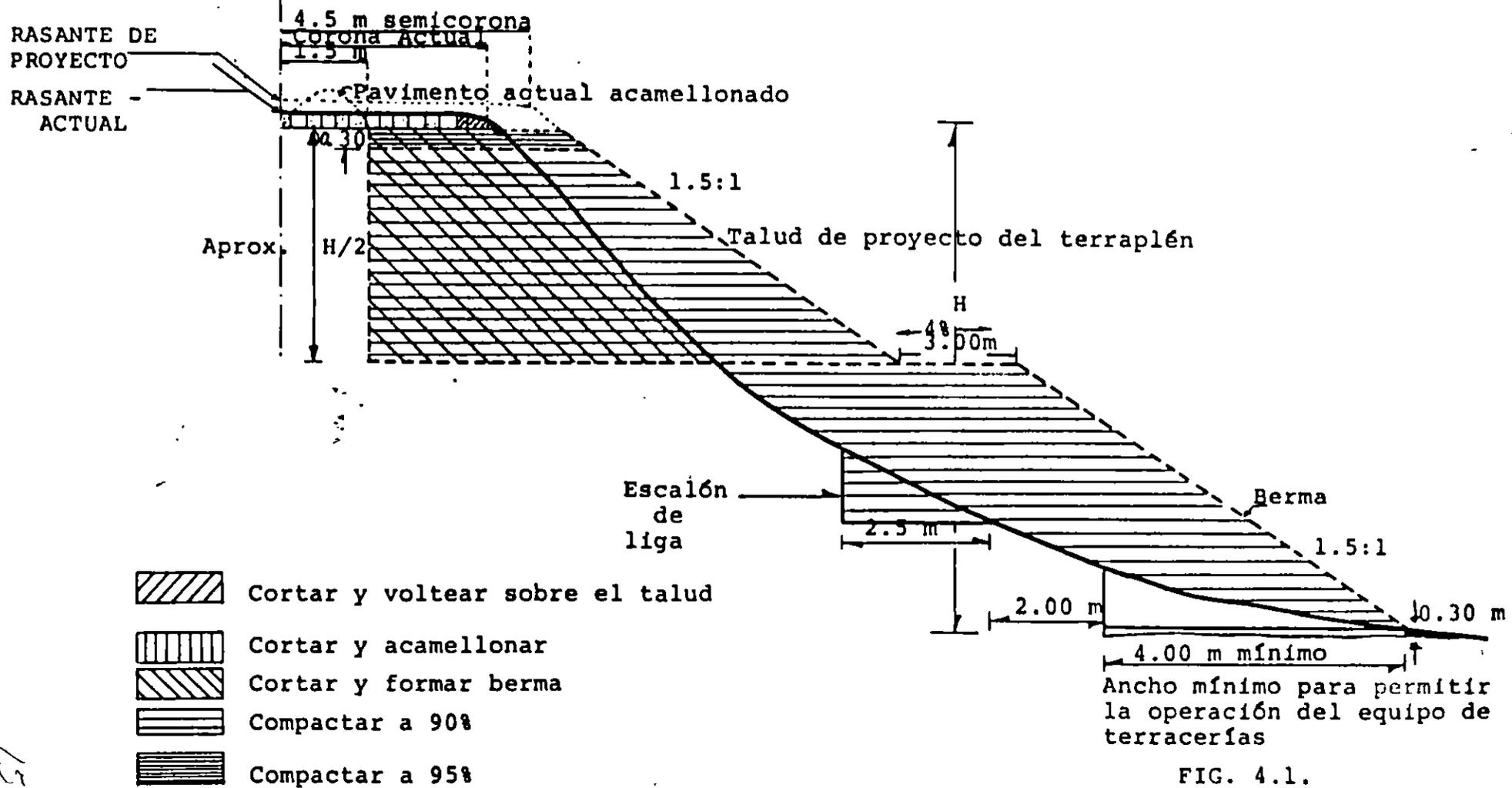


FIG. 4.1.

GEOSOL S.A.

152

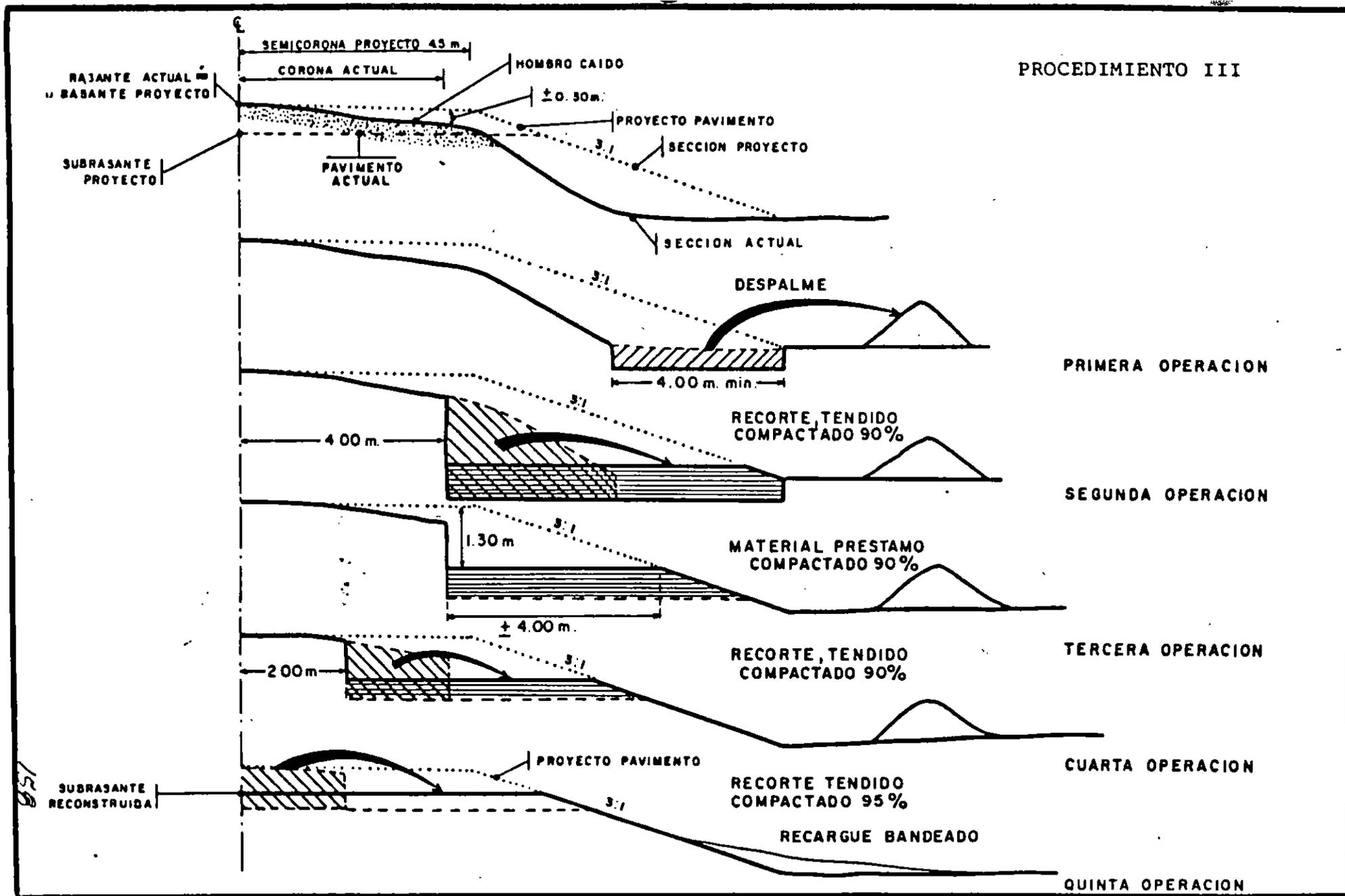


FIG. 43

ALGUNAS RELACIONES DE DETERIORO Y RESISTENCIA  
PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

<p>DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN</p> <p>BASES GRANULARES</p> <p><math>SNC = 3.48 DEF^{-0.311}</math></p>
<p>AGRIETAMIENTOS</p> <p><math>TCR = 4.21 \exp(0.139 SNC - 17.1 YE / SNC^2)</math></p>
<p>RUGOSIDAD</p> <p><math>RI(t) = \{RI_0 + 725(1 + SNC)^{-5} NE(t)\} e^{0.0153 t}</math></p>

EN DONDE :

SNC = NUMERO ESTRUCTURAL MODIFICADO

$$= 0.04 \sum a_i h_i + SN_{sg}$$

$a_i$  = COEFICIENTE DE RESISTENCIA POR CAPA

$h_i$  = ESPESOR DE CADA CAPA, mm

$SN_{sg}$  = CONTRIBUCION DE LA SUBRASANTE

$$= 3.51 \log CBR - 0.85 (\log CBR)^2 - 1.43$$

CBR = VALOR RELATIVO SOPORTE DE LA SUBRASANTE, %

DEF = DEFLEXION MEDIDA CON VIGA BENKELMAN, mm

TCR = LAPSO ESPERADO PARA LA APARICION DE  
AGRIETAMIENTOS, mm

YE = EJES ACUMULADOS ANUALES, MILLONES DE  
EJES EQUIVALENTES / CARRIL / AÑO

$RI(t)$  = RUGOSIDAD DESPUES DE t AÑOS, m/k m IRI

$RI_0$  = RUGOSIDAD INICIAL, m/k m IRI

$NE(t)$  = EJES ACUMULADOS EN EL LAPSO t, MILLONES  
DE EJES EQUIVALENTES

t = TIEMPO TRANSCURRIDO EN AÑOS

160

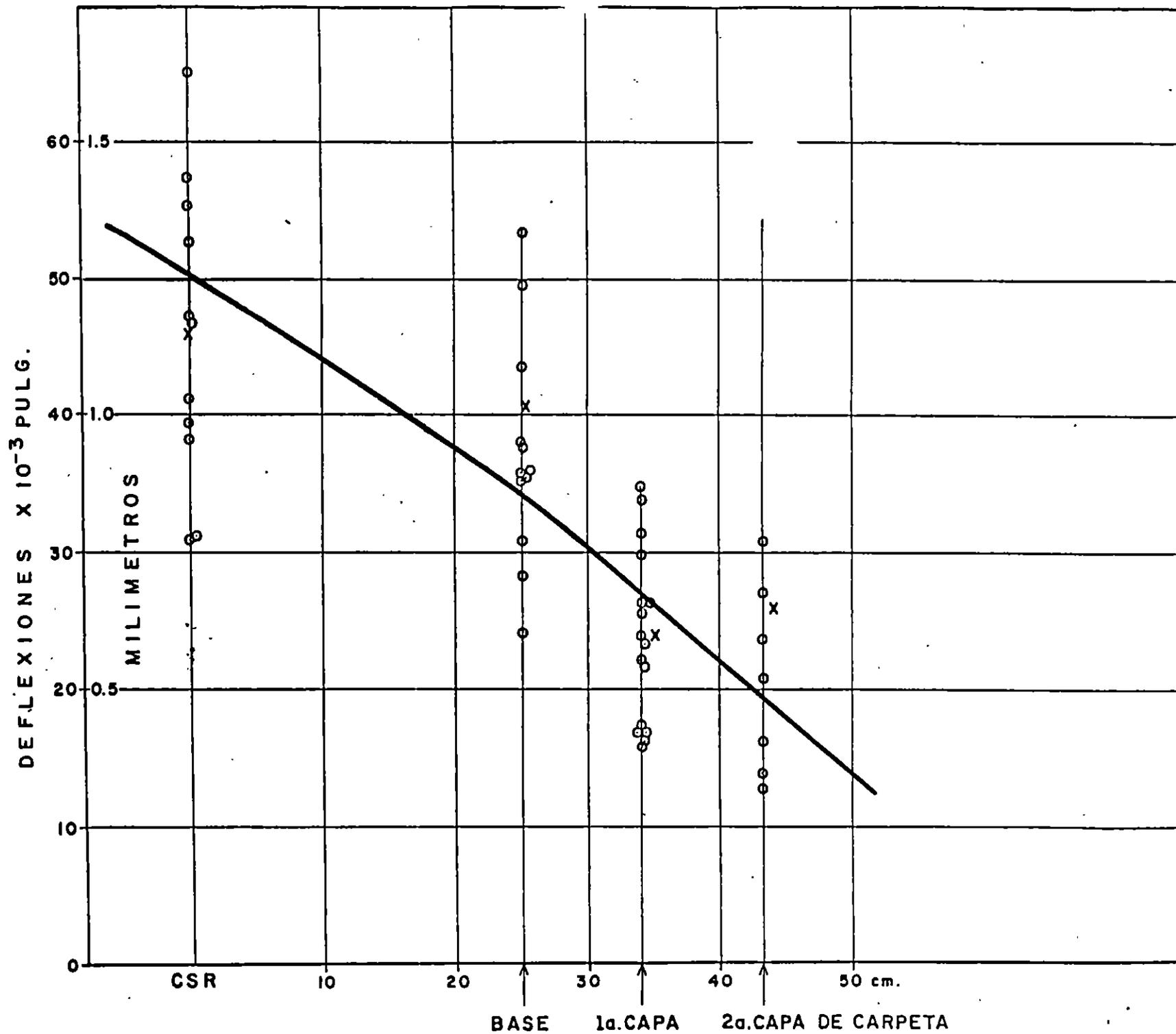


FIG. 5.- VARIACION DE LAS DEFLEXIONES DURANTE LA CONSTRUCCION

## PRACTICAS DE CONSTRUCCION

- 1.- LIMITES Y TOLERANCIAS  
ESPEORES  
PROPIEDADES DE MATERIALES  
CONTENIDOS DE ASFALTO O CEMENTO  
INDICE DE RUGOSIDAD INICIAL  
CONDICIONES CLIMATOLOGICAS
- 2.- MANEJO DEL TRANSITO
- 3.- FUENTES DE MATERIALES
- 4.- SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

MAPA DE LA RED FEDERAL DE CARRETERAS  
DE LA REPUBLICA MEXICANA



162

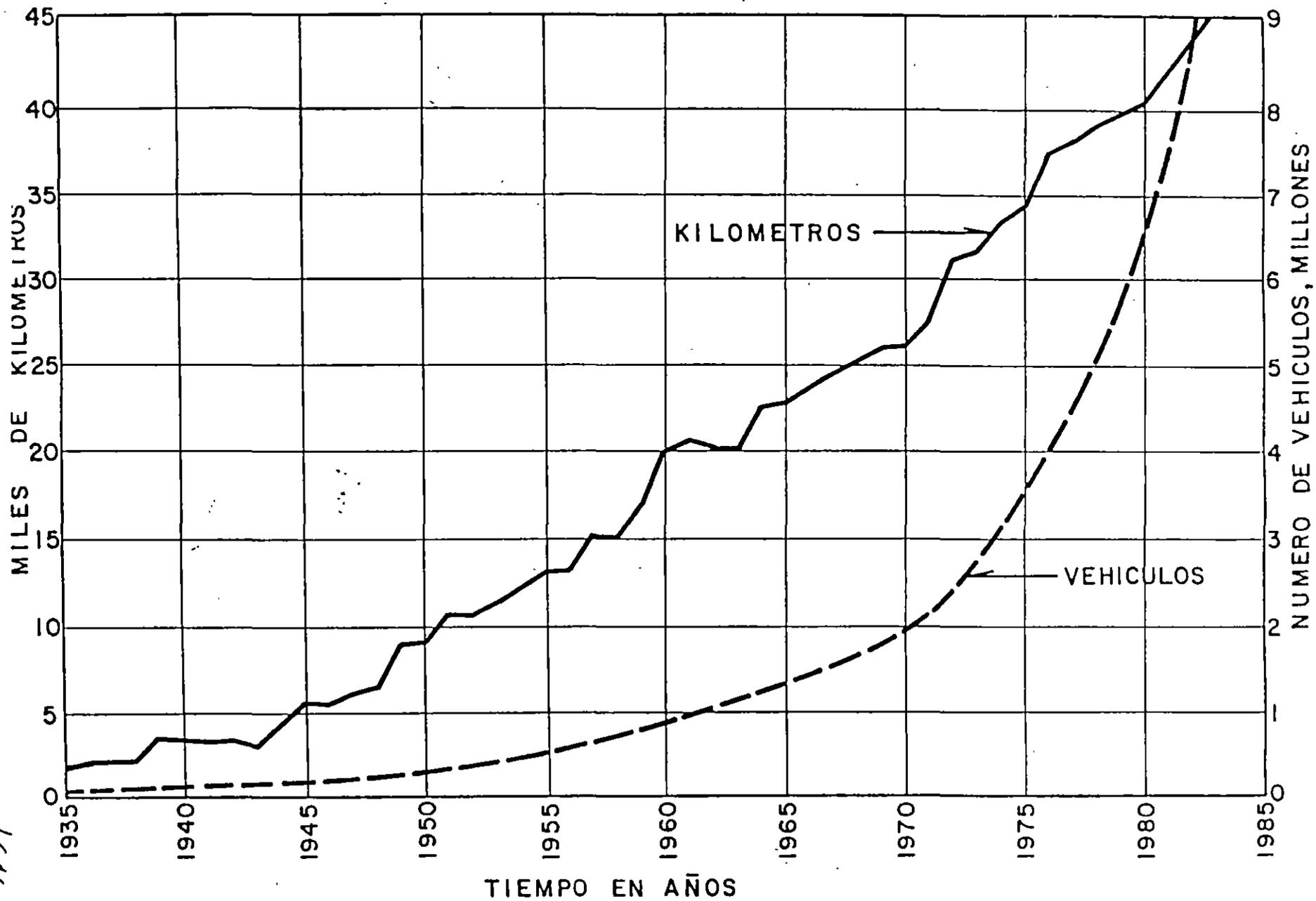
ESTADO DE LA RED

25% DE LA RED EN PESIMAS O MALAS CONDICIONES

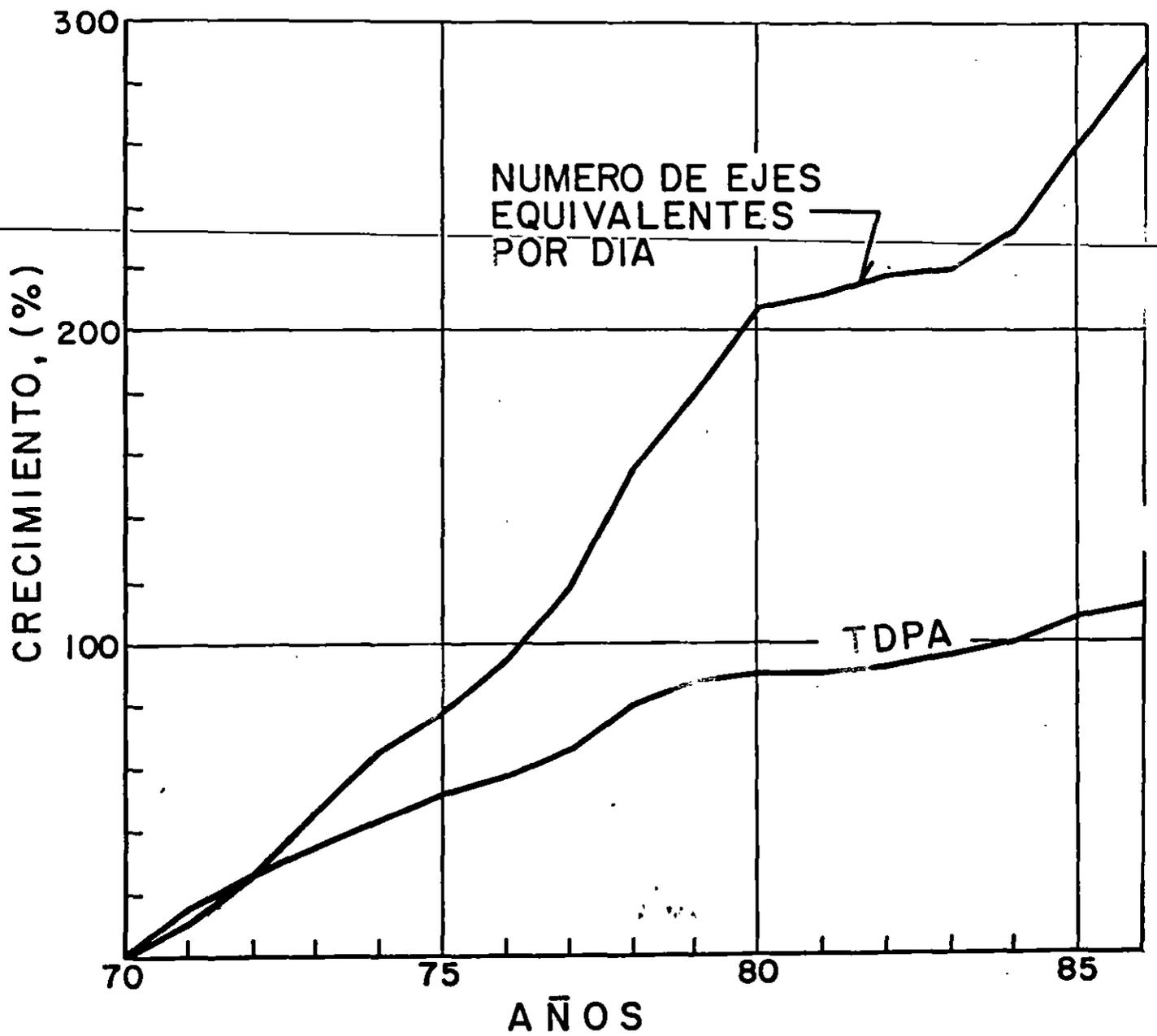
25% EN CONDICIONES REGULARES

25% EN BUENAS CONDICIONES

# CRECIMIENTO DE LA RED FEDERAL DE CARRETERAS Y DEL NUMERO DE VEHICULOS



491



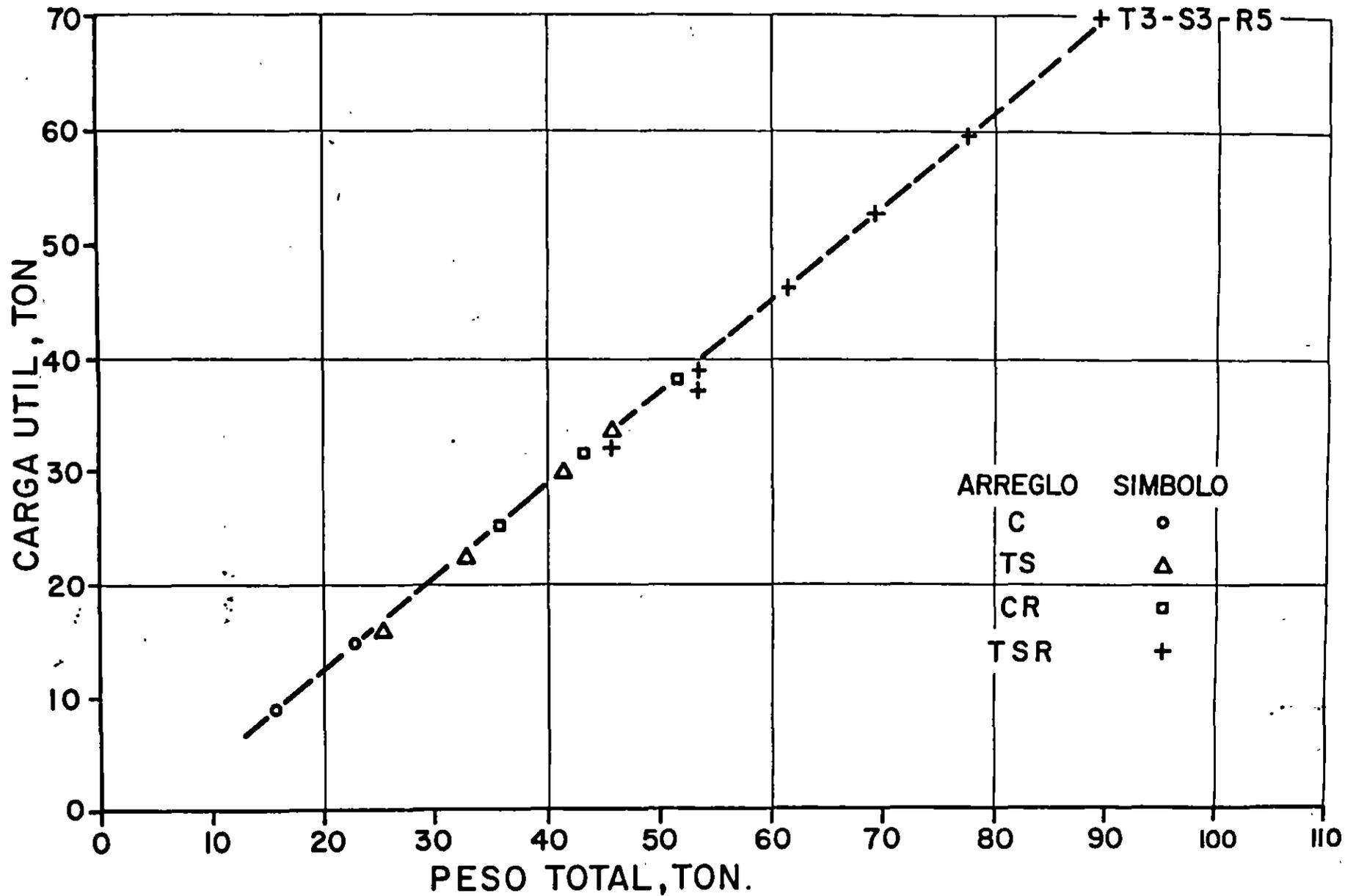
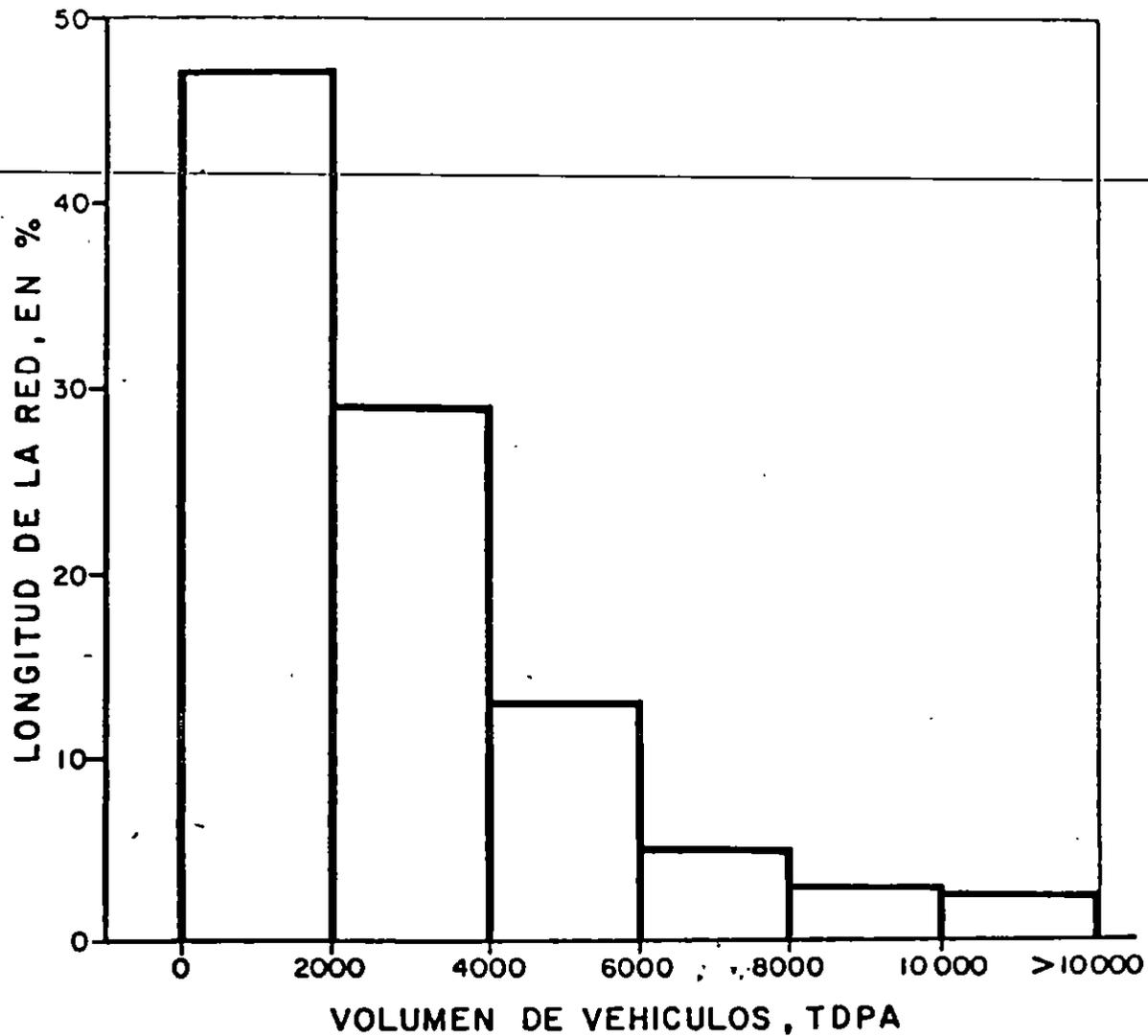


FIG 2.- RELACION ENTRE CARGA UTIL Y PESO TOTAL DE LOS VEHICULOS QUE CIRCULAN POR LOS CAMINOS TIPO A DE LA RED NACIONAL

166



**FEDERAL**

**OCUPACION DE LA RED EN FUNCION DEL  
TRANSITO, EXPRESADO COMO TDPA**

**LONGITUD DE LA RED = 40 000 km**

RED ACTUAL [6.6 x 10<sup>6</sup> VEHICULOS, 25% PESADOS]

1 000 KM. AUTOPISTAS

43 000 KM. CARRETERAS FEDERALES

43 000 KM. CARRETERAS ESTATALES

85 000 KM. CAMINOS RURALES

43 000 KM. BRECHAS MEJORADAS

215 000 KM.

= 68 000 KM. PAVIMENTADOS, 300 x 10<sup>6</sup> TON. [76%]  
1950 x 10<sup>6</sup> PASAJEROS [97%].

REQUERIMIENTOS DE LA RED CARRETERA NACIONAL  
PARA FIN DE SIGLO. (25 x 10<sup>6</sup> VEHICULOS)

~~15 500 KM, CARRETERAS ALTAS ESPECIFICACIONES~~

96 000 KM, CARRETERAS ESPECIFICACIONES NORMALES,  
DOS CARRILES.

50 000 KM, CAMINOS REVESTIDOS

125 000 KM, CAMINOS VECINALES

76 000 KM, BRECHAS MEJORADAS  
362 500 KM.

# NECESIDADES

1.— MANTENIMIENTO

2.— REHABILITACION Y RECONSTRUCCION

3.— MODERNIZACION

4.— EXPANSION DE LA RED

## PROBLEMATICA ACTUAL

- 
- 1.- INFLACION
  - 2.- MAYOR COSTO DE ENERGETICOS
  - 3.- MAYOR COSTO DE UNIDADES Y REFACCION'
  - 4.- INSUFICIENCIA DE RECURSOS FINANCIEROS  
PARA MANTENIMIENTO, RECONSTRUCCION,  
MODERNIZACION Y EXPANSION

## PROBLEMAS DE LAS CARRETERAS NACIONALES

1. PAVIMENTOS ANTIGUOS, QUE HAN LLEGADO AL FIN DE SU VIDA UTIL.
- 2.- DISEÑOS INADECUADOS, EN CUANTO A ESPESORES Y CALIDAD DE MATERIALES.
- 3.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y DE CONTROL DE CALIDAD INADECUADOS.
- 4.- INCREMENTO SUSTANCIAL DEL TRANSITO, EN VOLUMEN Y MAGNITUD - DE CARGAS
- 5.- CONSERVACION INADECUADA.
- 6.- NECESIDAD DE UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE RECURSOS.

## PRINCIPALES PROBLEMAS

- 1.- DISPONIBILIDAD INCOMPLETA DE INFORMACION BASICA, Y EN OCA--  
SIONES ESCASA CONFIABILIDAD DE LOS DATOS
  - 2.- PROCESO INCOMPLETO DE IDENTIFICACION Y FORMULACION DE PRO--  
YECTOS
- 
- 3.- CARENCIA DE MARCO DE REFERENCIA PARA LA DETERMINACION DE TE--  
CHOS FINANCIEROS
  - 4.- FALTA DE CONTINUIDAD EN LA ESTRUCTURACION DE PROGRAMAS
  - 5.- POCA EFECTIVIDAD DE LOS MECANISMOS DE RETROALIMENTACION Y -  
REVISION SISTEMATICA
  - 6.- ESCASA VINCULACION CON LA TOMA DE DECISIONES
  - 7.- FALTA DE PERSONAL CAPACITADO
  - 8.- EXCESIVOS REQUERIMIENTOS DE CARACTER RUTINARIO QUE OBSTACU--  
LIZAN LA ATENCION DE ASUNTOS DE IMPORTANCIA ESTRATEGICA.

# PROBLEMAS DE LAS CARRETERAS NACIONALES

- 1.- PAVIMENTOS ANTIGUOS, QUE HAN LLEGADO AL FIN DE SU VIDA UTIL .
- 2.- DISEÑOS INADECUADOS, EN CUANTO A ESPESORES Y CALIDAD DE MATERIALES.
- 3.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y DE CONTROL DE CALIDAD INADECUADOS.
- 4.- INCREMENTO SUSTANCIAL DEL TRANSITO, EN VOLUMEN Y MAGNITUD DE CARGAS.
- 5.- CONSERVACION INADECUADA .
- 6.- NECESIDAD DE UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE RECURSOS.

## SOLUCIONES

---

- INVESTIGACION DE NUEVAS TECNICA DE PROYECTO, CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO.
- CONOCIMIENTO DE COMPORTAMIENTO DE MATERIALES Y USO DE NUEVOS PRODUCTOS.
- MEJORAR LAS HERRAMIENTAS MATEMATICAS Y TECNICAS DE INVESTIGACION DE COMPORTAMIENTO.

## RECOMENDACIONES

### ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS.

- 1.- IMPLANTACION DE TECNICAS MAS AVANZADAS DE EVALUACION Y PREDICCION DE COMPORTAMIENTO.
- 2.- MEJOR CONOCIMIENTO DE COMPORTAMIENTO DE MATERIALES CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES.
- 3.- MEJORAMIENTO EN LA TECNOLOGIA DE CONSTRUCCION
- 4.- MEJORAMIENTO EN EL CONTROL DE CALIDAD.
- 5.- INFORMACION, BANCO DE DATOS, MANEJO ESTADISTICO.

# TEMAS DE INVESTIGACION

1.- CONTAMINACION DEL AIRE

2.- COSTOS Y CONSUMOS DE ENERGIA

~~3.- OPTIMIZACION DE EQUIPOS, ANALISIS DE RENDIMIENTOS~~

4.- DESARROLLO DE AGENTES REJUVENECEDORES

5.- DEFINICION DE PROCEDIMIENTOS APROPIADOS DE CONTROL DE CALIDAD

6.- PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO SOBRE TECNICAS DE CONSTRUCCION

7.- RELACION DE LOS METODOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION CON LAS TECNICAS DE CONSERVACION

8.- EMPLEO DE NUEVOS MATERIALES Y PRODUCTOS



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DEPARTAMENTO DE CURSOS INSTITUCIONALES**

**DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL**

**Dirección General de Obras Públicas**

**4-15 de Septiembre de 1995**

**- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS -**

**Material Complementario**

PROFUNDIDAD MINIMA DE LAS CEPAS PARA ALOJAR  
TUBERIAS DE AGUA POTABLE Y DRENAJE.

AGUA POTABLE		DRENAJE	
DIAMETRO (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (m)	PROF. (m)
0.025	0.7	0.20	1.5
0.051	0.7	0.30	1.5-2.5
0.063	1.0	0.38	2.0-3.0
0.076	1.0	0.45	2.5-3.5
0.101	1.0	0.60	2.5-3.5
0.152	1.1	0.76	2.5-3.5
0.203	1.15	0.91	2.5-3.5
0.254	1.20	1.07	2.5-3.5
0.305	1.25	1.22	2.5-4.0
0.355	1.30	1.52	4.0-6.0
0.406	1.40	1.83	4.0-8.0
0.457	1.45	2.13	4.5-8.0
0.506	1.50	2.44	5.0-9.0
0.609	1.65	3.15	5.0-7.0
0.762	1.85	3.50	6.0-8.0
0.914	2.20		

LAS VIALIDADES CUBREN DEL 25 AL 30% DEL AREA URBANA.

TIPO DE VIA	ESPACIAMIENTO KM	PORCIENTO DE LA LONGITUD TOTAL.
AUTOPISTAS Y ARTERIAS PRINCIPALES	1.5	5
ARTERIAS	1.5-5.0	20
CALLES COLECTORAS	0.5-1.0	15
CALLES LOCALES	0.1	<u>60</u>
		100

EJE ACUMULADOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN 10 AÑOS, CARRIL DE DISEÑO.

TIPO I.-	$\geq 10^7$
TIPO II.-	$10^6 - 10^7$
TIPO III.-	$< 10^6$

CLASIFICACION DEL SISTEMA VIAL URBANO.

SUBSISTEMA PRIMARIO	AUTOPISTAS	A NIVEL ELEVADAS O VIADUCTOS INFERIORES.
	ARTERIAS PRINCIPALES	
	ARTERIAS	
SECUNDARIO	CALLES COLECTORAS	
	CALLES LOCALES	
	CICLOPISTAS	
	CALLES PEATONALES	
AREAS DE TRANSFERENCIA	ESTACIONAMIENTOS	
	TERMINALES	URBANAS SUBURBANAS FORANEAS
	ESTACIONES	
VIAS	VIAS DE TRANVIA	
	VIAS DE FERROCARRIL METROPOLITANO (METRO	
	VIAS DE FERROCARRIL SUBURBANO	
	VIAS DE FERROCARRIL REGIONAL	

SUBSISTEMA PRIMARIO

Define la estructura general de la ciudad  
Comunica las zonas que forman la ciudad  
Maneja elevados volúmenes de tránsito  
Facilita largos recorridos  
Enlaza la Ciudad con la red de carreteras

SUBSISTEMA SECUNDARIO

Conecta el tránsito general por las propiedades colindantes con el sistema primario.  
Desplazamientos cortos  
Bajo volumen de tránsito.

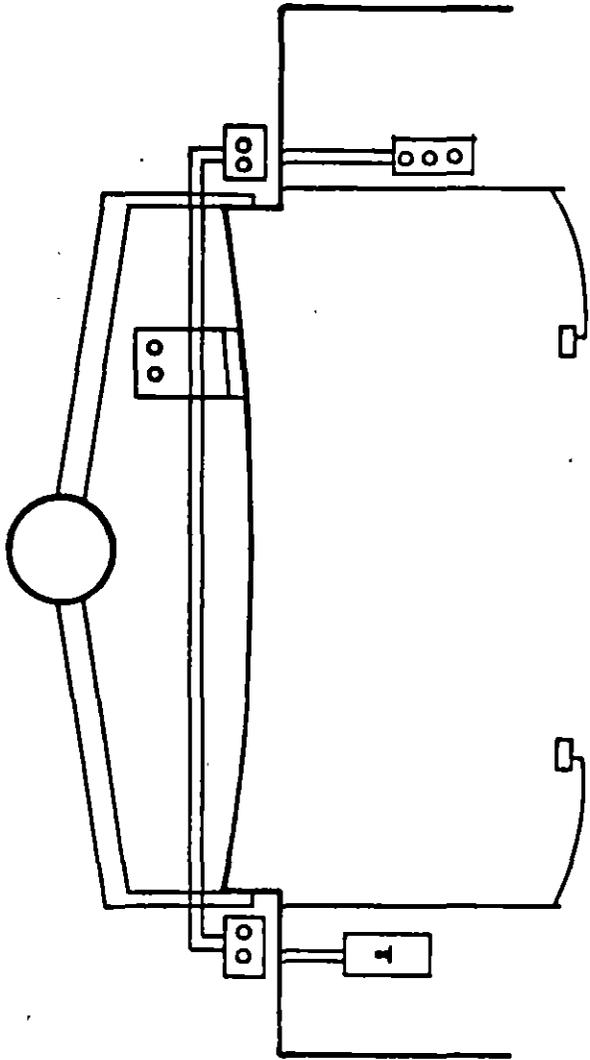
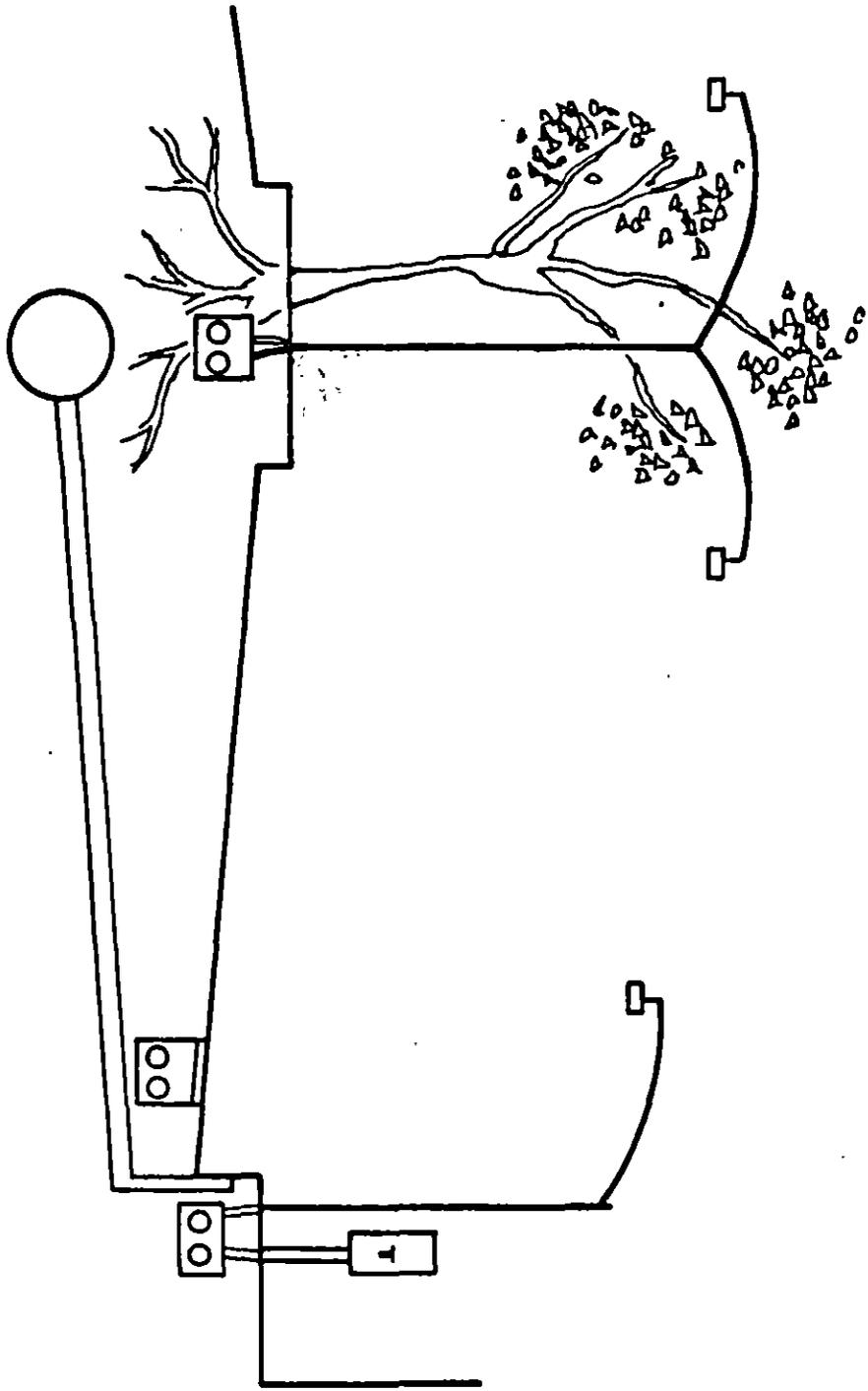
AREAS DE TRANSFERENCIA

Se realiza un cambio de medio de transporte.  
Se alojan fuera de la vía pública.

VIAS FERREAS

Requieren derecho de vía  
Requieren elementos de conexión con otros medios de transporte  
Requieren dispositivos de control en las intersecciones con otros subsistemas, o pasos a desnivel.

5



## CARACTERISTICAS DE LOS PAVIMENTOS URBANOS

- FORMAN UNA EXTENSA RED EN UNA ZONA LIMITADA
- DIFERENCIAS EN USO, CARGAS, NECESIDADES ETC.
- LIMITACIONES GEOMETRICAS (ANCHO, RASANTES, OBSTACULOS)
- INSTALACIONES SUBTERRANEAS
- PRESIONES ECONOMICAS, POLITICAS, SOCIALES

Losas de Concreto     †	Agregados	Granulometría Equivalente de arena Dureza Reacción con álcalis
	Cemento Portland	Finura Sanidad Resistencia a la tensión
	Aditivos	Pruebas de verificación
	Concreto fresco	Revenimiento Peso volumétrico
	Concreto endurecido	Peso volumétrico Resistencia en cilindros o en vigas

Acabado	Rugosidad o grado de uniformidad superficial Textura	Regla de 3m, perfilógrafos Coeficiente de fricción
---------	---	--

Carpetas	Agregado pétreo  Productos asfálticos  Mezcla	Granulometría límites desgaste forma de partícula  Adherencia viscosidad penetración  Contenido asfalto y granulometría Peso volumétrico
----------	---	---

6

Bases tratadas	Adicionalmente a las ya indicadas, aparece la necesidad de determinar el contenido del aglutinante utilizado, cemento, asfalto, cal, etc.	Generalmente la resistencia se determina con otro tipo de pruebas, como compresión simple, Marshall, etc.
----------------	---	---

<p>Subbase y base no tratadas</p>	<p>Propiedades índice</p> <p>Resistencia</p> <p>Nivel de compactación</p> <p>Geometría, pendientes y niveles</p>	<p>Granulometría y Límites de plasticidad</p> <p>CBR</p> <p>Determinación in situ del grado de compactación</p> <p>Medición directa</p>
-----------------------------------	--	---



D. - CARPETA ASFALTICA

GRANULOMETRIA

DOS POR TURNO Y POR TIPO DE AGREGADO - DURANTE LA PRODUCCION

- A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS
- B) CUALQUIER DESVIACION DE LAS ESPECIFICACIONES
- C) RANGO DE RESULTADOS PARA EL TAMAÑO MAXIMO, PORCENTAJE MENOR DE 4.8 MM, 1.2 MM Y 0.074 MM.
- D) PARA C, VALOR PROMEDIO, DESVIACION ESTANDAR Y PORCENTAJE DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS.

DESGASTE SANIDAD

DOS INICIALMENTE Y UNO POR CADA CAMBIO DE MATERIAL

- A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS.
- B) CUALQUIER DESVIACION DE LAS ESPECIFICACIONES.
- C) RANGO DE RESULTADOS.

CALIDAD DE ASFALTO

UNO POR CADA REMISION A LA PLANTA

- A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS.
- B) CUALQUIER DESVIACION DE LAS ESPECIFICACIONES
- C) RANGO DE RESULTADOS.
- D) ORIGEN DEL CRUDO, REFINERIA, TRANSPORTISTA.

PRUEBAS MARSHALL:  
RESISTENCIA  
VACIOS  
PESO VOLUMETRICO  
CONTENIDO DE ASFALTO(POR EXTRACCION)

UNA POR DIA Y POR MEZCLA

- A) RANGO DE RESULTADOS
- B) BALORES MEDIOS
- C) DESVIACION ESTANDAR
- D) PORCENTAJE DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS.

PESO VOLUMETRICO DE CADA CAPA

UNO POR 2000 M<sup>2</sup> POR CAPA, CON UN MINIMO DE 3 PARA UN PAVIMENTO DADO.

- A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS.
- B) DISTRIBUCION ESTADISTICA DEL PESO VOLUMETRICO
- C) VALOR MEDIO
- D) DESVIACION ESTANDAR
- E) PORCENTAJE DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS.

13

PRUEBAS O  
MEDICIONES

FRECUENCIA

RESULTADOS A REPORTAR

C) BASE. LAS MISMAS PRUEBAS  
QUE PARA LA SUBBASE, Y -  
ADEMÁS LAS SIGUIENTES:

DESGASTE SANIDAD

DOS INICIALMENTE Y UNO POR CADA  
CAMBIO DE MATERIAL.

- A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS
- B) CUALQUIER DESVIACION DE LAS  
ESPECIFICACIONES.
- C) RANGO DE RESULTADOS.

11

PRUEBAS O  
MEDICIONES

FRECUENCIA

RESULTADOS A REPORTAR

B.- SUBBASE

ESPESOR

UNA DETERMINACION CADA 2000 M<sup>2</sup> POR  
CADA CAPA

- A) NUMERO DE MEDIDAS EFECTUADAS
- B) VALOR PROMEDIO
- C) DESVIACION ESTANDAR
- D) PORCENTAJE DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS

GRANULOMETRIA Y EQUIVALENTE DE  
ARENA

DOS INICIALMENTE, DESPUES DOS POR -  
PRODUCCION DIARIA O POR 2000 M<sup>2</sup> DE  
CADA CAPA

- A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS
- D) CUALQUIER DESVIACION DE LAS ESPECIFICACIONES.
- C) RANGO DE RESULTADOS PARA EL TRAMAÑO MAXIMO, PORCENTAJE MENOR DE 4.8 MM, 1.2 - MM Y 0.074 MM.
- D) PORCENTAJE DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS

PESO VOLUMETRICO (PROCTOR DE -  
REFERENCIA Y CONTENIDO DE AGUA

DOS POR CADA TIPO DE MATERIAL

- A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS
- B) MAXIMO Y MINIMO DE PESOS VOLUMETRICOS - (PROCTOR) Y CONTENIDO DE AGUA OPTIMO -- PARA CADA MATERIAL.

15  
PESOS VOLUMETRICOS Y CONTENIDO  
DE AGUA, SOBRE EL TRAMO

UNO POR CADA 2000 M<sup>2</sup>, POR CAPA CON  
UN MINIMO DE 3 POR SECCION

- A) DISTRIBUCION ESTADISTICA DEL PESO VOLU-  
METRICO Y CONTENIDO DE AGUA DE CADA MA-  
TERIAL
- B) VALOR MEDIO
- C) DESVIACION ESTANDAR
- D) PORCENTAJE DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS

PRUEBAS O  
MEDICIONES

FRECUENCIA

RESULTADOS A REPORTAR

A. - SUBRASANTE

PESO VOLUMETRICO (PROCTOR PARA REFERENCIA Y CONTENIDO DE AGUA

DOS POR CADA TIPO DE MATERIAL

A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS

B) MAXIMO Y MINIMO DE PESOS VOLUMETRICOS (PROCTOR) Y CONTENIDO DE AGUA OPTIMO PARA CADA MATERIAL.

PESO VOLUMETRICO Y CONTENIDO DE AGUA DE LA SUBRASANTE

UNO A CADA 2000 M2 CON UN MINIMO DE 3 POR SECCION PARA ESPESORES MAYORES DE 1 M, UNO CADA 4000 M2.

A) DISTRIBUCION ESTADISTICA DEL PESO VOLUMETRICO Y CONTENIDO DE AGUA DE CADA MATERIAL

B) VALOR MEDIO

C) DESVIACION ESTANDAR

D) PORCENTAJE DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS

7 /  
CLASIFICACION DEL SUELO

UNA POR CADA TIPO DE MATERIAL, EN EL ULTIMO METRO SUPERFICIAL UNO POR CADA 4000 M2 POR CAPA.

A) NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS.

GEOSOL, S.A.

CARTA DE CONTROL DE MEZCLA  
ASFALTICA (VALORES MARSHALL)

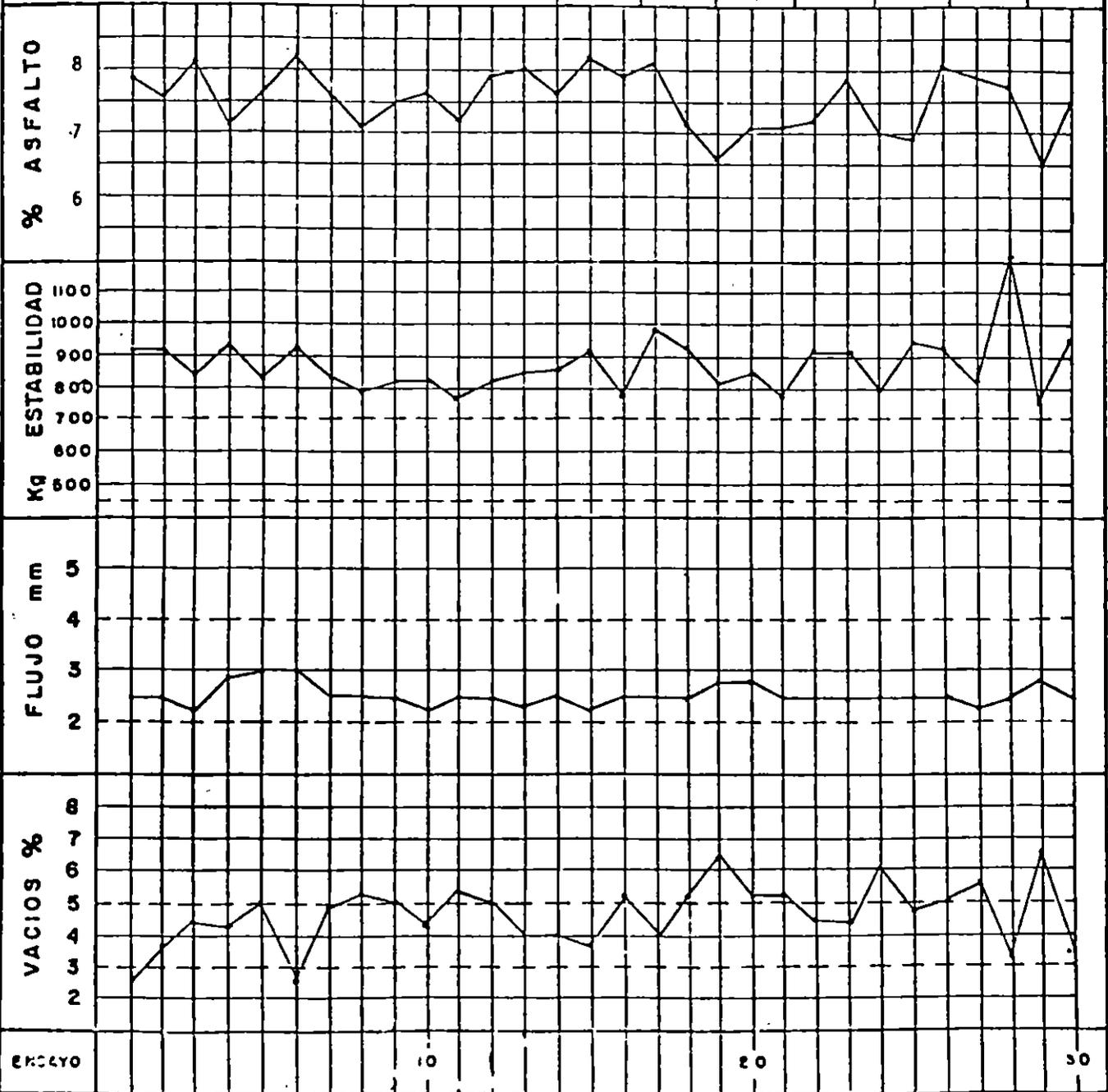
PARA:

OBRA:

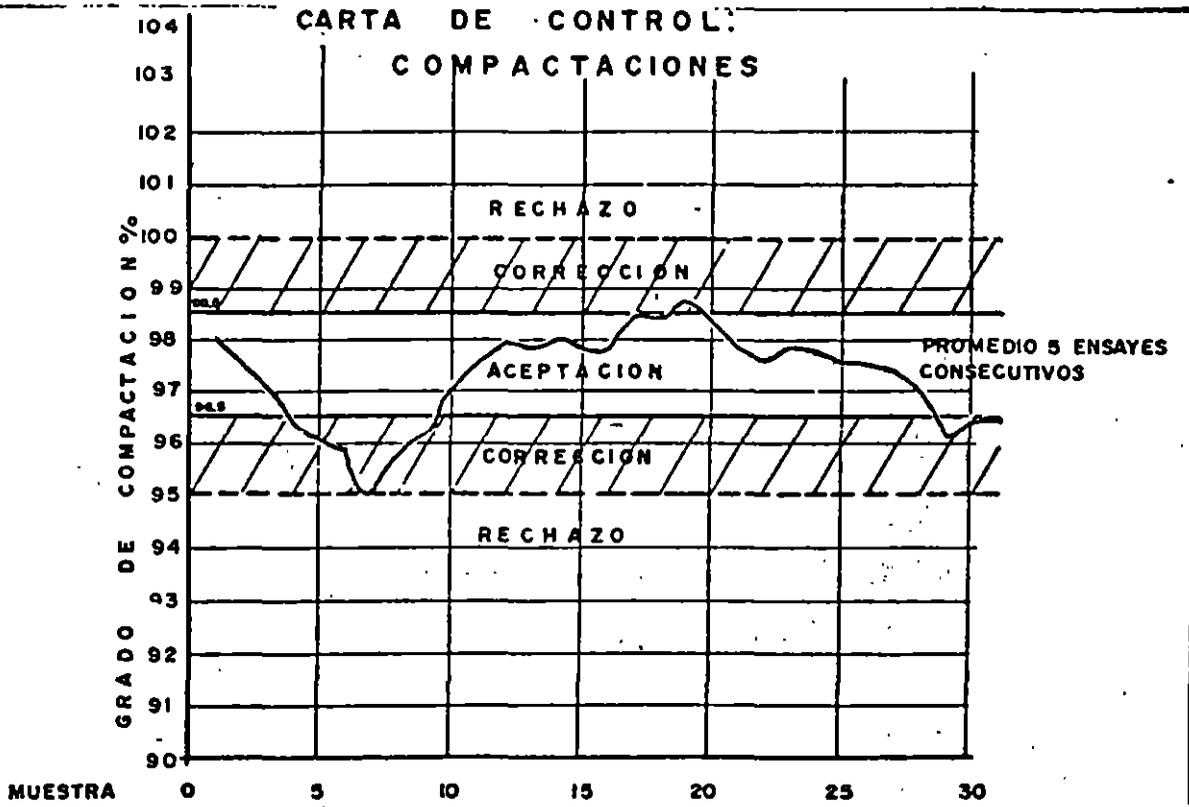
PERIODO: DEL

AL

DATOS DE PROYECTO	Analisis	( $\bar{X}$ )	% Inf.	% Sup.	$X_1$ min.	$X_1$ max.	( $\nabla$ )	( $\nabla$ )
% ASFALTO 7.0	% ASFALTO	7.56	0.04	59.4	6.5	8.3	0.45	5.95
P.V. MAX. MARSHAL	ESTABILIDAD	842.6	0.04	--	763.0	1210.0	108.6	12.1
GOLPES POR CARA 75	FLUJO	2.63	0.0	0.0.	2.3	3.0	0.18	7.0
NUMERO DE DATOS (n) 32	VACIOS	4.54	6.2	31.2	2.6	6.44	0.97	21.35



FORMULA	APROBADO	17	19	IMP. NUM.
---------	----------	----	----	-----------



## CARTAS DE CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA

C O N C E P T O		D I A																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Grado de Compactación, %	100 95																															1
Temperatura de Mezclado, °C	100																															2
Temperatura de Tendido, °C	105 100																															3
Contenido de Asfalto, %	6.5 6.0																															4
Estabilidad, kg/cm²	750																															5
Fluencia, mm	3																															6
Contenido de Vacíos, %	5 3																															7
Permeabilidad, %	10 9																															8

61

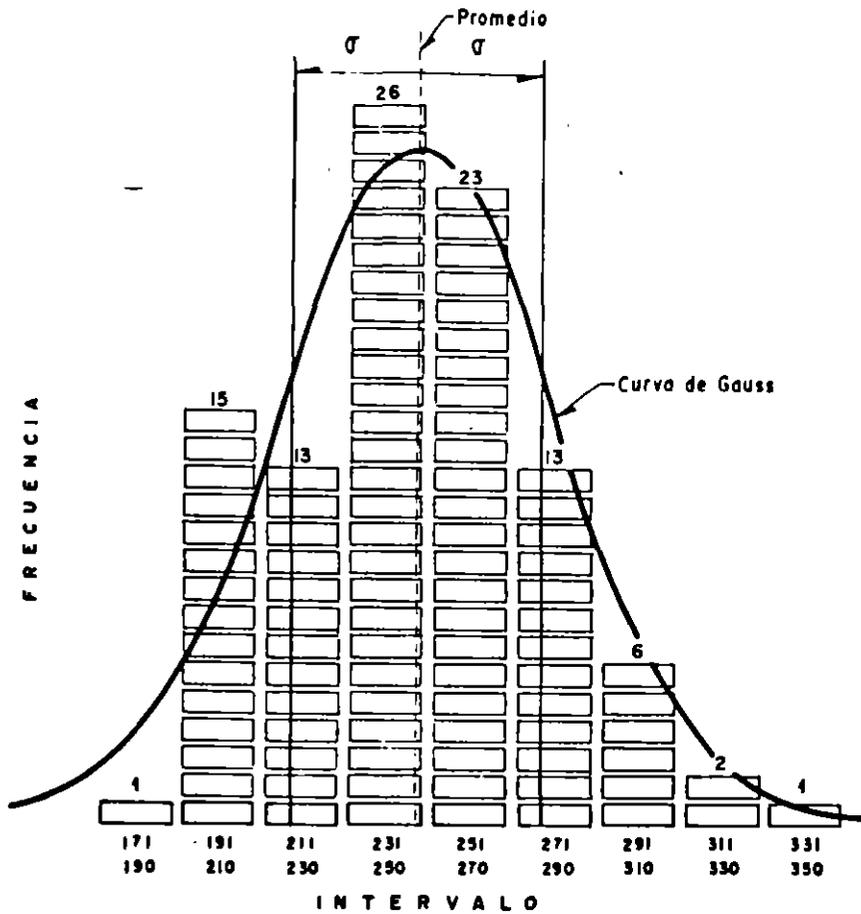
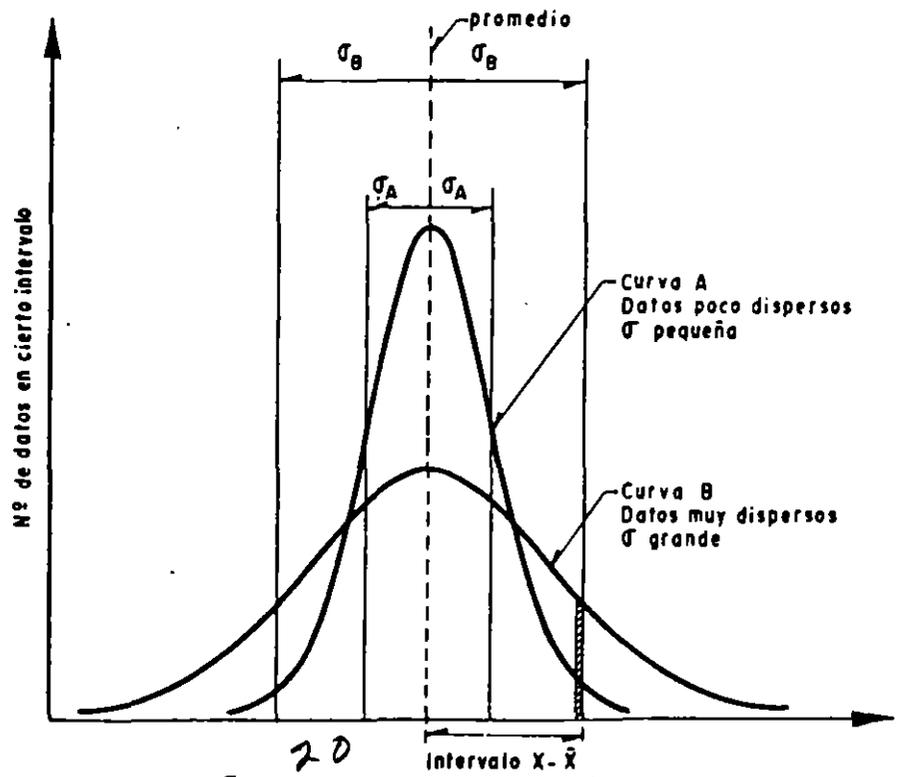


Figura XVII-1. Histogramas de los datos de la tabla XVII-1. (Ref. 5)

cierta magnitud por medio de pruebas de laboratorio, utilizando un método *A* (curva alta) y otro

*B* (curva baja), podrá decirse sin más, que el método *A* conduce a resultados más consistentes que el

Figura XVII-2. Formas de la curva de distribución normal. (Ref. 5)



## HERRAMIENTAS DE ESTADISTICA

- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS
- GRAFICAS DE CONTROL
- TABLAS DE MUESTREO
- METODOS ESPECIALES

### ACCIONES PREVENTIVAS

- DEFINICION DE NECESIDADES, Y OBJETIVOS.
- SELECCION DE CONTRATISTAS
- ELABORACION DE LAS ESPECIFICACIONES Y CONTRATO.
- REVISION DEL PROYECTO Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS.
- VERIFICACION DE MATERIALES
- CALIFICACION DE EQUIPO Y MANO DE OBRA.

## PROCESOS

- CONOCIMIENTO DEL PROYECTO EN TODAS SUS FASES, INCLUYENDO MATERIALES
- DEFINICION DE OBJETIVOS
- DEFINICION DE ESTRATEGIAS, JERARQUIZACION DE OBJETIVOS.
- ESTABLECIMIENTO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES, TOLERANCIAS, RECHAZO
- DEFINICION DE PROCEDIMIENTOS DE CONTROL
- MECANISMOS DE INFORMACION, CORRECCION Y RETROALIMENTACION.
- SANCIONES Y ESTIMULOS.

### ETAPAS DE CONTROL

- ESTABLECIMIENTO DE ESPECIFICACIONES
- VERIFICACION DE CUMPLIMIENTO
- ACCIONES CORRECTIVAS
- PLANES PARA MEJORAMIENTO

## PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CONSTRUCCION

### PRUEBAS DESTRUCTIVAS

EN SUELOS:            CALAS Y EMPLEO DE PROBETA  
                             CONO DE ARENA  
                             MEMBRANA  
                             CALAS Y TOMA DE MUESTRAS  
                             VRS

EN ROCAS:            POZOS

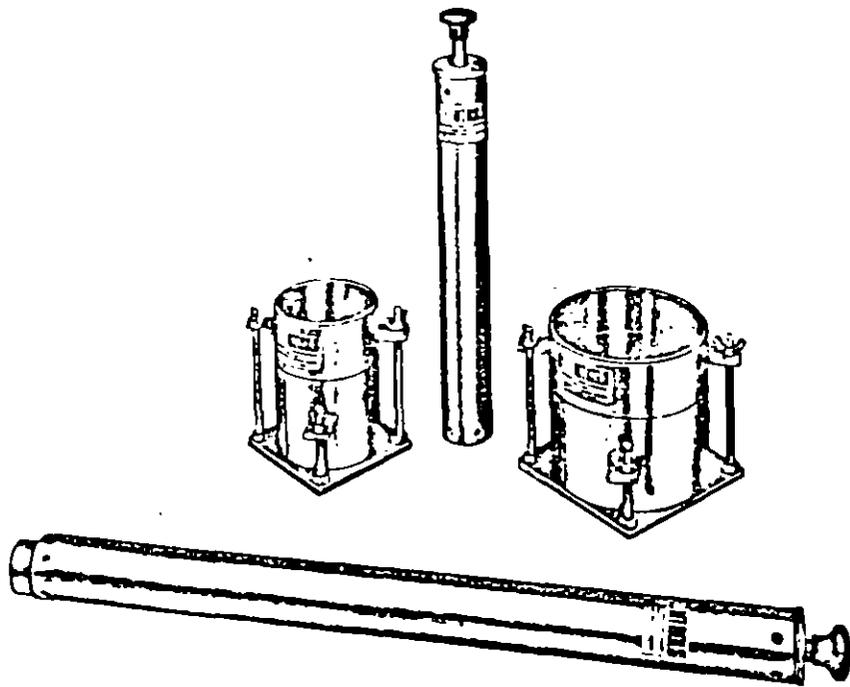
### PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

EN SUELOS:            NIVELACIONES  
                             METODOS NUCLEARES  
                             VIGA BENKELMAN  
                             DYNAFLECT  
                             PRUEBAS DE VRS  
                             PRUEBAS DE PLACA

EN ROCAS:            PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.

## CONTROL DE CALIDAD

CONJUNTO DE ACTIVIDADES INGENIERILES QUE TIENEN POR OBJETO ASEGURAR QUE LA OBRA A CONSTRU'R REUNA LAS CARACTERISTICAS DE COMPORTAMIENTO CON QUE FUE CONCEBIDA, DENTRO DE UN NIVEL DE CALIDAD PRE-ESTABLECIDO.



### ENERGIA ESPECIFICA

$$E = \frac{N \cdot N \cdot W \cdot H}{V}$$

N NÚMERO DE CAPAS  
 N NÚMERO DE GOLPES  
 W PESO DEL PISÓN  
 H ALTURA DE CAÍDA  
 V VOLUMEN DEL MOLDE

PRUEBA	VARIANTE	T.M.	DIAM. MOLDE CM	NUM. CAPAS	NUM. GOLPES	PESO PISÓN KG	ALTURA CAÍDA CM	ENERGIA ESPECIFICA KG/CM <sup>2</sup>
AASHTO T-99 (ESTANDAR)	A	N° 4	10.16	3	25	2.5	30.5	6.05
	B	N° 4	15.24	3	56	2.5	30.5	
	C	3/4"	10.16	3	25	2.5	30.5	
	D	3/4"	15.24	3	56	2.5	30.5	
AASHTO T-180 (MODIFICADA)	A	N° 4	10.16	5	25	4.5	45.7	27.2
	B	N° 4	15.24	5	56	4.5	45.7	
	C	3/4"	10.16	5	25	4.5	45.7	
	D	3/4"	15.24	5	56	4.5	45.7	

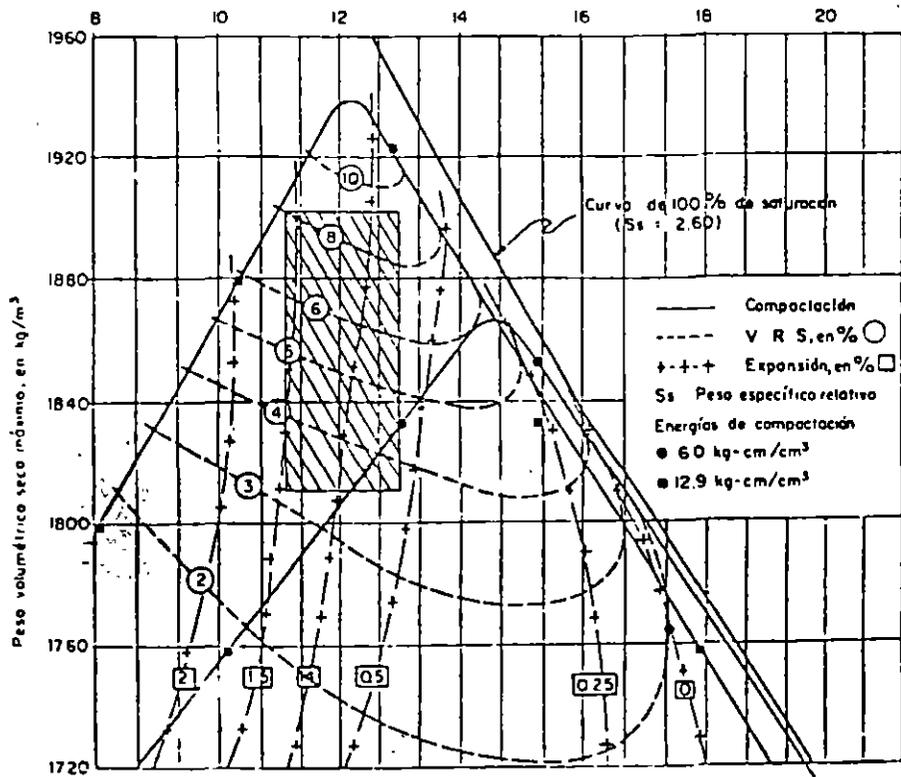
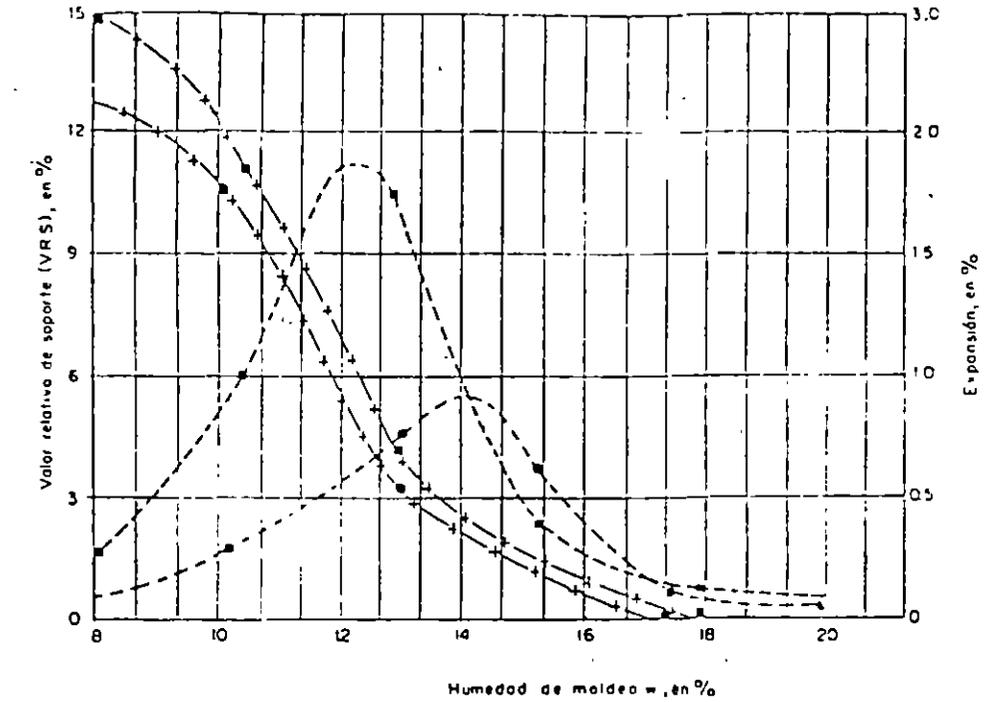
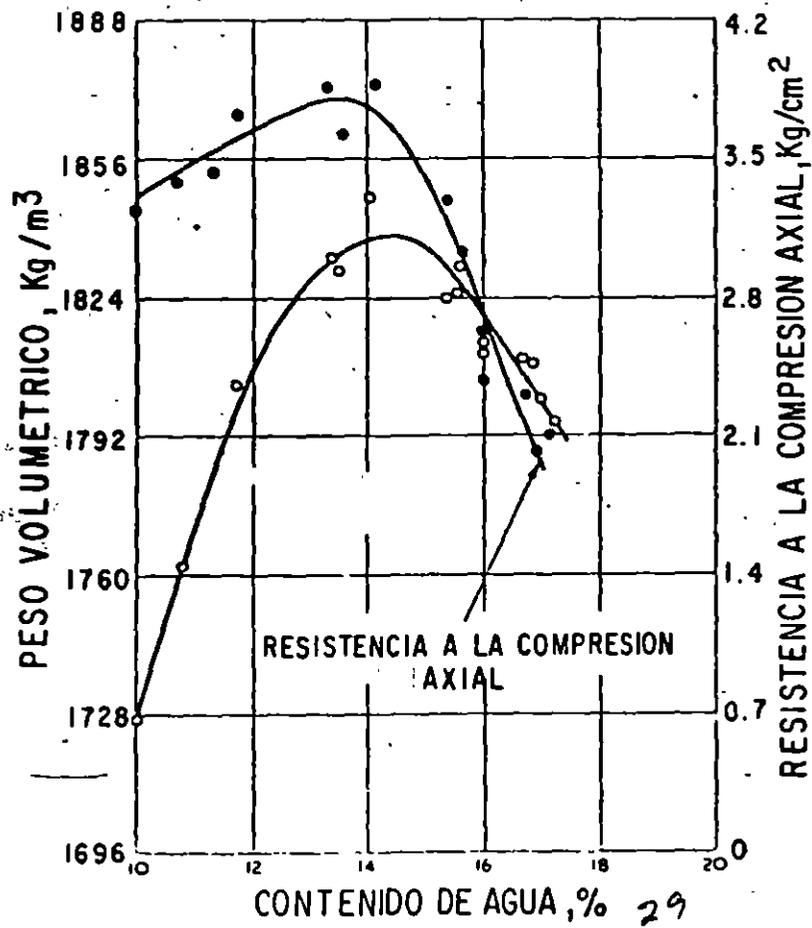
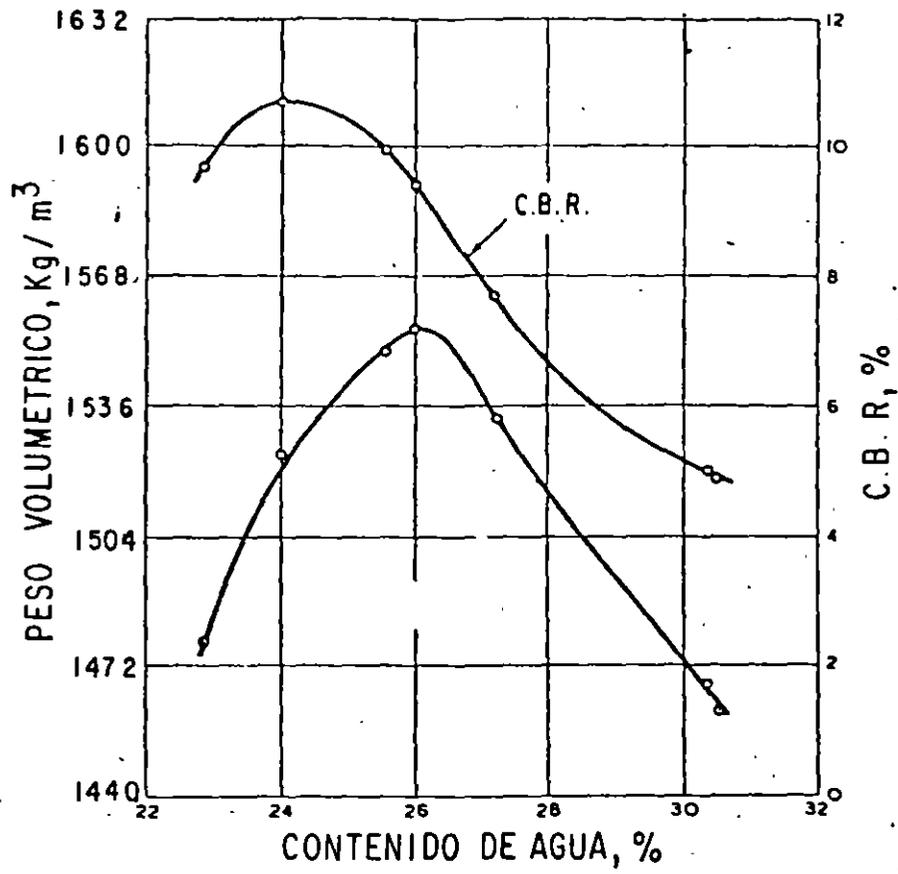


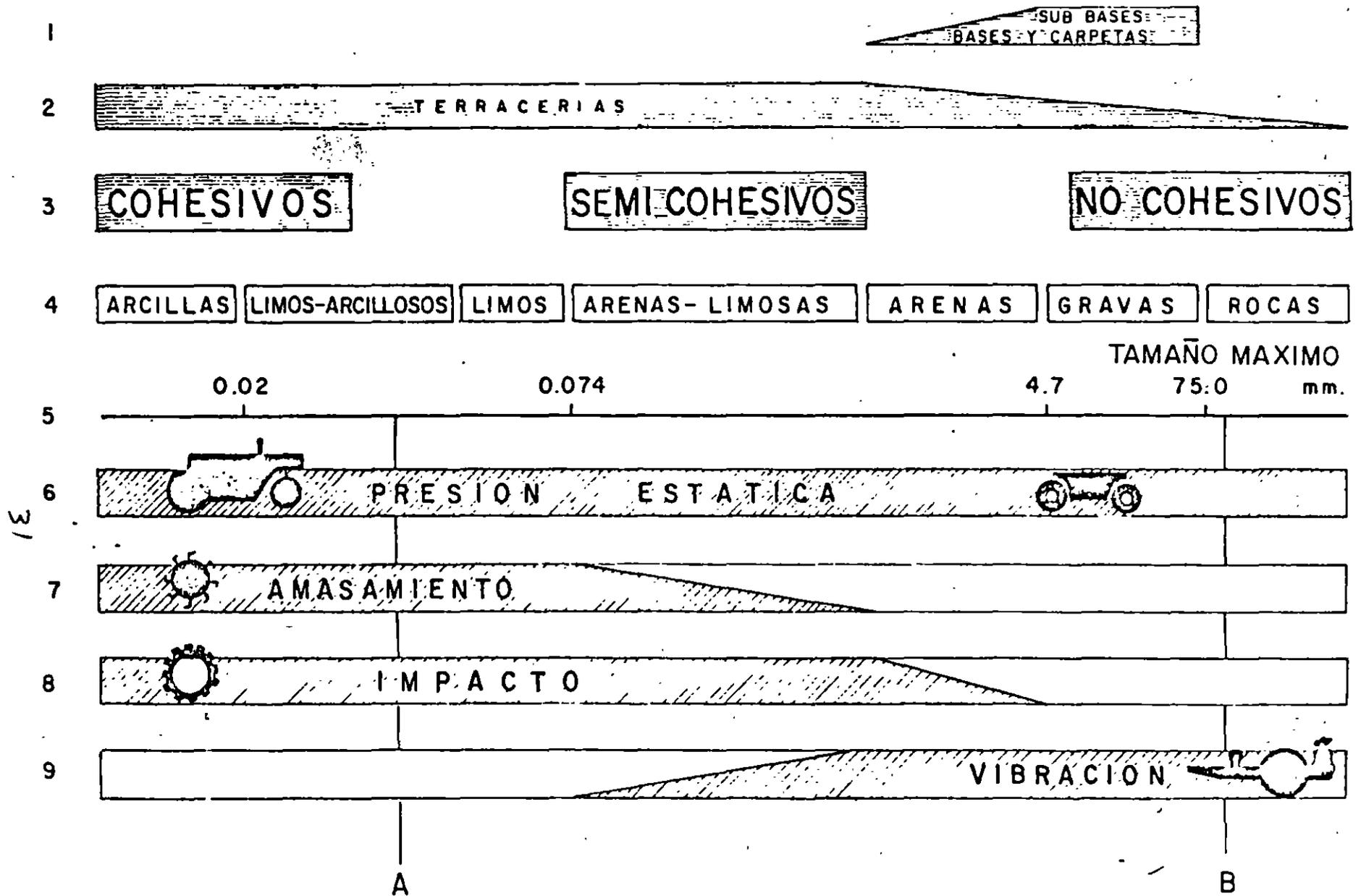
Fig 18 Diagrama de resultados de las pruebas de CBR

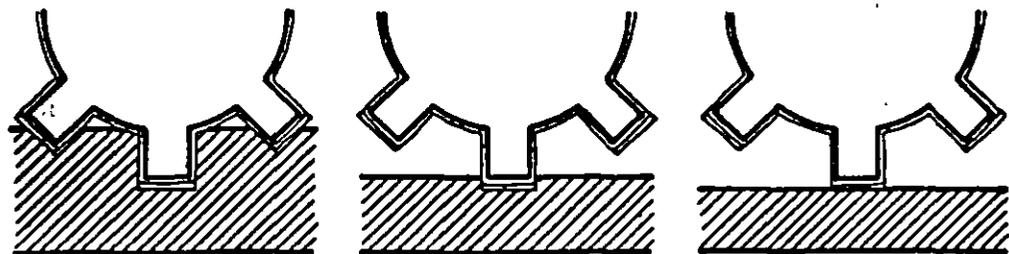
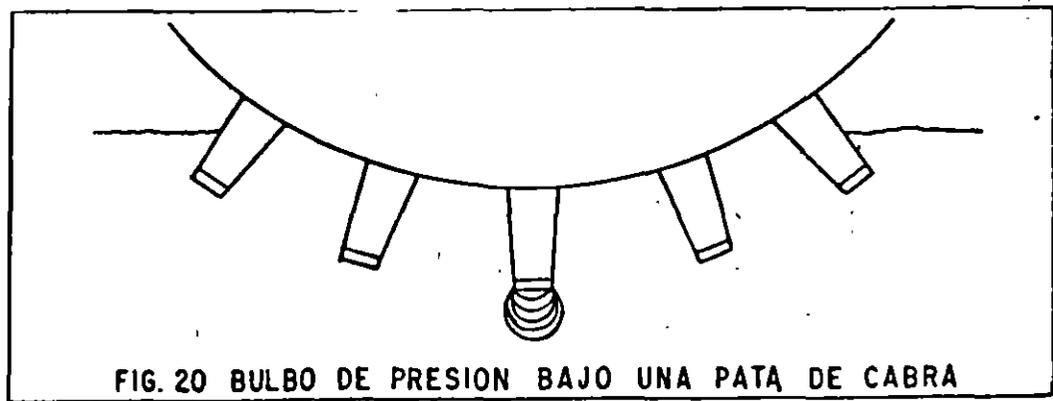
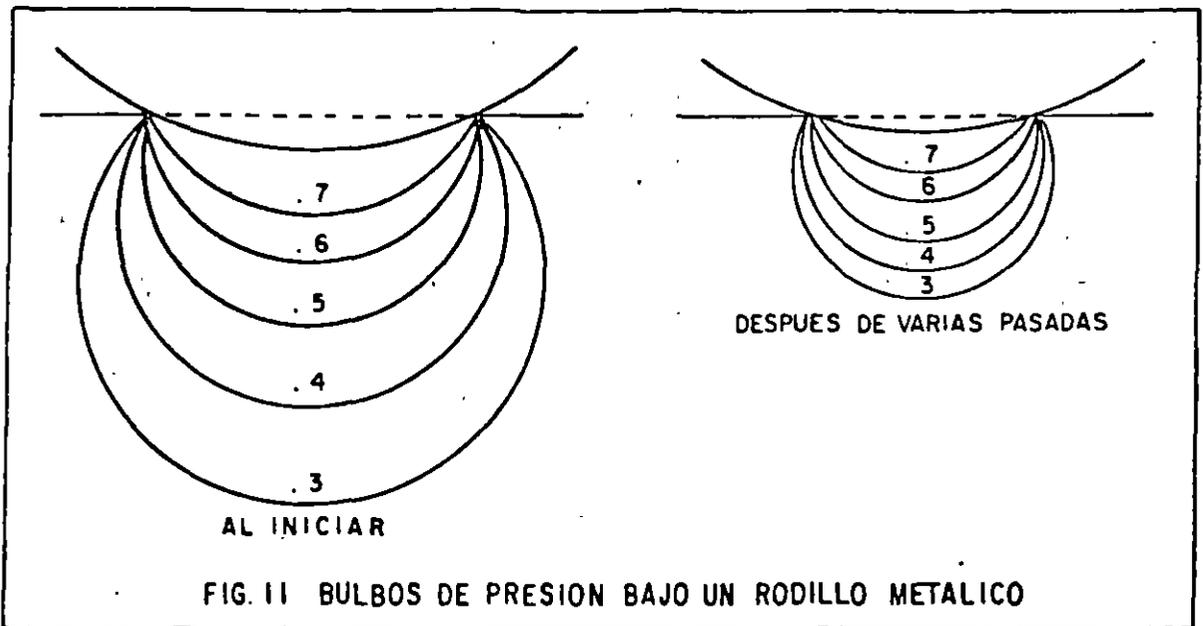


$$\text{GRADO DE COMPACTACION} = \frac{(\gamma_D) \text{ CAMPO}}{(\gamma_D \text{ MÁX}) \text{ LABORATORIO}} \times 100$$

$$\text{DENSIDAD RELATIVA, } D_D = \frac{e_{\text{MÁX}} - e}{e_{\text{MÁX}} - e_{\text{MÍN}}} \times 100$$

# SELECCION DE EQUIPO





PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION RECOMENDABLE

Tipo de material	Espesor capa suelta, en cm	Humedad de colocación, $w_c$	Energía de compactación	Compactador
Fedroplén	80 a 100	Completamente mojado	4 a 6 pasadas	Rodillo vibratorio o <u>bandeo</u> con tractor de orugas
Arena, gravas o mezclas de ambas	30 a 50	Deseable saturadas		
Arcillas y limos no expansivos; mezclas de ambos con arena y grava	20 a 30	Deseable $w_c = w_o \pm 2\%$	Proctor estándar	Rodillo pata de cabra  o  rodillo neumático
		Si $w_c < w_o$ por no haber agua en el sitio, usar $w_n$	Mayor que la Proctor estándar	
		Si $w_c > w_o$ por no poder secar el material, usar $w_n$	Menor que la Proctor estándar	
Arcillas expansivas	$w_o < w_c < (w_o + 2\%)$	Menor que la Proctor estándar		

$w_n$  humedad natural en el préstamo

$w_o$  humedad óptima

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION EN EL CAMPO

- CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL
- GRANULOMETRIA DEL MATERIAL
- NUMERO DE PASADAS DEL EQUIPO
- PESO DEL COMPACTADOR
- PRESION DE CONTACTO
- VELOCIDAD DEL EQUIPO COMPACTADOR
- ESPESOR DE CAPA

## PROCESO DE COMPACTACION EN EL CAMPO

- PRESION            RODILLO LISO O NEUMATICO
- AMASADO            PATA DE CABRA
- IMPACTO            RODILLO METALICO DE IMPACTO
- VIBRACION            RODILLO VIBRATORIO

METODOS DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO

DINAMICA

PROCTOR

ESTATICA

PORTER

AMASADO

HVEEM, HARVARD

VIBRACION

MESA VIBRATORIA

VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACION

NATURALEZA DEL SUELO

METODO DE COMPACTACION

ENERGIA ESPECIFICA

CONTENIDO DE AGUA DE COMPACTACION Y NATURAL

RECOMPACTACION

## COMPACTACION

PROCESO MECANICO MEDIANTE EL CUAL SE MODIFICA LA ESTRUCTURA DEL SUELOS MEJORANDO DE UNA MANERA IM-  
PORTANTE SU COMPORTAMIENTO YA QUE SE OBTIENE:  
AUMENTO EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE,  
DISMINUCION EN LA COMPRESIBILIDAD Y DEFORMABILI-  
DAD; ADEMAS SE REDUCE LA PERMEABILIDAD Y LA ERO-  
SIONABILIDAD.

## METODOS DE MEJORAMIENTO DE SUELOS

MECANICOS

COMPACTACION

FISICOS

CONFINAMIENTO

CONSOLIDACION

VIBRACION

MEZCLAS DE SUELOS

QUIMICOS

ESTABILIZACIONES Y TRATAMIENTOS

- CEMENTO PORTLAND

- ASFALTO

- CAL

- OTROS.

40

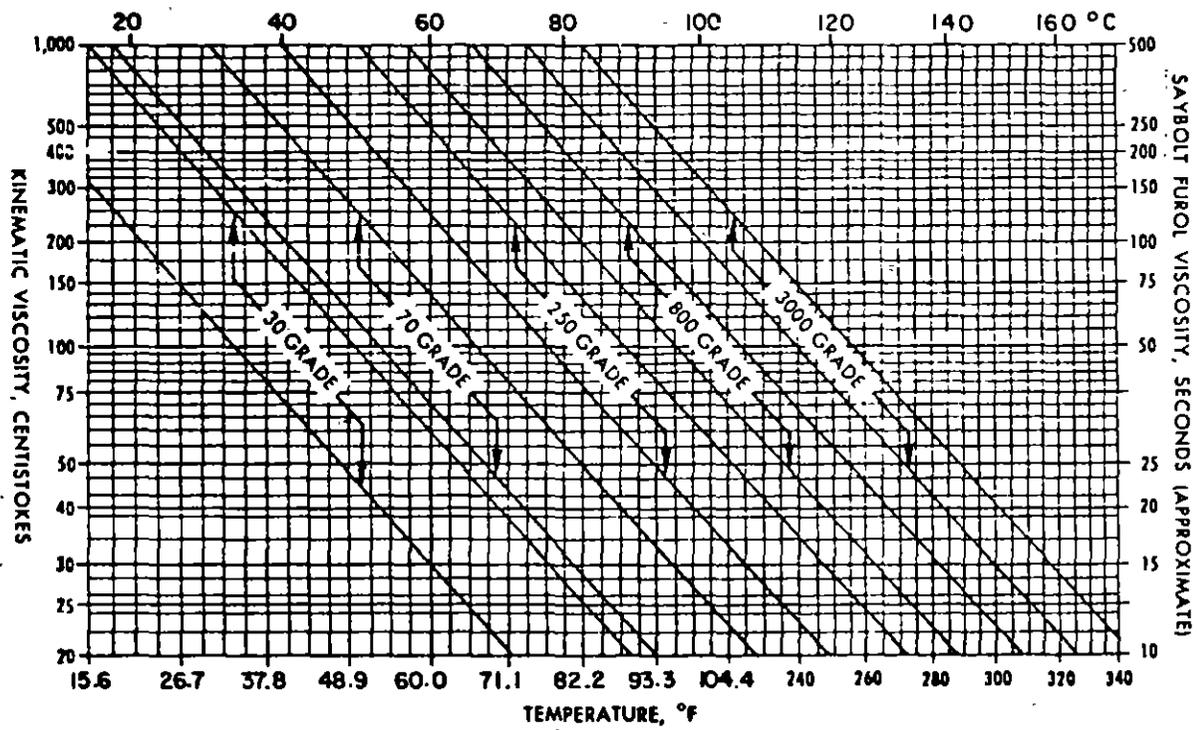
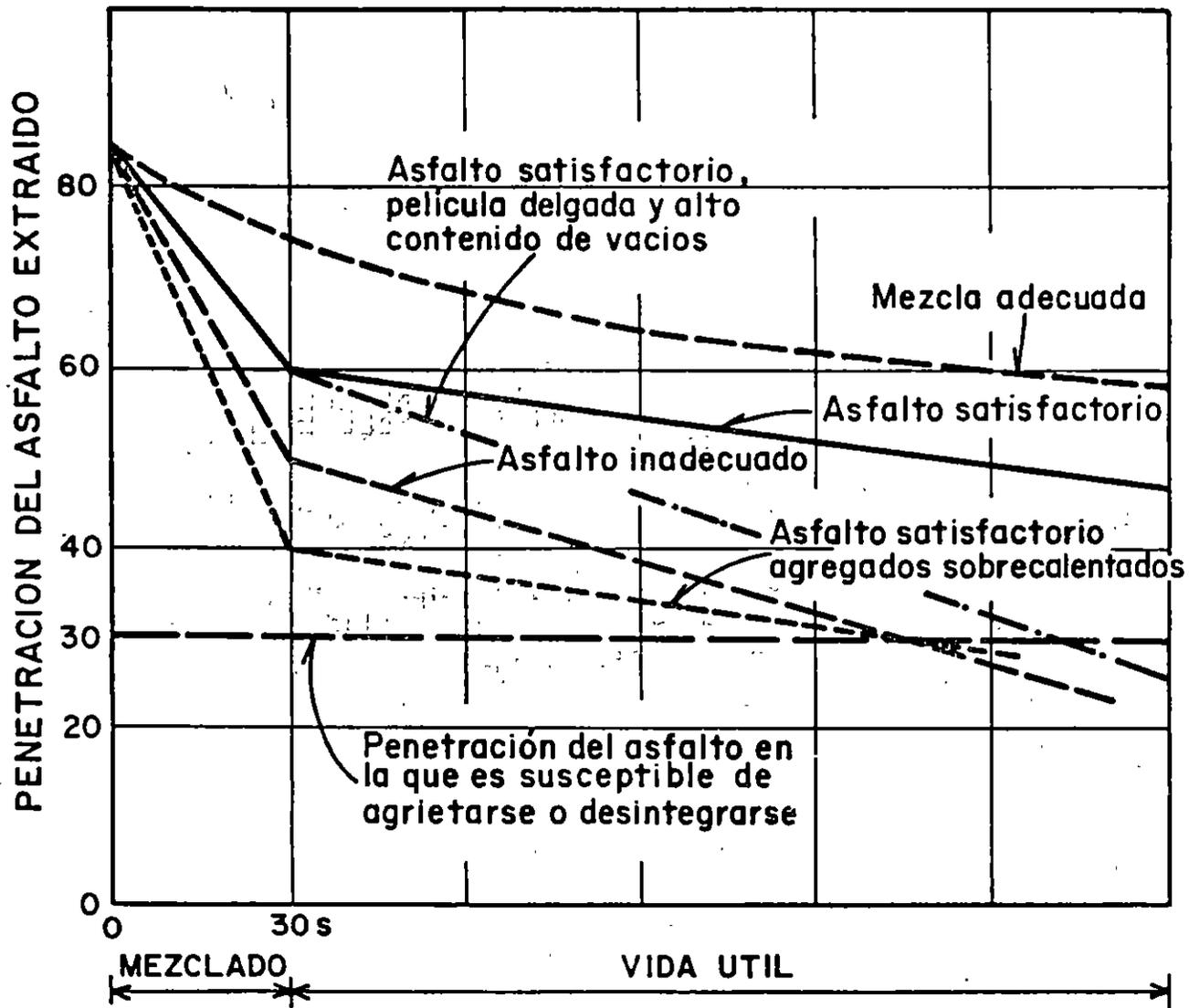


Figure 2. Temperature-viscosity relationships for cutback asphalts

17





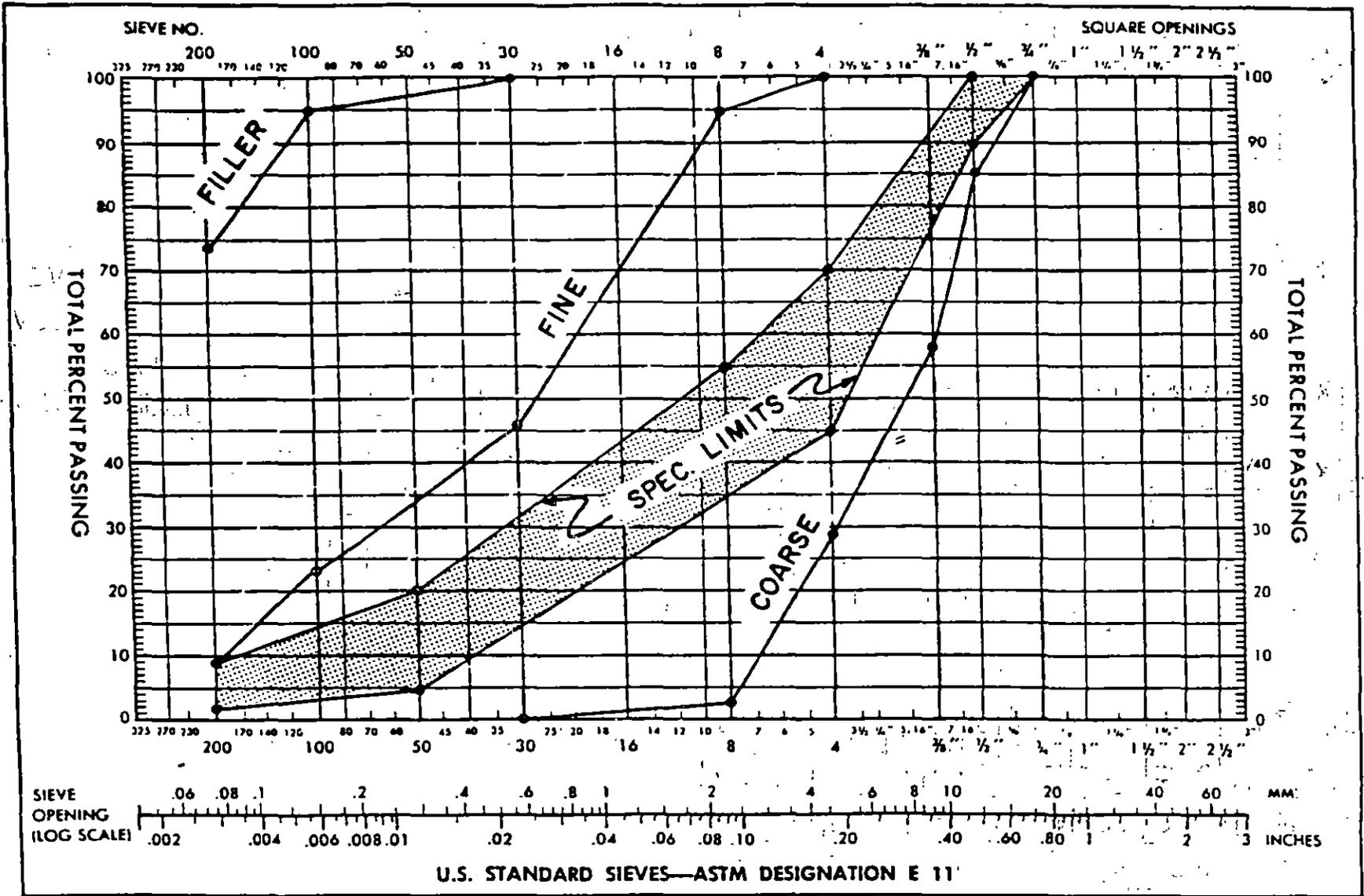


Figure E-1—Job aggregates and specification plotted on conventional aggregate grading chart

Sieve Size	Mix Designation and Nominal Maximum Size of Aggregate				
	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)
	Total Percent Passing (by weight)				
50 mm (2 in.)	100	—	—	—	—
37.5 mm (1½ in.)	90 to 100	100	—	—	—
25.0 mm (1 in.)	—	90 to 100	100	—	—
19.0 mm (¾ in.)	56 to 80	—	90 to 100	100	—
12.5 mm (½ in.)	—	56 to 80	—	90 to 100	100
9.5 mm (⅜ in.)	—	—	56 to 80	—	90 to 100
4.75 mm (No. 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No. 8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—
0.60 mm (No. 30)	—	—	—	—	—
0.30 mm (No. 50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No. 100)	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Asphalt Cement, weight percent of Total Mixture†	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12
	Suggested Coarse Aggregate Size Numbers (see Table 11-4)				
	4 and 67 or 4 and 68	5 and 7 or 57	67 or 68 or 6 and 8	7 or 78	8

\* In considering the total grading characteristics of an asphalt paving mixture the amount passing the 2.36 mm (No. 8) sieve is a significant and convenient field control point between fine and coarse aggregate. Gradings approaching the maximum amount permitted to pass the 2.36-mm (No. 8) sieve will result in pavement surfaces having comparatively fine texture, while gradings approaching the minimum amount passing the 2.36-mm (No. 8) sieve will result in surfaces with comparatively coarse texture.

\*\* The material passing the 0.075 mm (No. 200) sieve may consist of fine particles of the aggregates or mineral filler, or both. It shall be free from organic matter and clay particles and have a plasticity index not greater than 4 when tested in accordance with Method D 423 and Method D 424.

† The quantity of asphalt cement is given in terms of weight percent of the total mixture. The wide difference in the specific gravity of various aggregates, as well as a considerable difference in absorption, results in a comparatively wide range in the limiting amount of asphalt cement specified. The amount of asphalt required for a given mixture should be determined by appropriate laboratory testing or on the basis of past experience with similar mixtures, or by a combination of both.

**FIGURE 2.23—Typical Composition of Asphalt Concrete.**

**TABLE II-6—COMPOSITION OF TYPE II MIXES**  
(Open-Graded)

MIX NO.	IIa	IIb	IIc	II d	IIe
Use	Plant-Mix Surface Treatment	Surface Plant-Mix Surface Treatment	Surface	Base	Base
<b>Compacted Depth Recommended for Individual Courses</b>	3/8 in.- 3/4 in.	3/4 in.- 1 1/2 in.	1 in.-2 in.	1 1/2 in.- 3 in.	3 in.-4 in.
<b>Sieve Sizes (Square Openings)</b>	<b>Percent Passing By Weight</b>				
1 1/2 in.					100
1 in.				100	70—100
3/4 in.			100	70—100	50—80
1/2 in.		100	70—100	—	—
3/8 in.	100	70—100	45—75	35—60	25—50
# 4	40—85	20—40	20—40	15—35	10—30
# 8	5—20	5—20	5—20	5—20	5—20
# 30	—	—	—	—	—
# 100	—	—	—	—	—
# 200	0—4	0—4	0—4	0—4	0—4

*Normal asphalt content 3.0-6.0% by weight of total mix. Upper limit may be raised when using absorptive aggregate.*

**Usual Applications:** *For all light and medium traffic classifications.*

**Traffic Limitations:** *Not recommended for heavy traffic classifications.*

**Aggregate Required:** *Sound, angular crushed stone, crushed gravel, crushed slag and fine aggregate. 45*

**TABLE II-9—COMPOSITION OF TYPE V MIXES**  
(Fine Graded)

MIX NO.	Va	Vb
USE	Surface	Surface or Leveling *
COMPACTED DEPTH RECOMMENDED FOR INDIVIDUAL COURSES	¾ in.-1½ in.	1 in.-2 in.
SIEVE SIZES (SQUARE OPENINGS)	Percent Passing By Weight	
¾ in.	100	100
½ in.	100	85—100
⅜ in.	85—100	—
# 4	65—80	65—80
# 8	50—65	50—65
# 16	37—52	37—52
# 30	25—40	25—40
# 50	18—30	18—30
# 100	10—20	10—20
# 200	3—10	3—10

*Normal asphalt content 4.0 - 7.5% by weight of total mix. Upper limit may be raised when using absorptive aggregate.*

**Usual Applications:**

*Surface: General utility mix. Often used for streets and highways, driveways, parking lots, and playgrounds. Widely used where coarse aggregates are scarce or expensive.*

*Leveling: For leveling of uneven bases.*

**Traffic Limitations:** *For heavy traffic, the finer grades of the mix type tend to be somewhat sensitive to variations in proportioning and may become critical. Thorough laboratory testing necessary before being used for heavy traffic classifications.*

**Surface Texture:** *Dense and gritty.*

**Aggregate Required:** *Hard, sound, angular crushed stone, crushed gravel or crushed slag, and fine aggregate.*

\* May be used for base where coarse aggregate is not economically available.

**TABLE II-8—COMPOSITION OF TYPE IV MIXES**  
(Dense Graded)

MIX NO.	IVa	IVb	IVc	IVd
USE	Surface	Surface	Surface or Base	Base
COMPACTED DEPTH RECOMMENDED FOR INDIVIDUAL COURSES	¾ in.-1½ in.	1 in.-2 in.	1½ in.-3 in.	2½ in.-4 in.
SIEVE SIZE (SQUARE OPENINGS)	Percent Passing By Weight			
1½ in.				100
1 in.			100	80—100
¾ in.		100	80—100	70—90
½ in.	100	80—100	—	—
⅜ in.	80—100	70—90	60—80	55—75
# 4	55—75	50—70	48—65	45—62
# 8	35—50	35—50	35—50	35—50
# 30	18—29	18—29	19—30	19—30
# 50	13—23	13—23	13—23	13—23
# 100	8—16	8—16	7—15	7—15
# 200	4—10	4—10	0—8	0—8

Normal asphalt content 3.5-7.0% by weight of total mix. Upper limit may be raised when using absorptive aggregate.

Type IV Mixes are recommended for all applications; i.e. for asphalt paving courses for all traffic classifications.

Traffic Limitations: None.

Surface Texture: Medium to fine.

Aggregate Required: Sound, angular crushed stone, crushed gravel or crushed slag, and fine aggregate.

**TABLE II-7—COMPOSITION OF TYPE III MIXES**  
(Coarse Graded)

MIX NO.	IIIa	IIIb	IIIc	IIId	IIIe
USE	Surface	Surface or Leveling	Base	Base	Base
COMPACTED DEPTH RECOMMENDED FOR INDIVIDUAL COURSES	¾ in.-1½ in.	1 in.-2 in.	1 in.-2 in.	1½ in.-3 in.	3 in.-4 in.
SIEVE SIZES (SQUARE OPENINGS)	Percent Passing By Weight				
1½ in.	100	100	100	100	100
1 in.	100	100	100	75—100	75—100
¾ in.	100	100	100	75—100	60—85
½ in.	100	75—100	75—100	—	—
¾ in.	75—100	60—85	60—85	45—70	40—65
# 4	35—55	35—55	30—50	30—50	30—50
# 8	20—35	20—35	20—35	20—35	20—35
# 30	10—22	10—22	5—20	5—20	5—20
# 50	6—16	6—16	3—12	3—12	3—12
# 100	4—12	4—12	2—8	2—8	2—8
# 200	2—8	2—8	0—4	0—4	0—4

*Normal asphalt content 3.0-6.0% by weight of total mix. Upper limit may be raised when using absorptive aggregate.*

*Usual Applications: For light, medium and heavy traffic classifications.*

*Traffic Limitations: Mix Types IIIa, IIIb, and IIIc are not recommended for heavy traffic classifications.*

*Surface Texture: Open—medium to coarse.*

*Aggregate Required: Sound, angular crushed stone, crushed gravel or crushed slag, and fine aggregate.*

	Light Traffic <sup>2</sup>		Medium Traffic <sup>2</sup>		Heavy Traffic <sup>2</sup>	
	Surface & Base		Surface & Base		Surface & Base	
Marshall Method Mix Criteria <sup>1</sup>	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Compaction, number of blows each end of specimen	35		50		75	
Stability, lb. (*N)	500 (2224)		750 (3336)		1500 (6672)	
Flow, 0.25 mm (0.01 in.)	8	20	8	18	8	16
Percent Air Voids	3	5	3	5	3	5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA)	(See Figure 3.20)					

<sup>1</sup>All criteria, not stability value alone, must be considered in designing an asphalt paving mix. Hot-mix asphalt bases that do not meet these criteria when tested at 140°F (60°C) are satisfactory if they meet the criteria when tested at 100°F (38°C) and are placed 4 in. (100 mm) or more below the surface. This recommendation applies only to regions having a range of climatic conditions similar to those prevailing throughout most of the United States. A different lower test temperature may be considered in regions having more extreme climatic conditions.

<sup>2</sup>Traffic Classifications:

Light: Traffic conditions resulting a Design EAL < 10<sup>4</sup>.

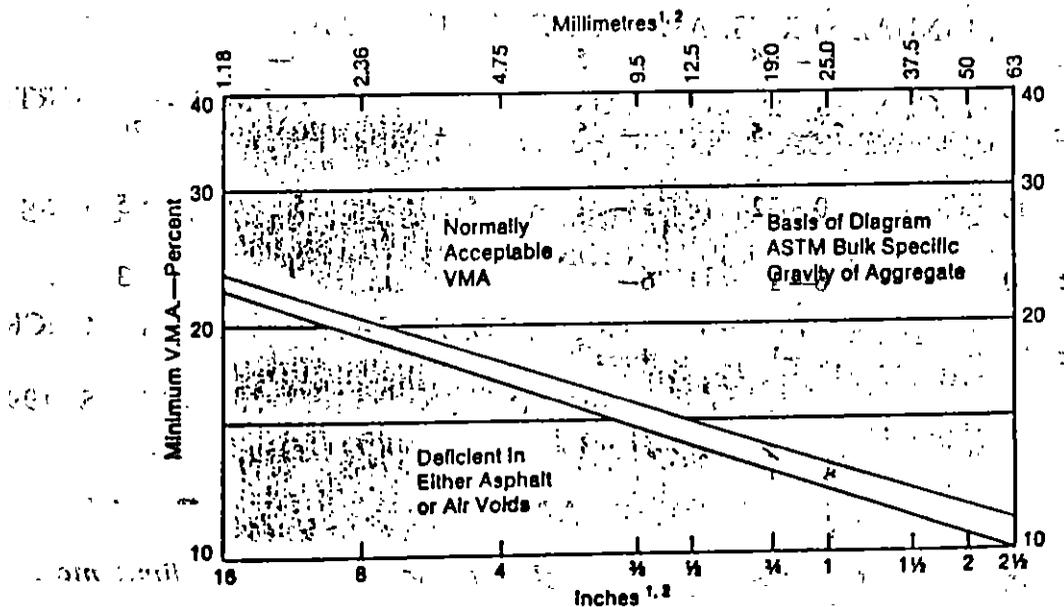
Medium: Traffic conditions resulting a Design EAL between 10<sup>4</sup> and 10<sup>6</sup>.

Heavy: Traffic conditions resulting in a Design EAL > 10<sup>6</sup>.

\*N = Newton

FIGURE 3.19—Asphalt Institute Marshall Design Criteria

The minimum allowable percent voids in mineral aggregate can also be checked using Figure 3.20 and comparing it to the VMA of the specific aggregate gradation.



<sup>1</sup>Standard Specification for Wire Cloth Sieves for Testing Purposes, ASTM Designation E11 (AASHTO Designation M92).  
<sup>2</sup>For processed aggregate, the nominal maximum particle size is the largest sieve size listed in the applicable specification upon which any material is permitted to be retained.  
<sup>3</sup>Mixtures in the 1% tolerance band shall be permitted only when experience indicates that the mixture will perform satisfactorily and when all other criteria are met.

FIGURE 3.20—Minimum Percent VMA.

## BIBLIOGRAFIA

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL. NORMAS GENERALES DE CONSTRUCCION.

PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. E. J. YODER, M.W. WITCZAK. JOHN WILEY AND SONS. 1975.

SECCIONES DE FIRME. INSTRUCCION 6.1-I.C Y 6.2-I.C. MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. MADRID, ESPAÑA, 1990.

PAVIMENTOS ASFALTICOS. J.R. MARTIN, H.A. WALLACE. AGUILAR, S.A. DE EDICIONES, 1962.

INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, PARA CARRETERAS. MANUAL 444. INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM. MEXICO. 1980.

MANUAL SERIES. ASPHALT INSTITUTE. USA.

THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE PAVEMENTS. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, USA.

AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION. MANUALES PARA DISEÑO Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS.

IMCYC. SEMINARIO INTERNACIONAL PAVIMENTOS DE CONCRETO.

AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES, 1993.