RESUMEN APUNTES DE CLASE PAVIMENTOS.

1. TRÁNSITO FIJO

El espesor del pavimento es gobernado por una carga de llanta-simple.
Si el pavimento está sujeto a llantas-múltiples hay que convertir todas las cargas de llanta-simple-equivalente mediante el factor (ESWL), de tal forma que el método de diseño de llanta-simple sea aplicado.

2. *VEHÍCULO FIJO*

El espesor del pavimento es regido por el número de repeticiones de un ***Eje Estándar*** de un vehículo de 8.2 toneladas (80 KN), $W_{8.2}$, lo que es igual al 18,000 libras, W_{18}.

3. DATOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO REQUERIDOS EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

1. El tránsito promedio diario anual, TPDA, vehículos/día.
2. La distribución vehicular por sentido de circulación.
3. La distribución vehicular por carriles, poniendo cuidado en el carril de proyecto.
4. La distribución vehicular por tipo de vehículo.
5. EL crecimiento vehicular a lo largo del período de análisis.

TIPOS DE VEHICULOS (ver tabla MTOP)

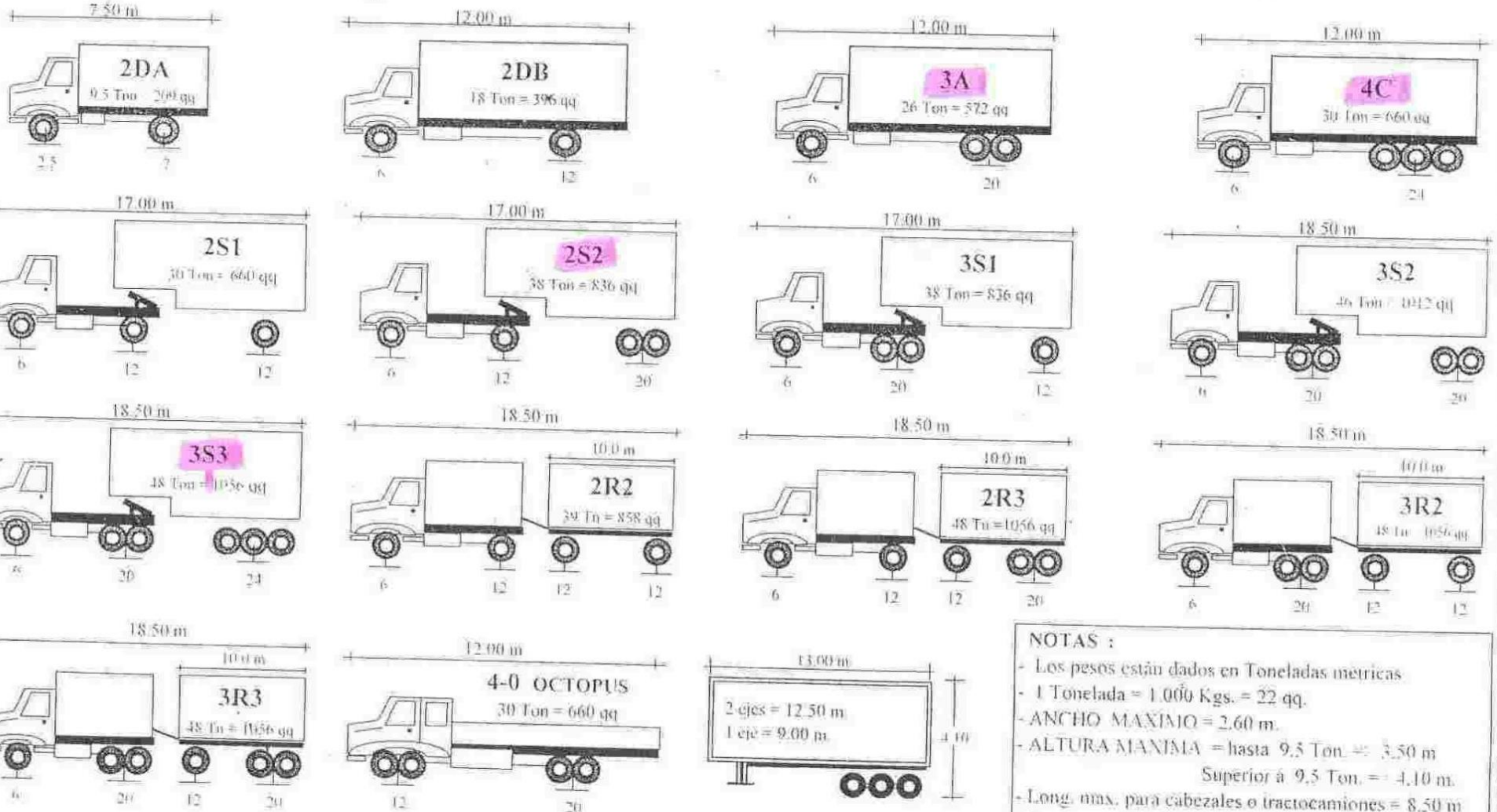
Tipo A: Automóvil y Camioneta “Pick Up”.
Tipo B: Autobuses.
Tipo C: Camiones.
Tipo TS: Tracto camión con Semirremolque.
Tipo TSR: Tracto camión con Semirremolque y Remolque.

MINISTERIO DE OBRAS PUBICAS DEL ECUADOR

DIRECCION DE MANTENIMIENTO VIAL

Departamento de Pesos, Medidas y Peaje

CUADRO DEMOSTRATIVO DE PESO BRUTO VEHICULAR Y LONGITUDES MAXIMAS PERMITIDAS



NOTAS :

- Los pesos están dados en Toneladas metricas
- 1 Tonelada = 1.000 Kgs. = 22 qq.
- ANCHO MAXIMO = 2.60 m.
- ALTURA MAXIMA = hasta 9.5 Ton. = 3.50 m
  Superior á 9.5 Ton. = 4.10 m.
- Long. max. para cabezales o tractocamiones = 8.50 m
- Para los vehículos combinados o traylers, la suma del peso por ejes no es igual al peso bruto vehicular permitido, este se rige a la norma técnica para puentes AASHTO HS 20-44.

LOS VEHICULOS ESPECIALES Y MODULARES CIRCULARAN CON PERMISOS ESPECIALES OTORGADOS POR EL "MOP."

CRECIMIENTO VEHICULAR A LO LARGO DEL PERIODO DE ANÁLISIS

$$TPDA_t = TPDA_0 \times (1 + \alpha)^t$$

Donde:

$TPDA_f$	=	tráfico promedio diario futuro
α	=	tasa de crecimiento del parque automotor
t	=	año de la proyección respecto al año base
$TPDA_o$	=	tráfico promedio diario anual actual

TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO (%)

PERIODO	VEHICULOS		
	LIVIANO	BUS	CAMION
2005-2010	4,49	2,12	3,41
2010-2015	3,99	1,89	3,03
2015-2020	3,6	1,7	2,72
2020-2030	3,27	1,54	2,48

Fuente: MTOP

CONTEO MINIMO - TRÁFICO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (T.P.D.S)

$$TPDS = \frac{S + D + \left(\frac{L + M + M + J + V}{5} \right) * 5}{7}$$

CONVERSION DE TRAFICO SEMANAL A TRAFICO ANUAL: TPDS → TPDA

$$TPD_A = TPD_S \pm K$$

$$K = \left(\frac{B\sigma}{\sqrt{n}}\right)\left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}}\right)$$

N = Número de días del año = 365
n = Número de días de conteo (7)
B = Nivel de confiabilidad requerido
σ= Desviación estándar conteos

CONFIABILIDAD B ~ 95%

TRAFICO GENERADO (Tg) AASHTO TOMAR DEL 5% AL 20% DEL TPDA (5-20%→TPDA)

Son los viajes vehiculares distintos a los del transporte público que no se realizarían si no se construye la nueva carretera.

TRÁFICO POR DESARROLLO (Td)

Incremento del volumen del trafico debido a las mejoras de los predios adyacentes a la carretera. Forma parte del crecimiento normal del tráfico tomar según **MTOP (5% - 10%) TPDA**

$TPDA_0 = TPDA + TG + TD \rightarrow$ TPDA INICIAL

MÉTODO DE DISEÑO
AASHTO
PAVIMENTOS FLEXIBLES

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log[\Delta PSI/(4.2 - 1.5)]}{0.4 + 1094/(SN + 1)^{5.19}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Donde el espesor Sn es:

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

PERIODO DE VIDA

Es el tiempo que existe entre la condición inicial de la estructura del pavimento hasta el instante en que ésta necesita de rehabilitación, ó el tiempo que existe entre períodos de rehabilitación consecutivos.
También se puede definir como el tiempo entre la serviciabilidad inicial (PSI) (Pi= entre 4.2 y 4.5) y la serviciabilidad final (Pt): $\Delta PSI = Pt - Pi$
Para autopistas Pt = 3.0
Para carreteras de importancia media Pt = 2.5
Para carreteras de importancia baja Pt = 2.0

PERIODO DE ANÁLISIS (DISEÑO)

Es el tiempo que se tiene como estrategia de diseño del pavimento, el cual puede ser igual al período de vida ya definido.

Alto volumen urbano 30-50 años
Alto volumen rural 20-50
Bajo Volumen Pavimentado 15-25
Bajo Volumen Revestido 10-20

NIVEL DE CONFIANZA

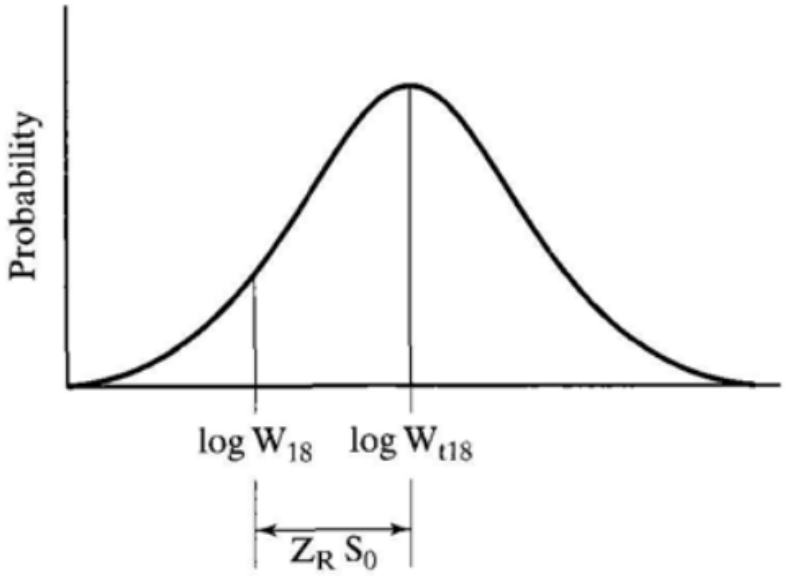
Con el concepto de nivel de confianza se trata de integrar en el proceso de diseño cierto grado de certidumbre con el cual asegurar que varias alternativas de diseño alcanzarán el período de análisis.

Clasificacion Funcional	Urbano	Rural
Interestatal y Autopista	85 – 99.9	80 - 99.9
Arteria Principales	80 – 99	75 - 95
Calles Colectoras	80 – 95	75 - 95
Calles Locales	50 - 80	50 - 80

DESVIACIÓN ESTÁNDAR:

W18 numero de ejes futuros y Wt18 aplicación de ejes al final del periodo diseño

$$Z_R = \frac{\log W_{18} - \log W_{t18}}{S_0}$$



Valores de Zr y So

Valores de Desviación normal estándar (zr)

Confiabilidad	Zr
90	-1.282
95	-1.645
98	-2.054

Valores de Error Estándar

Variación en la predicción del comportamiento del pavimento **sin** errores en el tránsito

So = 0.44 So= 0.34

Variación en la predicción del comportamiento del pavimento **con** errores en el tránsito

So = 0.49 So= 0.39

Factor de Carga Equivalente

$$Fss = \left[\frac{Lss}{6,6}\right]^4$$

$$Fsd = \left[\frac{Lsd}{8,2}\right]^4$$

$$Ft = \left[\frac{Lt}{15}\right]^4$$

$$Ftr = \left[\frac{Ltr}{23}\right]^4$$

MODULO RESILIENTE SUB RASANTE

$MR = 2555 * CBR^{0.64}$ (psi)

COEFICIENTE DE CAPAS

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

METODO AASHTO

CLASE DE MATERIAL	NORMAS	COEFICIENTE (CM)
CAPA DE SUPERFICIE		
CONCRETO ASFALTICO	**ESTABILIDAD DE MARSHALL 1000 - 1800 LBS**	**0.134 - 0.173**
ARENA ASFALTICA	**ESTABILIDAD DE MARSHALL 500 - 600 LBS**	**0.079 - 0.118**
CARPETA BITUMINOSA MEZCLADA EN EL CAMINO	**ESTABILIDAD DE MARSHALL 300 - 600 LBS**	**0.059 - 0.098**
CAPA DE BASE		
AGREGADOS TRITURADOS GRADUADOS UNIFORMEMENTE	**P.I. 0 - 4, CBR > 100%**	**0.047 - 0.056**
GRAVA GRADUADA UNIFORMEMENTE	**P.I. 0 - 4, CBR 30 - 60%**	**0.028 - 0.051**
CONCRETO ASFALTICO	**ESTABILIDAD DE MARSHALL 1000 - 1600 LBS**	**0.098 - 0.138**
ARENA ASFALTICA	**ESTABILIDAD DE MARSHALL 500 - 600 LBS**	**0.059 - 0.098**
AGREGADO GRUESO ESTABILIZADO CON CEMENTO	**RESISTENCIA A LA COMPRESION 28 - 46 kg/cm2**	**0.079 - 0.139**
AGREGADO GRUESO ESTABILIZADO CON CAL	**RESISTENCIA A LA COMPRESION 7 kg/cm2**	**0.089 - 0.119**
SUELO – CEMENTO	**RESISTENCIA A LA COMPRESION 18 - 32 kg/cm2**	**0.047 - 0.079**
CAPA DE SUB – BASE		
ARENA - GRAVA, GRADUADA UNIFORMEMENTE	**P.I. 0 - 6, CBR 30%**	**0.032 - 0.043**
SUELO – CEMENTO	**RESISTENCIA A LA COMPRESION 18 - 22 kg/cm2**	**0.025 - 0.071**
SUELO – CAL	**RESISTENCIA A LA COMPRESION 8 kg/cm2**	**0.059 - 0.071**
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
ARENA O SUELO SELECCIONADO	**P.I. 0 – 10**	**0.020 - 0.025**
SUELO CON CAL	**3% MINIMO DE CAL EN PESO DE LOS SUELOS**	**0.028 - 0.029**
TRATAMIENTO SUPERFICIAL BITUMINOSO		
TRIPLE RIEGO		*** 0.40**
DOBLE RIEGO		*** 0.25**
SIMPLE RIEGO		*** 0.15**
	*** USAR ESTOS VALORES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE TRATAMIENTOS BITUMINOSOS, SIN CALCULAR ESPESORES**	

COEFICIENTES DE DRENAJE

Calidad del drenaje		Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercana a saturación			
Condición	Tiempo Evacuación	Menor que 1%	1-5%	5-25%	Mayor que 25%
Excelente	2 horas	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1 día	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Malo	1 mes	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy malo	No drena	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

ESPESORES MÍNIMOS

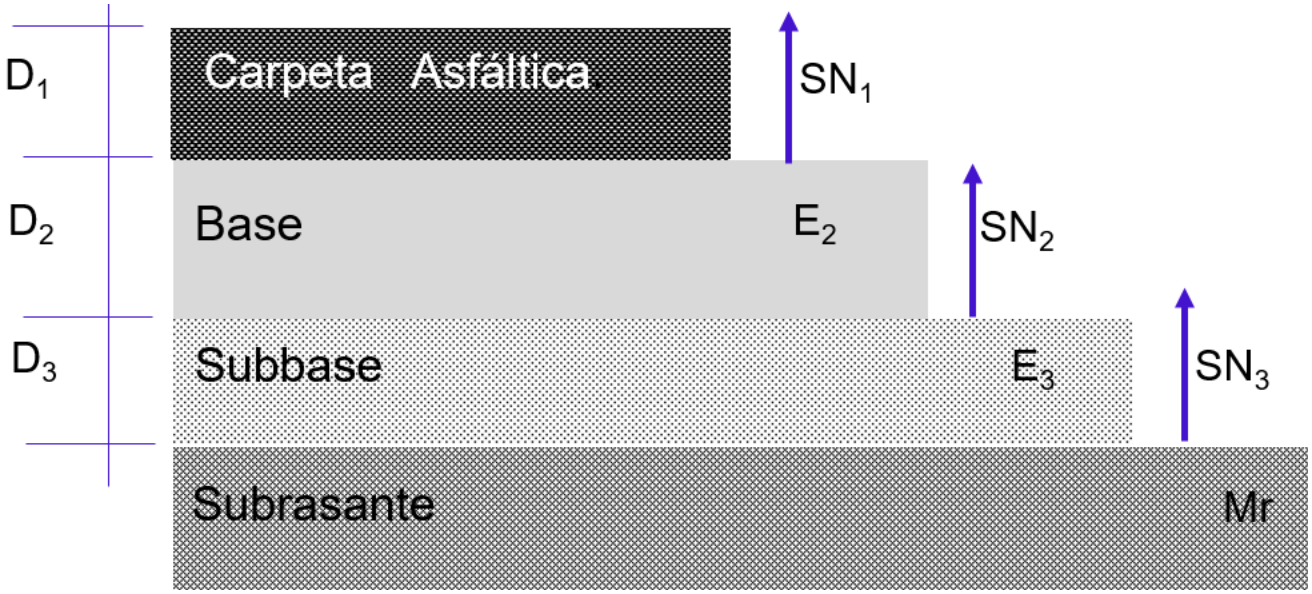
La experiencia ha encontrado que el empleo de espesores de capas menores que los mínimos establecidos es una práctica que no es lo común y que económicamente no es lo más recomendable de hacer.

La AASHTO recomienda para los diseños los siguientes espesores mínimos:

Ejes W8.2	Concreto Asfáltico (mm)	Capa Base (mm)
Menos de 50,000	30	100
50,001 – 150,000	60	100
150,001 – 500,000	75	100
500,001 – 2´000,000	90	150
2´000,001 – 7´000,000	100	150
Mayor que 7´000,000	120	150

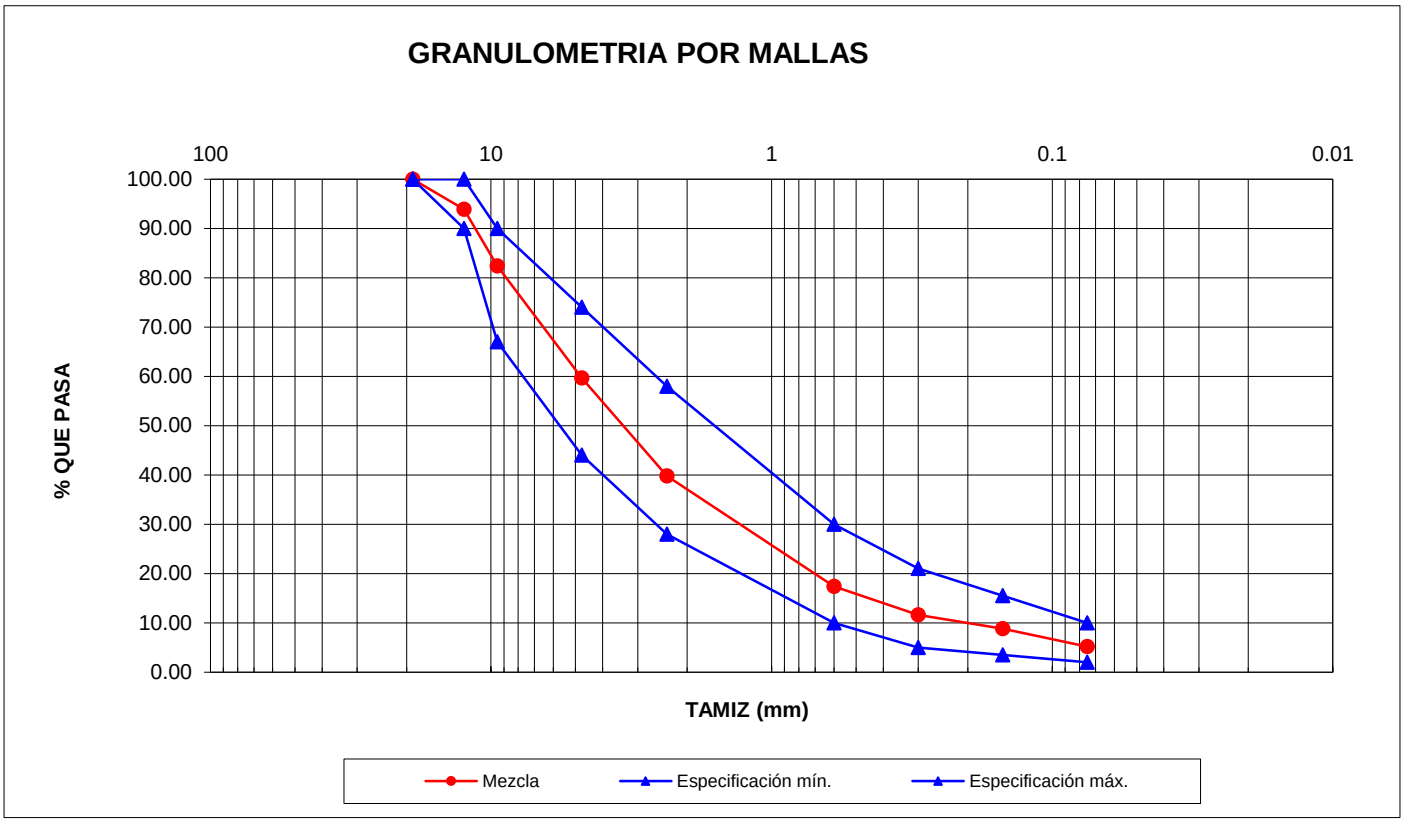
$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log[\Delta PSI/(4.2 - 1.5)]}{0.4 + 1094/(SN + 1)^{5.19}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

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



Mezcla Agregado para Método Marshall

Tamiz #	**1**	**3.4**	**1.2**	**3.8**	**4**	**8**	**30**	**50**	**100**	**200**	**p #200**
Tz mm.	**25,4**	**19**	**12,5**	**9,5**	**4,75**	**2,36**	**0,6**	**0,3**	**0,15**	**0,075**	**p 0,075**
mat. A	100,00	100,00	69,56	12,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	
mat. B	100,00	100,00	100,00	100,00	53,72	12,22	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	80,85	61,87	28,63	18,98	14,73	8,59	
mat. D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mezcla	**100,00**	**100,00**	**93,91**	**82,40**	**59,65**	**39,77**	**17,38**	**11,59**	**8,84**	**5,15**	
Ret.Ac.	0,00	0,00	6,09	17,60	40,35	60,23	82,62	88,41	91,16	94,85	5,15
Ret.Parc.	0,00	0,00	6,09	11,51	22,75	19,89	22,39	5,79	2,75	3,68	
% peso	0,00	0,00	66,97	126,63	250,21	218,77	246,27	63,69	30,25	40,52	
% acum.	0,00	0,00	66,97	193,60	443,81	662,57	908,84	972,53	1002,78	1043,31	1100,00
Espec mín	**100**	**100**	**90**	**---**	**44**	**28**	**---**	**5**	**---**	**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**100**	**---**	**74**	**58**	**---**	**21**	**---**	**10**	



Calculo del % de Asfalto

P = M * (S) ^ (1/5)

P = % del asfalto en peso / al peso Total

M= Coeficiente del tráfico (3.75 - 4.25)

S= Superficie específica de los áridos.

S= 0.17G+0.33g+2.30A+12a+135f

G= % material > al 3/8”

g= % material ⇔ 3/8” - #4

A= % material ⇔ #4 - #50

a = % material ⇔ #50 - #200

f = % material < #200

G =	17,60	0,17600
g =	22,75	0,22746
A =	48,07	0,48066
a =	6,43	0,06434
f =	5,15	0,05154

S =	8,94048	**P (%) =**	**6,20**

- Los dos objetivos principales del Método Marshall son :
  - Análisis de las relaciones densidad y volumen de vacíos y
  - Ensayo para la determinación de la estabilidad y flujo

- **ESTABILIDAD** de las briquetas es la máxima carga en libras que puede resistir la briqueta normalizada a 60 °C (Mezcla en caliente) y 22.2 °C (Mezcla en frío con emulsión) cuando se realiza el ensayo de rotura.

- **FLUJO** es la deformación total que se produce en la briqueta desde el comienzo hasta la carga máxima durante el ensayo de estabilidad, expresado en centésimas de pulgadas

PROCEDIMIENTO METODO MARSHALL

- Para determinar el contenido óptimo de asfalto, se preparan una serie de briquetas con diferentes contenidos de asfalto, de forma que las curvas en las que se representan los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido.
- Los ensayos han de realizarse sobre la base de incrementos del contenido de asfalto del 0.5% (para mezclas en caliente) y 1.0% (para mezclas en frío con emulsión) y deben emplearse al menos dos contenidos de asfalto por encima y por debajo del valor óptimo, que se obtiene mediante las formulas antes descritas.
- Para obtener resultados adecuados se triplican las briquetas para cada contenido de asfalto (15 briquetas).
- Se colocan los agregados en el horno y se calientan a una temperatura entre 115 y 140 °C. Se calienta también el asfalto necesario sobre una estufa, a una temperatura comprendida entre 110 y 140 °C. No debe mantenerse el asfalto a esta temperatura más de una hora y no debe emplearse asfalto recalentado.
- Al terminar la operación de mezclado, la temperatura de la mezcla dispuesta para la composición, no debe ser inferior a 110 °C. En caso de ser inferior, la muestra será recalentada.
- Se traslada el molde con la mezcla a la base de compactación y se le aplica el número de golpes especificado (MOP – Tabla 405.5.4) a las dos caras.
- Se saca la muestra del molde por medio de un extractor de muestras (gato hidráulico) y se coloca cuidadosamente sobre una superficie plana hasta que esté dispuesta para el ensayo.

Especificaciones MOP-001-f
Tabla 405.5.4 y 405.5.5

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	-----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos	3	5	3	5	3	5	3	5
% Vacíos agregados	Ver Tabla – 405.5.5							

Tipo de Mezcla	VAM Min. (%)
A (3/4")	16
B (1/2")	15
C, D (3/8")	14
E (#4)	13

Peso Específico Bulk:

$$Gb = \frac{Wa}{Wss - Ww}$$

Wa = Peso seco en el aire
Wss = Peso saturado con superficie seca
Ww = Peso sumergido en el agua

V = Wss - Ww

Peso Específico Promedio del Agregado Total:

$$Gagre = \frac{100}{P1/G1 + P2/G2 + \ldots + Pn/Gn}$$

P1,n = Porcentajes de la mezcla
G1,n = Peso específico de cada material.

Peso Específico Máximo Teórico:

$$Gmt = \frac{100}{\%Agre/Gagre + \%Asf/Gasf}$$

%Agre = Porcentaje de agregado en la mezcla
Gagre = Peso específico promedio del agregado
%Asf = Porcentaje de asfalto en la mezcla
Gasf = Gravedad específica del asfalto.

Peso Específico Máximo Medido:

$$Gmm = \frac{A}{A - (B - C)}$$

A = Peso de la mezcla

B = Peso frasco + mezcla + agua

C = Peso frasco + agua

% en Volumen agregado vs Volumen total:

$$Vagre = \frac{\%Agre * Gb}{Gagre}$$

% Vacios con aire:

$$Vv = \left(1 - \frac{Gb}{Gmm} \right) * 100$$

Volumen asfalto efectivo:

$$Vae = 100 - Vagre - Vv$$

% Vacios agregado mineral:

$$Vam = 100 - Vagre$$

Estabilidad Corregida:

Est. Corr. = Est. Med. * coef.corr.

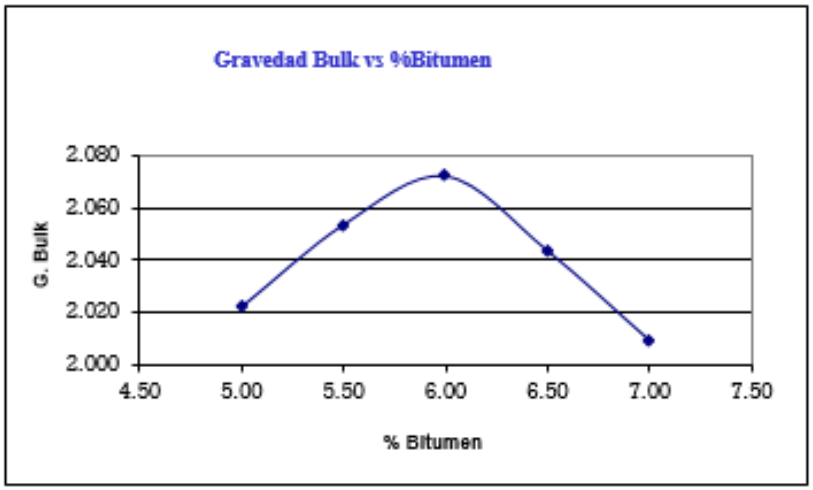
coef.corr. = ver cuadro.

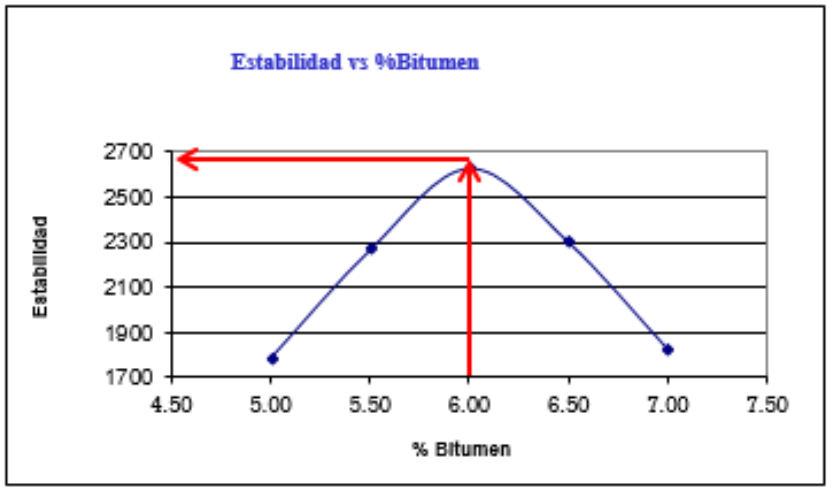
Flujo

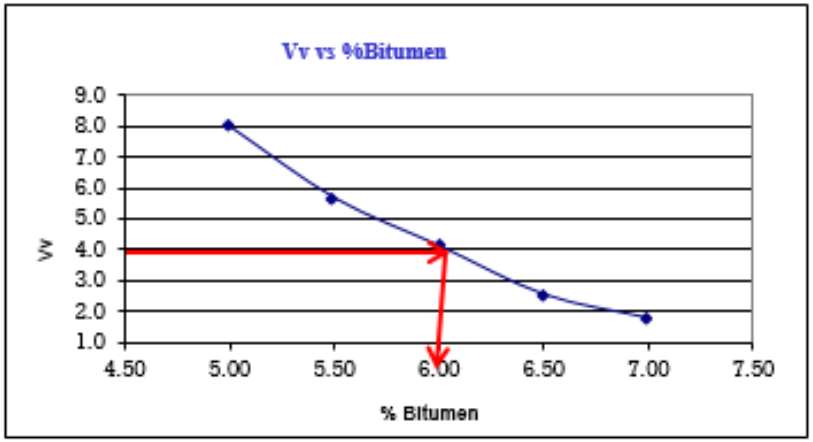
Flujo el dato que nos da el ensayo.

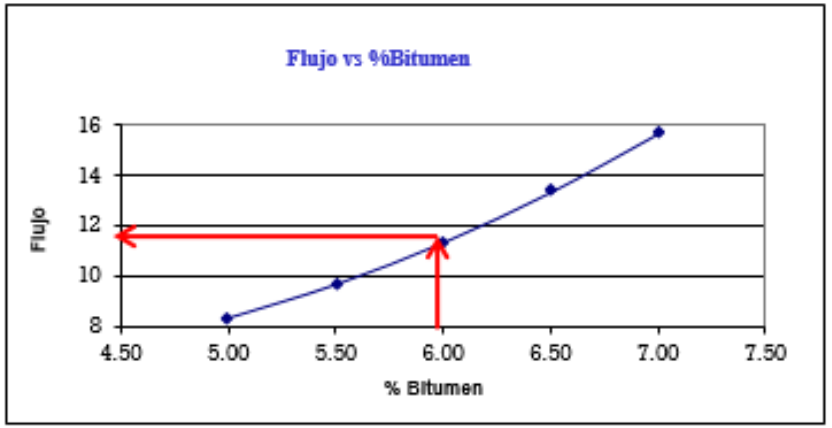
CORRECCION DE LOS VALORES DE ESTABILIDAD

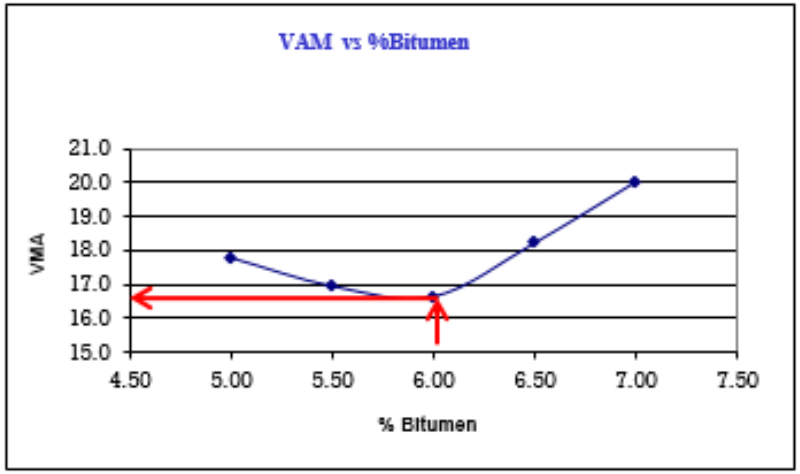
VOLUMEN DE LA BRIQUETA EN CM3	FACTOR DE CORRECCION	VOLUMEN DE LA BRIQUETA EN CM3	FACTOR DE CORRECCION
200 – 213	5.56	421 – 431	1.39
214 – 225	5.00	432 – 443	1.32
226 – 237	4.55	444 – 456	1.25
238 – 250	4.17	457 – 470	1.19
251 – 264	3.85	471 – 482	1.14
265 – 276	3.57	483 – 495	1.09
277 – 289	3.33	496 – 508	1.04
290 – 301	3.03	509 – 522	1.00
302 – 316	2.78	523 – 535	0.96
317 – 328	2.50	536 – 546	0.93
329 – 340	2.27	547 – 559	0.89
341 – 353	2.08	560 – 573	0.86
354 – 367	1.92	574 – 585	0.83
368 – 379	1.79	586 – 598	0.81
380 – 392	1.67	599 – 610	0.78
393 – 405	1.56	611 – 625	0.76
406 – 420	1.47		











Área del gráfico

FIN