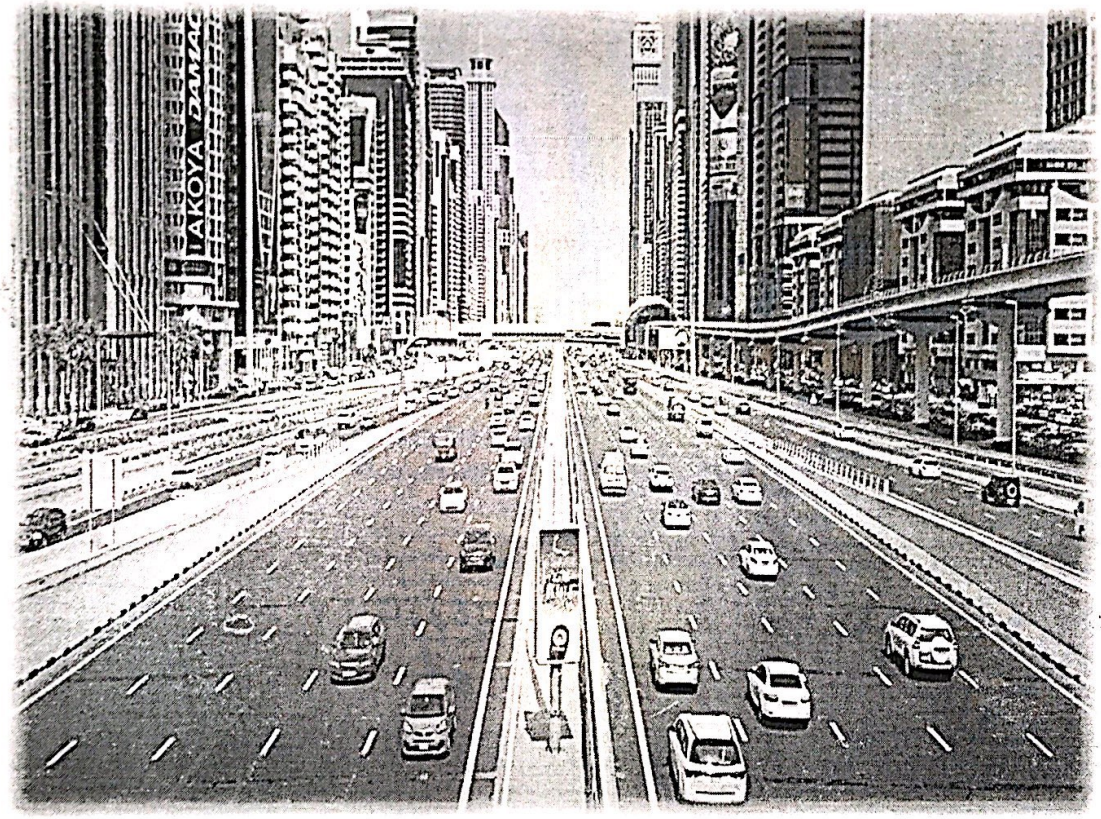
engineer22.com

HIGHWAY ENGINEERING

STRUCTURAL DESIGN



Scanned with CamScanner

Pavement Design Considerations

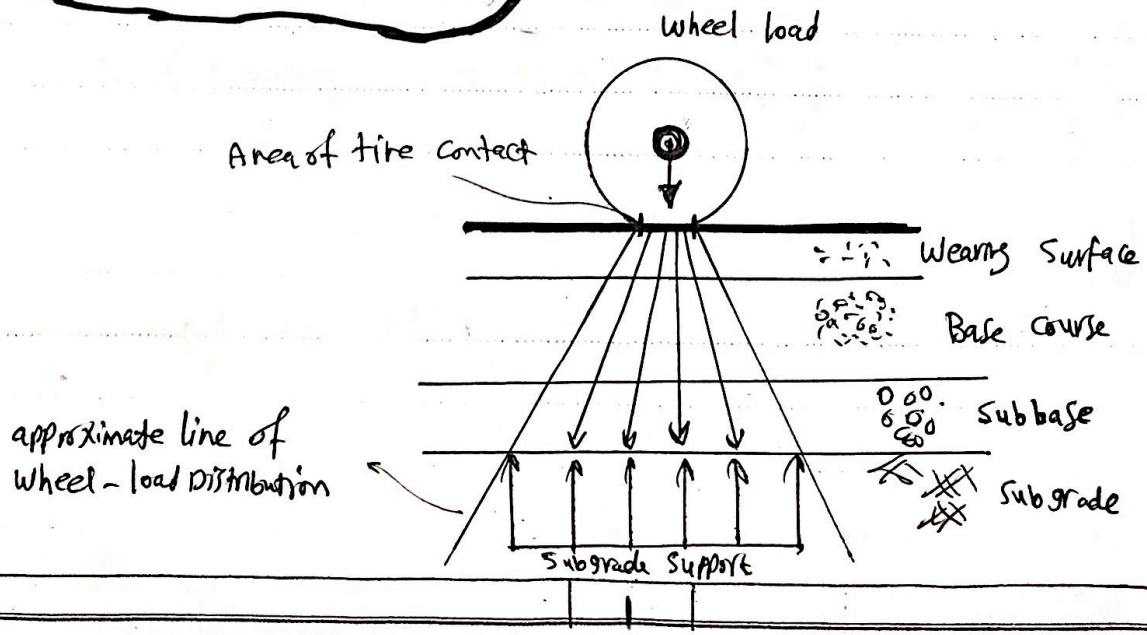
Factors affecting Pavement design

- → Tire pressure .
- → Wheel Configuration .
- → Static loading .
- → Edge loading .
- → load Reptations .
- → Materials & thickness .

Tire Pressure

- Tire pressure range from 30 → 200 PSI .
- كلما زاد الضغط داخل الاطار كلما قلت مساحة الملامس . مايسبب الاطار مع الرصيف وعليه نحتاج لسمك رصيف أكبر

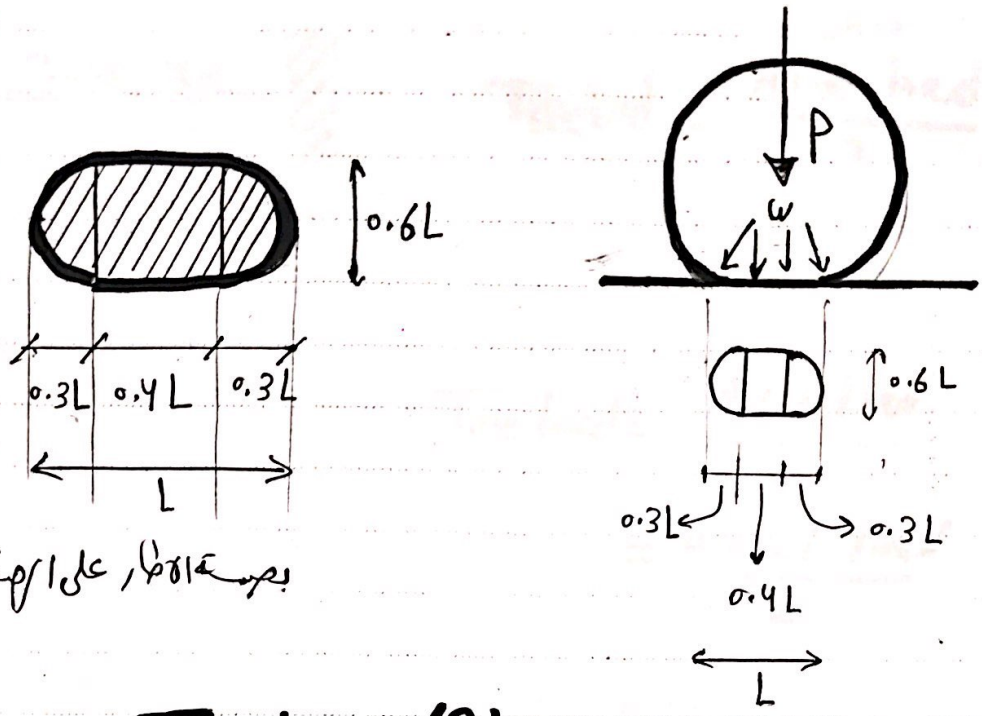
Wheel loading



Scanned with CamScanner

Contact Area

كلما زادت مساحة التلامس كلما قل الاجهاد وقل السمك المطلوب



بصمة الاطار على الارض

$$\text{Area} = \frac{\text{Tire load } (P)}{\text{Tyre Pressure}(\omega)}$$

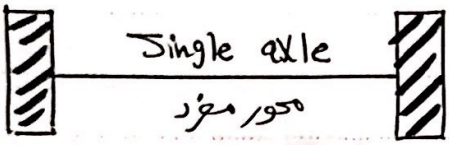
$$\text{Area} = \pi * \frac{(0.6L)^2}{4} + (0.4L) * (0.6L)$$

$$\therefore \text{Area} = 0.5227\ L^2$$

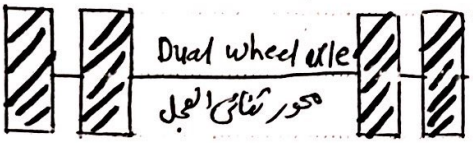
تقدر حسب منها طول بصمة الاطار على الارض (L)

Scanned with CamScanner

Tire Configration : شكل مزرة الكاوتش

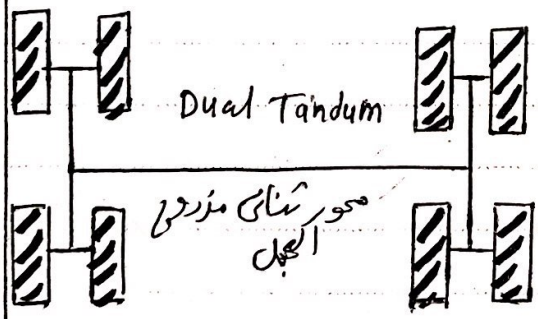


$$\text{Tire load} = \frac{\text{Axle load}}{2}$$ حمل المحور

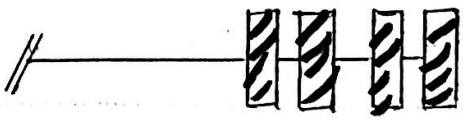


$$\text{Tire load} = \frac{\text{Axle load}}{4} = \frac{\text{Wheel load}}{2}$$

$$\frac{\text{Axle load}}{2} = (\text{Wheel load})$$ حيث دائماً ان



$$\text{Tire load} = \frac{\text{Axle load}}{8} = \frac{\text{Wheel load}}{4}$$



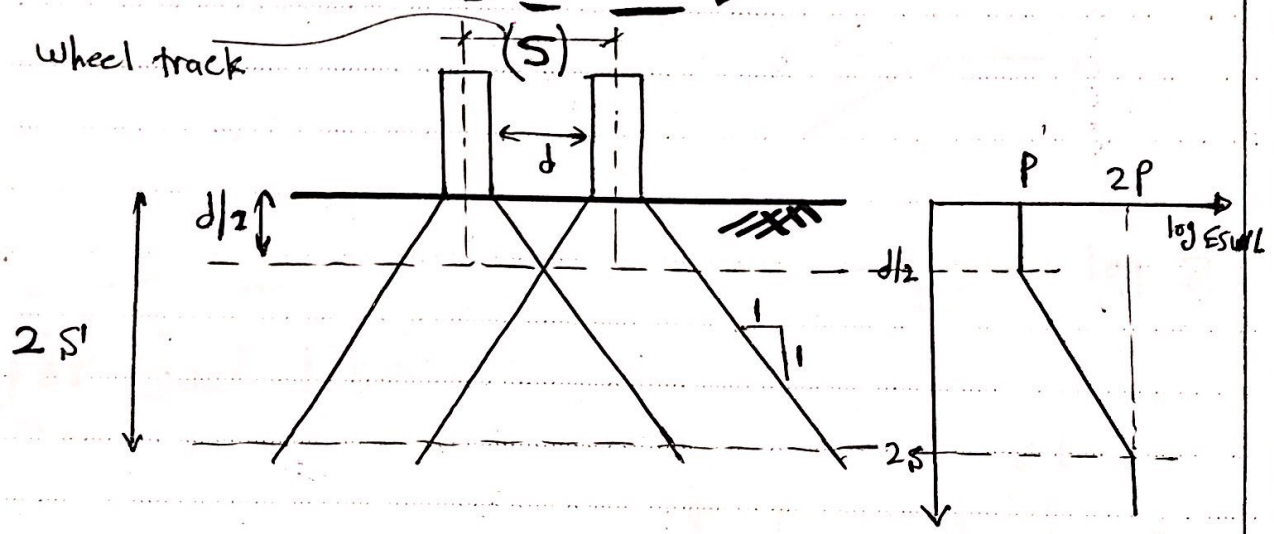
Twin - Twin

Scanned with CamScanner

Equivalent Single Wheel load [ESWL]
حمل العجلة المكافئ

هو حمل العجلة المفردة التي تحدث نفس مقدار الاجهاد عند نفس العمق والذي تحدثه مجموعة عجلات بها عدد إطارات

(For Duals)



عند الأعماق الأقل من $(\frac{d}{2})$ يكون الاجهاد في التربة كما لو كان ناتج عن حمل إطار واحد

عند زيادة العمق عن (2.5') فإن التداخل بين إجهادات الإطارات يكون كبير لدرجة أننا يمكن نحسبه ناتج عن عجلة واحدة حملها يساوي مجموع أحمال الإطارات.

Scanned with CamScanner

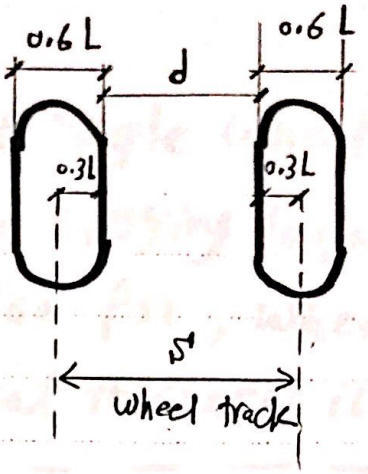
$$\text{Area} = \frac{\text{Tire load } (P)}{\text{Tire Pressure } (w)} = \checkmark$$

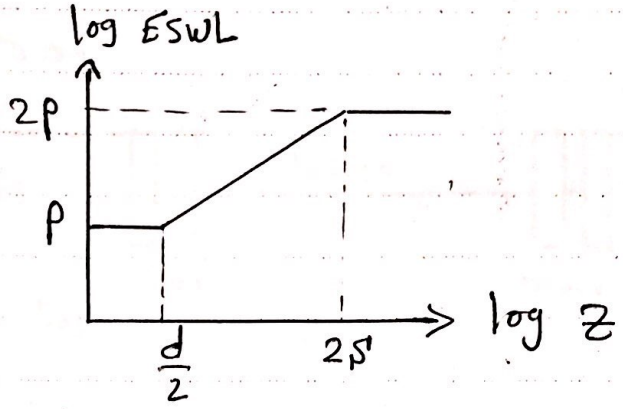
$$= 0.5227\ L^2$$

$$\therefore L = \checkmark$$

$$\because S' = d + 0.6L$$

$$\therefore d = \checkmark\checkmark$$

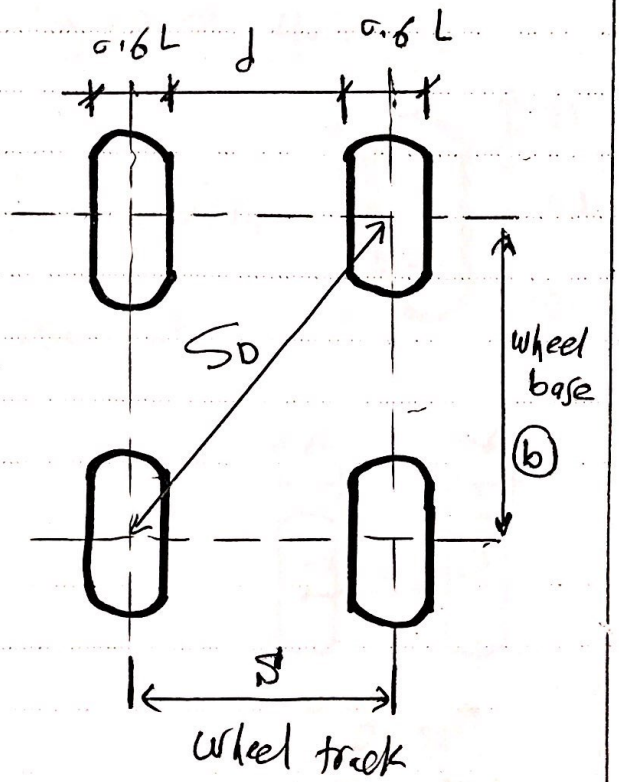


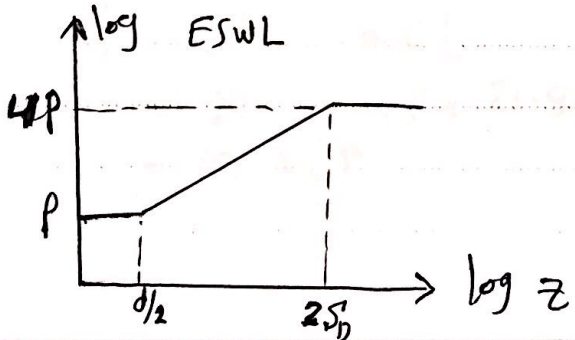


For dual Tandem

نفس الخطوات السابقة
في الكل
ولكن نحصل بدلاً من (S')
فنحصل بـ (S_D)
عن طريق

$$S_D = \sqrt{S'^2 + b^2}$$





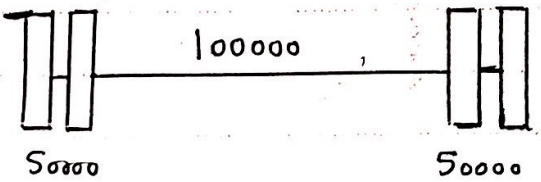
Scanned with CamScanner

Ex

Determine the equivalent Single Wheel load for a dual tyre of a plane carrying 100,000 Lbs if the tyre pressure is 100 psi, Wheel track is 22" and the pavement thickness is 12"

Sol.

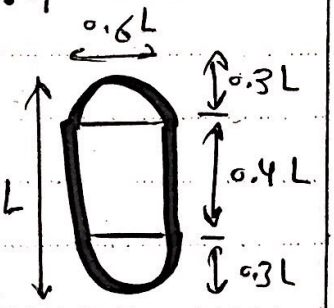
$$\text{Wheel load} = \frac{100000}{2} = 50000 \text{ Lbs}$$



$$\text{Tire load} = (P) = \frac{50000}{2} = 25000 \text{ Lbs}$$

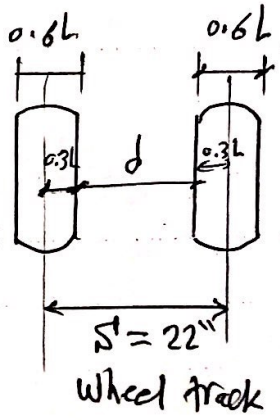
$$P = 25000 \text{ Lbs} \longrightarrow \log P \simeq 4.4$$
$$2P = 50000 \text{ lbs} \longrightarrow \log 2P \simeq 4.7$$

$$\text{Area} = \frac{\text{Tire load } (P)}{\text{Tire Pressure } (w)} = \frac{25000}{100} = (250) \text{ in}^2$$



$$A = 0.5227 * L^2 = 250 \text{ in}^2$$
$$L = \boxed{21.87}"$$

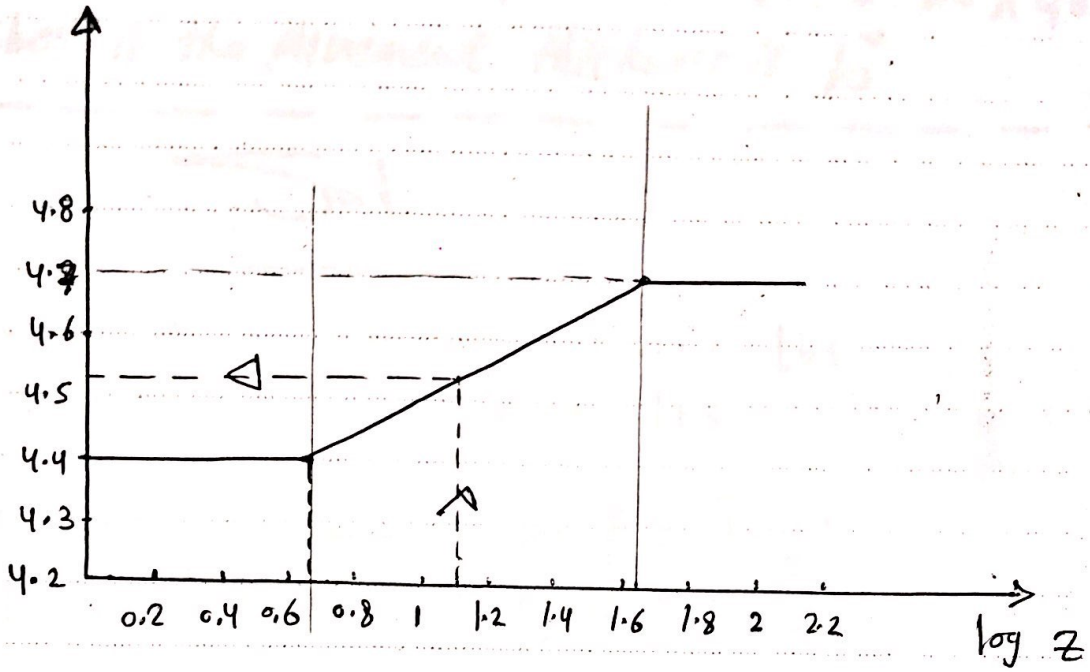
$$d = S - 0.6L$$
$$= 22 - 0.6 * 21.87$$
$$= \boxed{8.88}"$$



Scanned with CamScanner

$d/2 = \frac{8.88"}{2} = 4.44" \rightarrow \log\left(\frac{d}{2}\right) =$ (0.65)

$2S' = 2 * 22" = 44 \longrightarrow \log(2S) =$ (1.64)



For t = 12" $\longrightarrow \log t \simeq 1.08$

From chart @ $\log t \simeq 1.08$

$\log ESWL \simeq 4.53$

$ESWL = 10^{4.53}$

$= (33884.4)$ Lbs

Scanned with CamScanner

Ex:

Determine the equivalent Single Wheel load for a dual-tandom gear Carrying 100000 lbs with Contact Pressure 100 psi and spaced 20 X 40 inches if the Pavement thickness is 10"

Sol.

Wheel load = Gear load = 100000 lbs

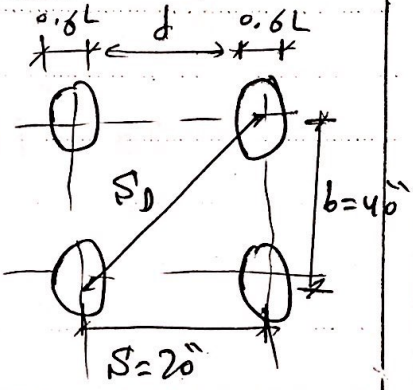
Tyre load = $\frac{100000}{4}$ = 25000 lbs

$P = 25000$ lbs $\Longrightarrow$ $\log P = (4.4)$

$4P = 100000$ lbs $\longrightarrow$ $\log 4P = (5)$

$$\text{Area} = \frac{\text{Tire load (P)}}{\text{Tire Pressure (W)}} = \frac{25000}{100} = 250 \text{ in}^2$$

$250 = 0.5227 * L^2$ $\quad$ $(L = 21.87")$



$d = S - 0.6L$

$= 20 - 0.6 * 21.87 = (6.88)"$

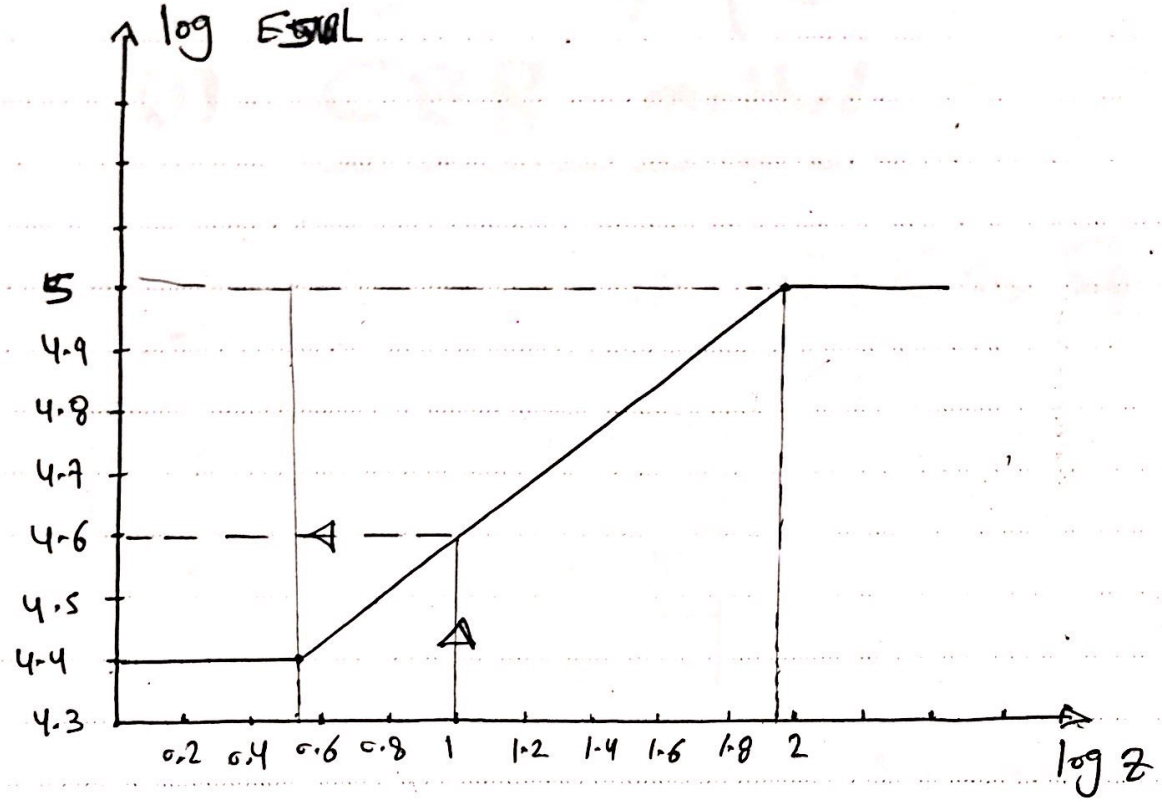
$S_D = \sqrt{S^2 + b^2}$

$= \sqrt{20^2 + 40^2}$ $= (44.72)"$

Scanned with CamScanner

$d/2 = \frac{6.88"}{2} = 3.44" \longrightarrow \log\left(\frac{d}{2}\right) =$ (0.54)

$2S_D = 2 * 44.72 = 89.44" \longrightarrow \log(2S_D) =$ (1.95)



for $t = 10" \longrightarrow \log t =$ 1

at $\log(t) = 1 \longrightarrow \log ESWL = 4.6$

$ESWL = 10^{4.6} =$ (39811) lbs

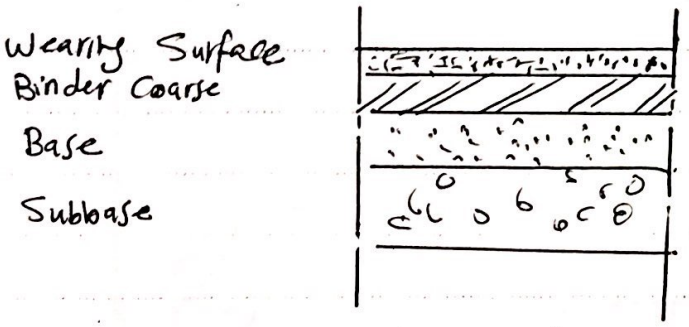
Scanned with CamScanner

Design of flexible Pavement

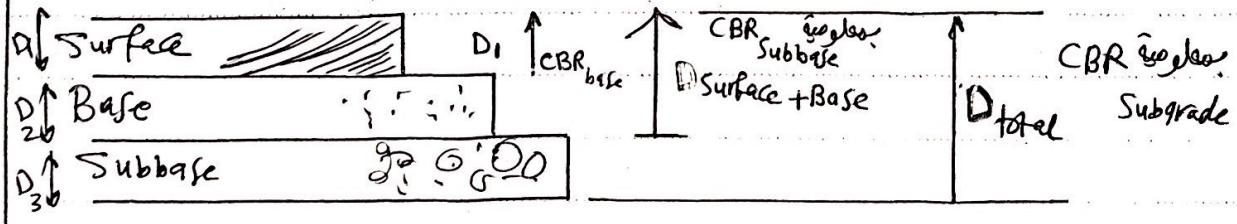
تصميم الرصف المرن

(1) CBR method

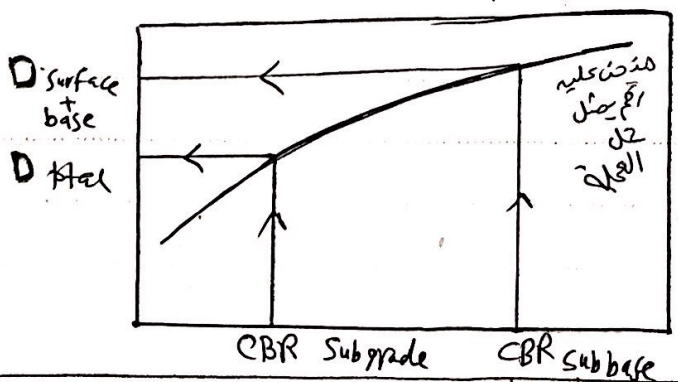
يتكون قطاع الرصف المرن من



وبمعلومية الـ (CBR) لطبقة معينة يمكن إيجاد سمك الطبقات فوقها



Subgrade



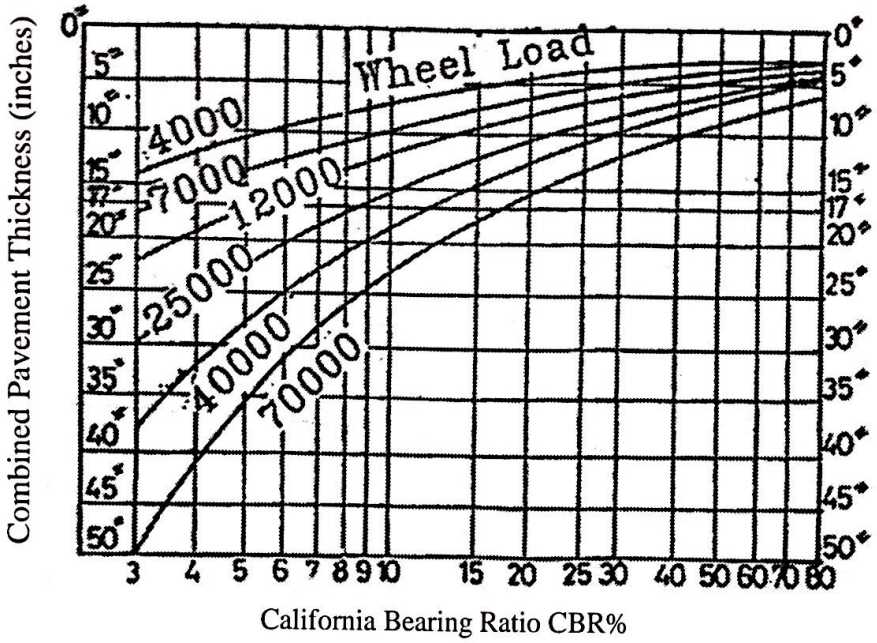
• يتم الدخول في منحنى وإيجاد السمك المطلوب

Scanned with CamScanner

* شكل ال المستخدم Chart

في ال data Sheet

Design of flexible pavement – C.B.R. method



Scanned with CamScanner

مثال Ex

Design a Pavement Structure to Carry 25 k lbs wheel load given that

- $CBR_{subgrade} = 5\%$
- $CBR_{subbase} = 20\%$
- $CBR_{Base} = 80\%$

---

at CBR = 5% Subgrade

$(d)_{total} = 23''$

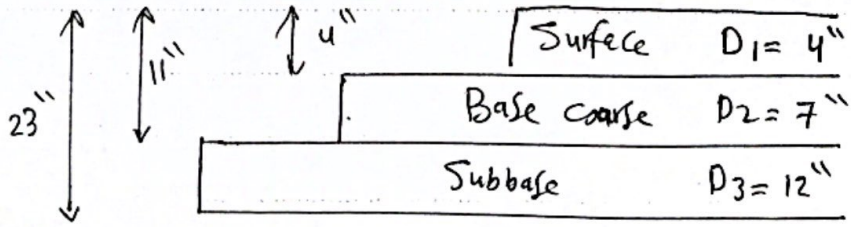
من الـ Chart

at CBR = 20% Sub base

d (Surface + base) = 11"

at CBR = 80% base

d (Surface) = 4"



Scanned with CamScanner

Ex

Design a flexible pavement with drawing a neat sketch showing all information if you know that the wheel load = 12000 lbs

$CBR_{Subgrade} = 4\%$, $CBR_{Subbase} = 20\%$

& Surface course shall be 3" bituminous concrete

Sol.

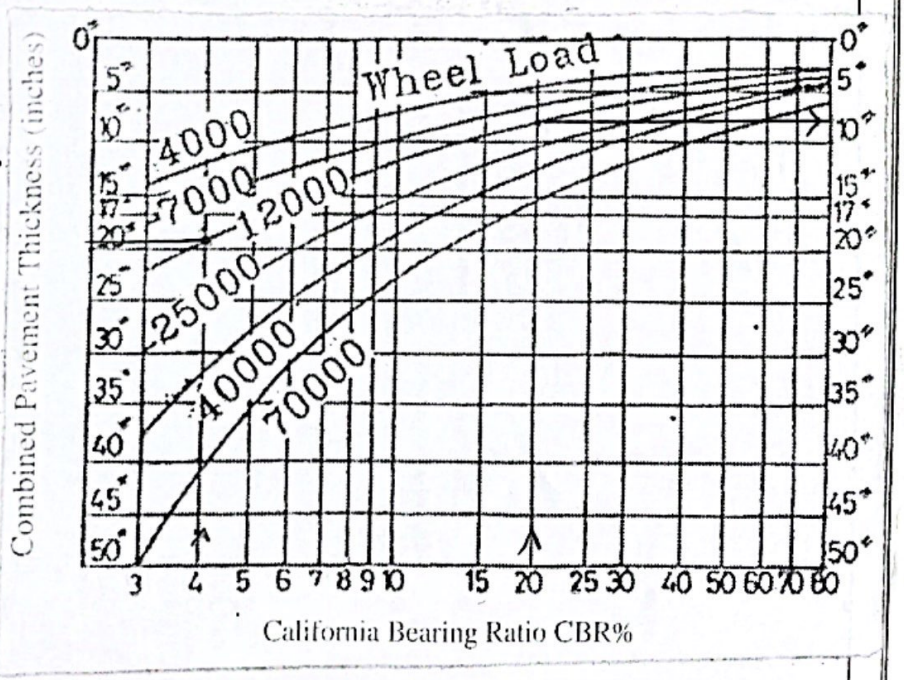
From Chart

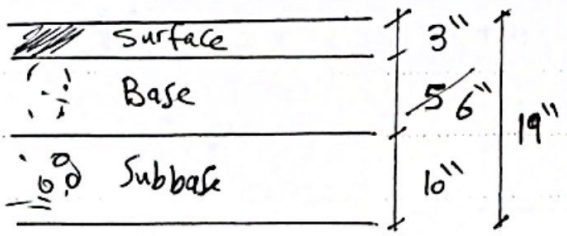
@ $CBR_{Subgrade} = 4\%$

$d_{total} = 19"$

@ $CBR_{Subbase} = 20\%$

$d_{base+surface} = 8"$





$(d_{surface})_{min} = 2"$ not less than

$(d_{base\ or\ Subbase})_{min} = 6"$

Scanned with CamScanner

(2) AASHTo تصميم الرصف المرن بطريقة

Design assumptions & inputs

- Reliability (R)
- Resilient modulus (M_R)
- Drainage coefficients (m)
- layers coefficients (a)
- Design serviceability loss (ΔPSI)
- overall Standard Deviation (S_D)
- Equivalent Single Axle load (ESAL)

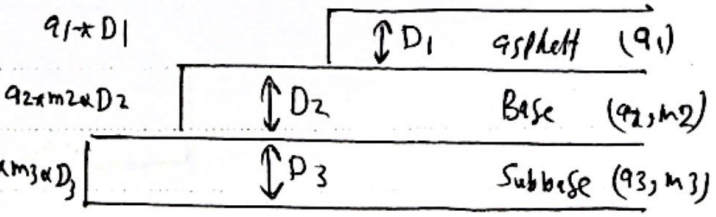
Equation / Chart

Structural Numbers (SN) → (SN)

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

thickness

$SN =$ { $a_1 * D_1$; $a_2 * m_2 * D_2$; $a_3 * m_3 * D_3$ }



Scanned with CamScanner

[A] Design assumptions & inputs
مدخلات التصميم

Design Equivalent Single AXle load ←
* EASL *

الأحمال المرورية

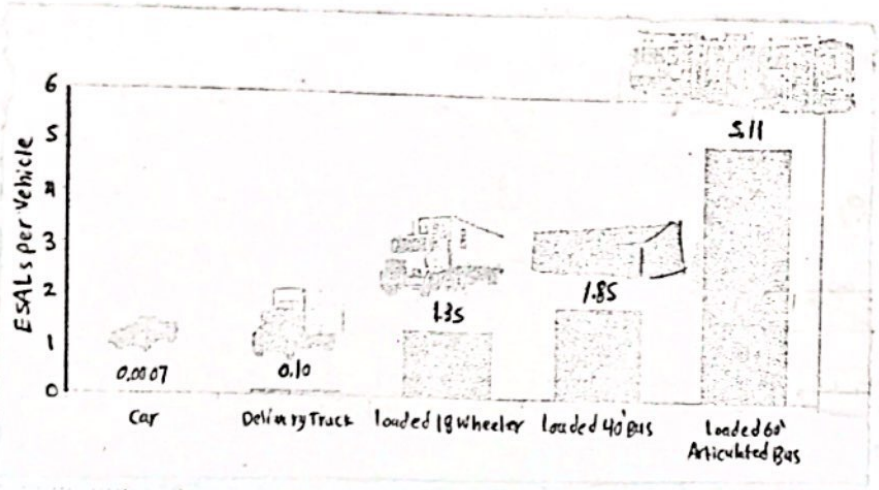
تعتمد طريقة تحديد الأحمال المرورية على طريقة تحل المحور المكافئ بحسب Equivalent Single AXle load (EASL) تسمى فكرة الحساب في حساب تأثير حمل كل محور كنسبة من حمل المحور القياسي

المحور القياسي وزنه 18 kip = Lb (18000) = (8.2) ton

load Equivalency for Single AXle

$$\left(\frac{\text{Load}}{18000\ \text{lb}}\right)^4 = \text{Relative damage factor}$$

Scanned with CamScanner



ولحساب حمل المحور المكافئ السنوي

Design Equivalent Single Axle load (EASL)

Yearly ESALs

Load Equivalency factor = $\Sigma \left(\frac{\text{load}}{18000\ \text{Lb}}\right)^4$

		No. of units / day	ESAL / day
loaded 60' Articulated Bus	5.11	150	766.5
loaded 40' Bus	1.85	60	111
loaded 18 Wheeler	1.35	75	101.25
Delivery Truck	0.1	200	20
Car	0.0007	1786	1.25
average daily Equivalent Single Axle load (ESAL)			1000

*365

Yearly ESAL = 365000

Scanned with CamScanner

ولحساب الزيادة المتوقعة

$$G = \frac{(1+r)^N - 1}{r}$$

- (G) معدل الزيادة الكلي خلال فترة الدراسة
- (r) معدل الزيادة السنوي
- (N) عدد السنوات

For example

- $ESAL_{Current} = 100000$ /year
- r = 3 % /year
- N = 10 years

$$G = \frac{(1+0.03)^{10} - 1}{0.03} = 11.464$$

$$(ESAL)_{future} = G * ESAL_{Current} = 1146388$$

Scanned with CamScanner

والحالات العامة لكل الطرق

Design ESAL =

Current Daily ESAL$_1$ * 365 * Growth factor

* lane distribution factor

* direction distribution factor

$$\text{Design ESAL} = (ESAL)_{current} * 365 * G * D_L * D_D$$

حيث

- lane distribution factor (DL)

Number of lanes in each direction	lane distribution factor	take
①	100 %	1
②	80 → 100 %	0.9
③	60 → 80 %	0.7
④	50 → 75 %	0.65

- Direction distribution factor = 50 % = (0.5) if not given

Scanned with CamScanner

Ex

A 6 lane road is considered for being reconstructed for lifetime of 20 years, if the annual rate of traffic increase is 3%, the AADT= 2000 vehicle/day, and the traffic spectrum is illustrated in the following table, determine the design ESAL.

Vehicle Type	% of total ADT	Axles Weight (kips)
WB-14	10 %	20 / 30 / 30
WB-12	15 %	15 / 25 / 25
Buses	15%	18 / 18
Private Cars		2 / 2

Scanned with CamScanner

Vehicle type	% of total ADT	# of units / day	Axles weight (kip)	load Equivalency Factor (LEF)	ESAL = # of units * LEF
WB-14	10 %	2000 * 0.1 = 200	20/30/30	$\left(\frac{20}{18}\right)^4 + 2*\left(\frac{30}{18}\right)^4 = 16.9563$	3391.25
WB-12	15 %	300	15/25/25	$\left(\frac{15}{18}\right)^4 + 2*\left(\frac{25}{18}\right)^4 = 7.9244$	2377.33
Buses	15 %	300	18/18	$\left(\frac{18}{18}\right)^4 + \left(\frac{18}{18}\right)^4 = 2$	600
Private Car	60 %	1200	2/2	$\left(\frac{2}{18}\right)^4 + \left(\frac{2}{18}\right)^4 = 0.0003$	0.37
	total AADT	2000		Current daily ESAL	6368.95

$$G = \frac{(1 + 0.03)^{20} - 1}{0.03} = 26.87$$

Lane distribution factor $D_L = 0.7$ [من الجدول (3) ص 16 — في اتجاه واحد]

directional " " $D_D = 0.5$

Design ESAL = $ESAL_{current} * G * D_L * D_D * 365$

$= 6368.95 * 365 * 26.87 * 0.7 * 0.5 = 21862500$

Scanned with CamScanner

[Reliability] (R) درجة الثقة

هي عبارة عن نسبة مئوية تعبر عن درجة الثقة المرغوب فيها من قبل المصمم فعلى سبيل المثال عند اعتبار [R=90%] يعني ان المصمم يقبل انه هناك احتمال 10% لانهيار المبكر للقطاع التصميمي.

وعادة تؤخذ R = (95) %

if not given

---

overall Standard Deviation (So)

الانحراف المعياري الشامل

هو رقم يتراوح من (0.0 → 0.3) ويعبر عن مدى انحراف القيم التصميمية لمدخلات التصميم عن القيم الواقعية التي تحدث فعلاً سواء المتعلقة بحجم المرور المتوقع أو كفاءة القطاع التصميمي والتي تعتمد بدورها على خصائص المواد المستخدمة ودرجة مستوى الأداء المتوقعة ومستوى التنفيذ وتؤخذ عادة بـ

So = (0.45)

if not given

Scanned with CamScanner

(MR) Resilient Modulus معامل المرونة

هو رقم يتم تحديده لكل طبقة من طبقات الرصف وهو يعبر عن قوتها وشبيه إلى حد كبير معامل المرونة للمواد وكلما زاد ال (MR) كلما زادت قدرة تحمل الطبقة ويمكن حسابه بطريقة مباشرة باستخدام اجهزه معلية خاصه او بطريقة غير مباشرة عن طريق حسابه من نسبة تحمل كاليفورنيا CBR

$$M_R = 1500\ CBR \qquad \text{if } CBR \leq 10\ \%$$

$$M_R = 3000\ CBR^{0.65} \qquad \text{if } CBR > 10\ \%$$

--- Example ---

Estimate the Resillent Modulus for a Subgrade and base material if the CBR for it was 5 % and 80 % respectively.

* Sol *

For Subgrade CBR ≤ 10 %.

MR = 1500 * CBR = 1500 * 5 = (7500) Psi = 7.5 ksi

for Base CBR > 10 %.

MR = 3000 * CBR$^{0.65}$ = 3000 * (80)$^{0.65}$ = (51776) Psi

= 51.776 ksi

Scanned with CamScanner

Design Serviceability loss (ΔPSI)

بيانات لها علاقة باعتبار الرصف متهالك

- يأخذ الرصف في بداية إنشاؤه درجة من (5) تعبر عن جودته أو حالته
- تكون الدرجة عند فتح الطريق

Initial serviceability $P_i = 4 \longrightarrow 4.2$

- وعند اعتبار الطريق متهار

Terminal PSI P_t $\longrightarrow$ 2.5→3 major highway
$\longrightarrow$ 2 lower class highway
$\longrightarrow$ 1.5 very special cases

لاحظ ان الـ lower class highway. أي الـ (arterial Roads) مثل الطرق الداخلية (local Roads) الطرق للـ very special cases.

Typical Values $P_i = 4$

$P_t = 2$

$$\Delta PSI = P_i - P_t = \boxed{2}$$

Design Serviceability Loss — الدرجات المفقودة

← إذا ما يعطى

Scanned with CamScanner

Drainage Coefficient (m) معامل الصرف

هو رقم يعبر عن قدرة الطبقة على صرف المياة

Quality of Drainage	Water Removed within
Excellent	2 hours
(good)	(1) day
Fair	1 week
Poor	1 month
very Poor	Water Will not drain

عن طريق جودة صرف الطبقة يتم الدخول في جداول مع الاخذ في الإعتبار النسبة المئوية من الوقت الذي يتعرض فيه طبقات الرصف لمستويات رطوبة تقترب من التشبع

(m) لا يوجد → x الطبقة السطحية Surface

$m_2 = (1.10)$ → $m_2 = ✓$ الطبقة التالية base

$m_3 = (1.10)$ → $m_3 = ✓$ التالية Subbase

إذا لم يعطى

Scanned with CamScanner

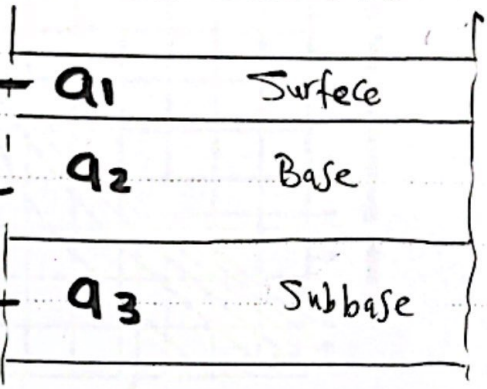
Layer Coefficients (a) معامل الطبقة

هو رقم يستخدم في تحويل الرقم الإنشائي للرصف إلى سمك

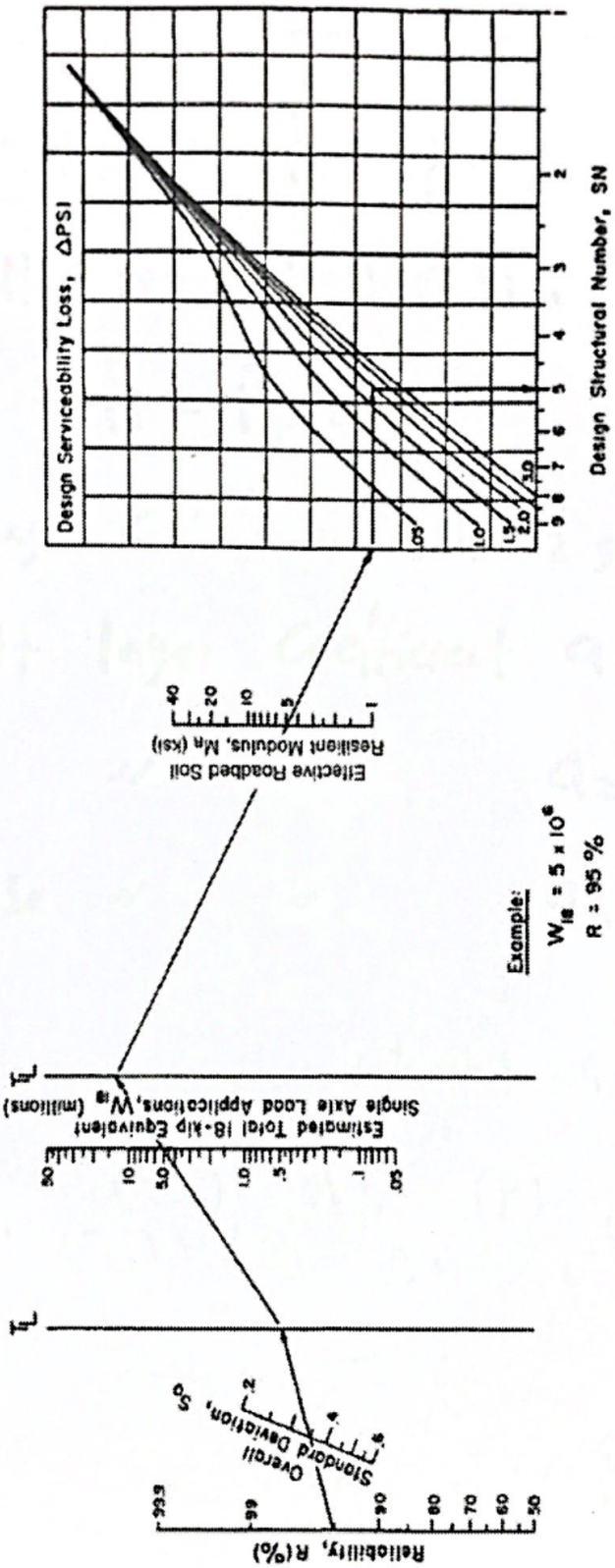
$a_1 = 0.42$ ← a_1 Surface

$a_2 = 0.14$ ← a_2 Base

$a_3 = 0.1$ ← a_3 Subbase



Scanned with CamScanner



Scanned with CamScanner

الملخص

Design assumption in case of not given

→ Reliability $R = 95\ \%$

→ overall Standard Deviation $S_o = 0.45$

→ $\Delta PSI = P_i - P_t = 2$

→ Drainage coefficients, $(m_2, m_3) = 1.10$

→ Asphalt layer coefficient $a_1 = 0.42$

Base // // $a_2 = 0.14$

Subbase // // $a_3 = 0.1$

يتم الدخول في الـ (chart)

① توقيع (R) مع الـ (So)
حتى الوصول إلى الخط (TL) الأول

② توقيع (ESAL) كرقم من المليون $*10^6$
ثم نصل إلى (TL) الثاني

Scanned with CamScanner

③ Resilient Modulus (MR) لعدد ال توقع

$MR = 1500\ CBR$ if $CBR \leq 10\ \%$

$MR = 3000\ CBR^{0.65}$ if $CBR > 10\ \%$

(MR) ⟶ Subbase

(MR) ⟶ Base

توقع الأول (MR)

④ الدخول ع المنحنيات عن طريق ΔPSI

$P_i = 4$

$P_t = 2$ if not given

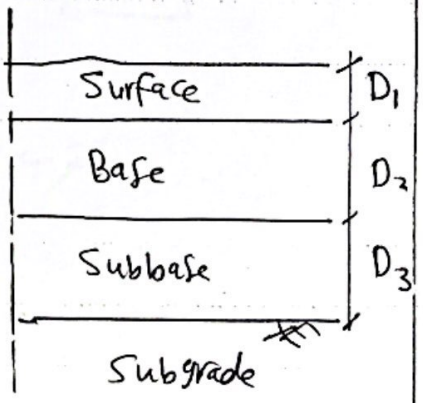
$\Delta PSI = P_i - P_t = \boxed{2}$ المفتاح المكتوب على رقم (2)

Design serviceability loss

بتوقيع $(MR)_{Base}$ نحسب الـ $(SN)_1$ الظاهرة

$$(SN)_1 = \underset{\text{From Chart}}{\checkmark} = a_1 * D_1$$

??



حيث $a_1 = 0.42$ ثابت

$D_1 = \checkmark$ inch

تقرب لأقرب 0.5"

Scanned with CamScanner

بتوقع (MR) Subbase نحسب الـ $(SN)_2$ المناظرة

$$(SN)_2 = \checkmark_{\text{Chart من}} = a_1 D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2$$

?? D_2

a_1 ← 0.42

D_1 ← بعد تعريبة لأقرب 0.5"

a_2 ← 0.14

m_2 ← معامل يتوقف على كفاءة الصرف 1.10

$D_2 = \checkmark$" لأقرب 0.5"

بتوقع الـ (MR) Subgrade نحسب $(SN)_3$ المناظرة

$$(SN)_3 = \checkmark = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

?? D_3

a_3 ← 0.1

m_3 ← 1.1

$D_3 = \checkmark$" تقرب لأقرب 0.5"

Scanned with CamScanner

Ex

Design a pavement structure to carry 7 million ESALs during the pavement life time given that:-

$CBR_{Subgrade} = 5\%$

$CBR_{Subbase} = 20\%$

$M_{R\ Base} = 30000$ psi

---

assume $R = 95\%$

$So = 0.45$

$\Delta PSI = 2$

For Subgrade $CBR \leq 10\%$

$MR = 1500 * CBR = 1500 * 5 = \boxed{7500}$ psi

$= \boxed{7.5}$ ksi

For Subbase $CBR > 10\%$

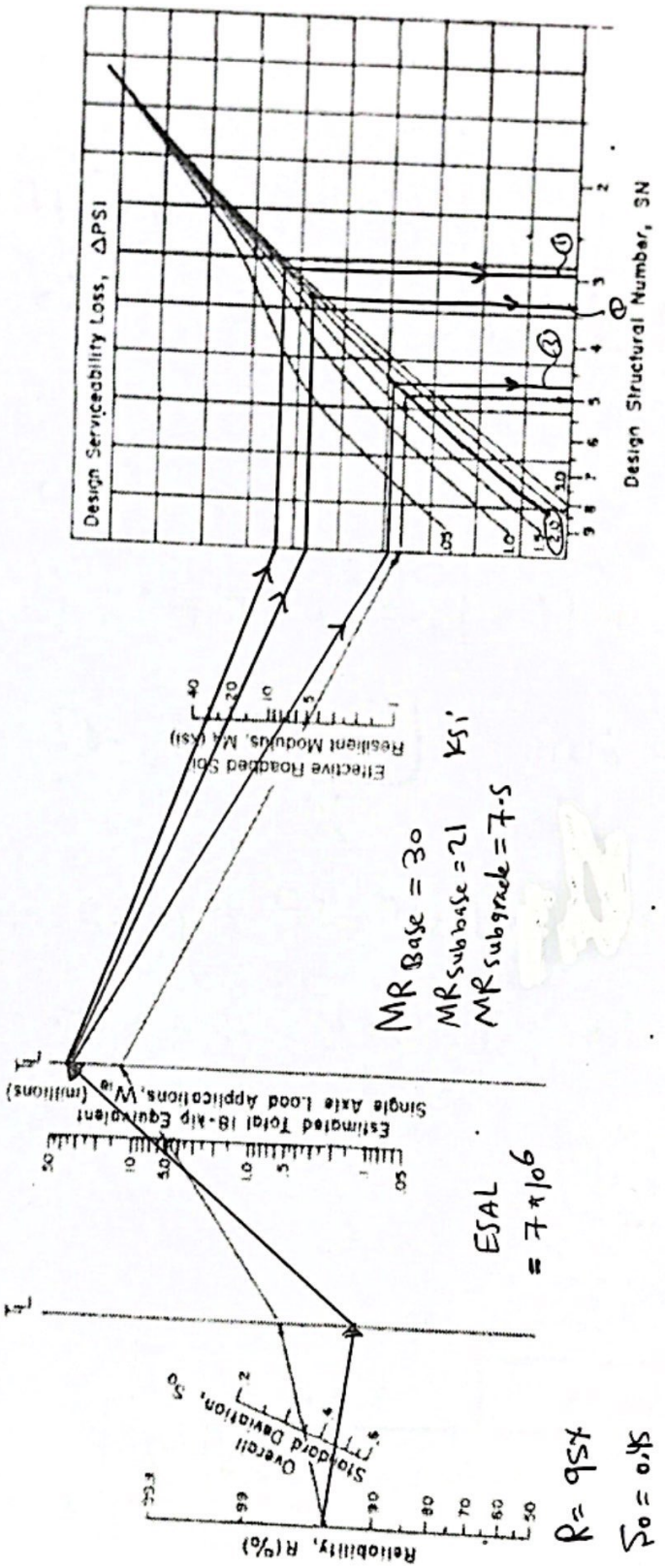
$MR = 3000 * CBR^{0.65} = 3000 * 20^{0.65}$

$= 21027$ psi

$= 21.027$ ksi

$(MR)_{Base} = 30000$ psi $= 30$ ksi

Scanned with CamScanner



$(SN)_1 = 2.9$

$(SN)_2 = 3.4$

$(SN)_3 = 4.9$

$MR_{Base} = 30$ ksi

$MR_{subbase} = 21$

$MR_{subgrade} = 7.5$

ESAL $= 7 * 10^6$

$R = 95\%$

$S_o = 0.45$

Scanned with CamScanner

$m_2 = m_3 = 1.1$

$a_1 = 0.42$

$a_2 = 0.14$

$a_3 = 0.1$

$SN_1 = a_1 D_1$

$2.9 = 0.42 * D_1 \quad D_1 = \underset{X}{\boxed{6.9''}} = 7''$

$SN_2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2$

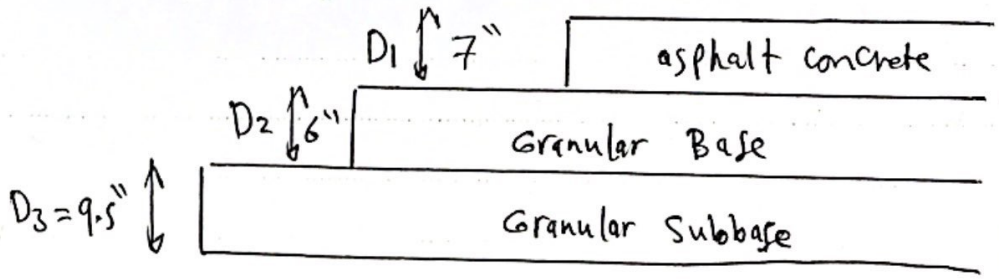
$3.4 = 0.42 * 7 + 0.14 * 1.1 * D_2$

$D_2 = \underset{X}{\boxed{2.98''}} \quad min = 6''$

$Sn_3 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$

$4.9 = 0.42 * 7 + 0.14 * 1.1 * 6 + 0.1 * 1.1 * D_3$

$D_3 = \underset{X}{\boxed{9.42''}} = \boxed{9.5''}$



Scanned with CamScanner